

УДК 612.825; 612.832

ПЛАСТИЧНОСТЬ ЦЕНТРАЛЬНОЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ЗАНЯТИЯХ СПОРТОМ

А.М. Пухов, С.А. Иванов, С.А. Моисеев, Е.А. Михайлова, Р.М. Городничев

Великолукская государственная академия физической культуры и спорта, Великие Луки, Россия

Для связи с авторами: alexander-m-p@yandex.ru

Аннотация:

Представленная серия исследований была посвящена изучению пластичности центральной и периферической нервной системы у лиц, адаптированных к выполнению точностных движений верхними конечностями. В экспериментальную группу вошли действующие спортсмены-баскетболисты ($n=6$), в контрольную – лица, ведущие активный образ жизни, не связанный с точностными или сложнокоординационными двигательными действиями верхними конечностями ($n=9$). Выявление пластичности центральной нервной системы осуществлялось посредством изучения возбудимости проксимальных и дистальных мышц правой руки в состоянии покоя при электромагнитной стимуляции моторной зоны коры головного мозга, неинвазивной электрической и электромагнитной стимуляции спинного мозга.

Ключевые слова: пластичность моторной системы, транскраниальная магнитная стимуляция, электромагнитная стимуляция спинного мозга, чрескожная электрическая стимуляция спинного мозга.

PLASTICITY OF THE CENTRAL NERVOUS SYSTEM IN SPORTS

А.М. Pukhov, S.M. Ivanov, S.A. Moiseev, E.A. Mikhailova, R.M. Gorodnichev
Velikie Luki State Academy of Physical Culture and Sport, Velikie Luki, Russia

Abstract:

Presents a series of studies have been devoted to the study of Central and peripheral nervous system plasticity in individuals adapted to the execution of precise movements of the upper limbs. The experimental group included basketball players ($n=6$). The control group of people leading an active way of life not associated with accuracy or difficult coordinating motional actions of the upper limbs ($n=9$). The identification of plasticity of the central nervous system was carried out by studying the excitability of the proximal and distal muscles of the right hand at rest in the transcranial magnetic stimulation, electromagnetic and transcutaneous electric spinal cord stimulation.

Key words: motor system plasticity, transcranial magnetic stimulation, electromagnetic spinal cord stimulation, transcutaneous electric spinal cord stimulation.

ВВЕДЕНИЕ

Повышенная двигательная активность, физические и психологические нагрузки, предъявляемые спортсменам, сопровождаются адаптационными морфологическими, физиологическими, анатомическими и другими изменениями организма спортсмена. Представители различных видов спорта или отдельных дисциплин из конкретного вида спорта имеют специфические особенности организма, которые отличают их от других [1]. Способность организма изменять структурно-функциональную организацию под воздействием внешних и внутренних факторов принято называть пластичностью [2].

При исследовании пластичности моторной системы спортсменов было показано, что выполнение длительной циклической работы умеренной мощности сопровождается более выраженными признаками двигательной пластичности спинально-мотонейронного представительства мышц верхних и нижних конечностей по сравнению с таковыми у представителей игровых видов спорта [3]. Спортсмены, выполняющие работу на выносливость, имеют высокий уровень возбудимости кортико-спинального тракта и периферических нервов, а при занятиях силовыми или скоростно-силовыми видами спорта наблюдается увеличение проводящей способности моторной системы [4].

Результаты представленных исследований основываются на пластичности моторной системы у спортсменов при исследовании спинного мозга и периферических нервов. В своей работе мы опирались на предположение, что ведущая роль в иерархии управления моторной системы отводится коре головного мозга, которая получает афферентные импульсы от исполнительных структур о результатах двигательного действия. В связи с этим целью нашей работы состояла в изучении пластичности моторной системы на корковом и спинальном уровнях у баскетболистов как представителей, выполняющих точностные и сложнокоординационные движения, и легкоатлетов-бегунов.

ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились на базе Научно-исследовательского института проблем спорта и оздоровительной физической культуры Великолукской государственной академии физической культуры и спорта. В группу лиц, адаптированных к выполнению точностных движений, вошли спортсмены-баскетболисты ($n=6$). Контрольную группу составляли спортсмены, выполняющие работу преимущественно циклической направленности ($n=9$). В соответствии с принципами Хельсинкской декларации было получено письменное информированное согласие испытуемых на участие в экспериментах и разрешение комитета по этике названного вуза на проведение исследований.

Особенности пластичности центральной нервной системы оценивались по параметрам вызванных моторных ответов (ВМО) с мышц правой руки (*m. biceps brachii*, *m. triceps brachii*, *m. flexor carpi radialis*, *m. abductor pollicis brevis*) при транскраниальной магнитной стимуляции (ТМС) моторной коры, электромагнитной (ЭМС) и чрескожной электрической стимуляции спинного мозга (ЧЭССМ) на уровне С7-Т1 позвонков. При регистрации ВМО испытуемые располагались на кушетке в положении лёжа на спине. Участникам исследования давались устные стандартные инструкции, призывающие испытуемых лежать

спокойно, не проявляя мышечной активности.

ТМС и ЭМС спинного мозга осуществлялись посредством стимулятора Magstim Rapid 2 («Magstim Co. Ltd», Wales, U.K.). Для стимуляции моторной коры использовалась L-катушка диаметром 2×100 мм. Центр катушки размещался по анатомическим ориентирам в области моторной коры левого полушария (контралатерально). ЭМС шейного отдела спинного мозга осуществлялась плоской кольцевой катушкой диаметром 70 мм. Катушка располагалась вплотную к поверхности кожи над остистыми отростками на уровне позвонков С7-Т1.

Для ЧЭССМ использовался электрический стимулятор «Нейрософт» (ООО «Нейрософт», Россия, г. Иваново). Стимулирующий дисковый электрод (катод) диаметром 30 мм, изготовленный из самоклеющейся токопроводящей резины («FIAВ» Florence, Italy), располагался по средней линии позвоночника на коже между остистыми отростками на уровне позвонков С7-Т1. Индифферентные накожные электроды (анод) – пластины прямоугольной формы (45×80мм), располагались билатерально на ключицах. Стимулирующий импульс имел прямоугольную форму, длительность 1 мс, интенсивность от 1 до 100 мА. Пауза между импульсами составляла не менее 15 секунд.

Статистическую обработку данных осуществляли с помощью специализированной программы Statistica 10. Рассчитывали среднее арифметическое (M) ± ошибка среднего арифметического (m). Достоверность различий параметров мышечных ответов при различных видах стимуляции определялась с помощью однофакторного анализа (ANOVA). При $p < 0,05$ различия считали статистически значимыми.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что тонкие сложнокоординационные движения человека сопровождаются качественными изменениями в моторной коре [5] и расширением представительства задействованных мышц в коре головного мозга [6].

Внутри каждой из исследуемых нами групп при проведении ТМС были представители с обширной и малой зоной возбудимости моторной коры, при стимуляции которой регистрировались ВМО с мышц правой руки. Пороги и латентность ВМО при проведении ТМС у лиц, систематически выполняющих точностные движения, были ниже, а наибольшие различия пороговых ВМО были зарегистрированы в *m. biceps brachii* (4% и 7% соответственно) и *m. abductor pollicis brevis* (5% и 17% соответственно). Амплитуда ВМО при проведении ТМС у спортсменов-баскетболистов в несколько раз превышала значения, полученные в группе контроля. Так, у баскетболистов амплитуда ВМО в *m. biceps brachii* составляла $1,88 \pm 0,06$ мВ, а у легкоатлетов – $0,66 \pm 0,09$ мВ; *m. triceps brachii* – $1,36 \pm 0,07$ мВ и $0,21 \pm 0,04$ мВ; *m. flexor carpi radialis* – $1,49 \pm 0,10$ мВ и $0,45 \pm 0,05$ мВ; *m. abductor pollicis brevis* – $5,55 \pm 0,48$ мВ и $2,36 \pm 0,94$ мВ соответственно ($p < 0,05$).

Полученные нами данные о более выраженной возбудимости моторной зоны коры при ТМС у баскетболистов могут быть объяснены необходимостью более совершенного произвольного контроля над выполняемыми двигательными действиями со стороны коры головного мозга. Противоположная картина параметров ВМО на ТМС у легкоатлето-бегунов является показателем адаптационных изменений в ответ на длительную циклическую работу. Из работ последних лет по изучению механизмов управления движениями следует, что локомоторная активность человека и животных может запускаться без активации структур головного мозга. Стимуляция поясничного утолщения спинного мозга электрическими или электромагнитными импульсами сопровождается произвольными шагательными движениями испытуемых [7,8]. Данный феномен объясняется наличием в спинном мозге особых нейрональных сетей, названных генератором шагательных движений, активация которых сопровождается произвольными локомоциями. Таким образом, контроль над выполнением монотонной циклической работы возлагается на нижележащие отделы центральной нервной

системы, что позволяет препятствовать ее утомлению.

Значительную роль в регуляции движений верхними конечностями человека имеют нейрональные сети шейного утолщения спинного мозга. Вполне логичным было предположить, что спортсмены-баскетболисты будут иметь более совершенную нейрональную регуляцию мышечной активности верхними конечностями по сравнению со спортсменами циклических видов спорта в связи со спецификой спортивной деятельности: ведение, передачи и броски мяча. В свою очередь, управление мышечной активностью складывается из импульсов, проходящих по эфферентным путям к исполнительным структурам, и сигналов, поступающих от них по афферентным волокнам о результате двигательного действия. Механизмы формирования рефлекторных ответов при стимуляции спинного мозга электромагнитным и электрическим стимулом различны. В генезе появления ответов при ЭМС лежит активация интернейронов спинного мозга и эфферентных вентральных корешков [9]. При ЧЭССМ распространение тока происходит перпендикулярно позвоночному столбу и активируются, главным образом, нейроны афферентных дорсальных корешков спинного мозга [10], т.е. она не способна проникать более глубоко по сравнению с ЭМС. Изучение особенностей моторной системы на спинальном уровне показало, что для регистрации пороговых ВМО при ЭМС у лиц, систематически выполняющих точностные движения верхними конечностями, была необходима более значительная интенсивность раздражающего стимула и амплитуда пороговых ответов была несколько выше по сравнению с таковой в группе «неадаптированных». В группе баскетболистов величина стимула для вызова ответов в *m. biceps brachii* составляла 55 ± 15 мА, в группе легкоатлетов – 50 ± 15 мА; *m. triceps brachii* – 82 ± 30 мА и 54 ± 20 мА соответственно. Амплитуда максимальных ВМО при электромагнитной стимуляции спинного мозга была больше в экспериментальной группе у всех исследуемых мышц, за исключением *m. biceps brachii*, величина ответов которой была

Таблица 1 – Параметры вызванных моторных ответов при стимуляции шейного утолщения спинного мозга на уровне С7-Т1 позвонков, М±m

Стимуляция	Группы	m. biceps brachii		m. triceps brachii		m. flexor carpi radialis		m. abductor pollicis brevis	
		Латентность, мс	Амплитуда, мВ	Латентность, мс	Амплитуда, мВ	Латентность, мс	Амплитуда, мВ	Латентность, мс	Амплитуда, мВ
ЭМС	Баскетболисты	6,44 ±0,64	1,32 ±0,58	5,57 ±0,84	2,00 ±0,94	8,50 ±0,58	3,05 ±0,61	14,43 ±1,02	4,67 ±0,84
	Легкоатлеты	5,64 ±0,56	3,38 ±0,42	6,17 ±0,46	0,85 ±0,04	8,45 ±0,84	2,85 ±0,23	15,56 ±0,99	2,40 ±0,61
ЧЭССМ	Баскетболисты	5,23 ±0,87	4,57 ±0,46	5,48 ±0,86	2,16 ±0,73	8,10 ±0,96	5,75 ±0,63	14,75 ±0,76	4,12 ±0,49
	Легкоатлеты	6,15 ±0,91	4,76 ±0,48	5,94 ±0,53	1,21 ±0,31	8,98 ±0,83	4,74 ±0,93	16,18 ±0,75	2,40 ±0,33

ниже по сравнению с таковой в группе контроля (таблица 1).

Анализ ВМО при электрической стимуляции спинного мозга выявил меньшую латентность пороговых и максимальных моторных ответов всех мышц у лиц, адаптированных к точностной двигательной деятельности, в среднем на 13±2,9%. Максимальные ответы были значительно больше в группе спортсменов-баскетболистов, исключением являлась m. biceps brachii, ее амплитуда практически не отличалась в разных группах (таблица 1).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, систематическое выполнение двигательной деятельности точностной

и сложнокоординационной направленности сопровождается увеличением амплитуды моторных ответов и уменьшением латентности их появления. Особенности проявления возбудимости на корковом и спинальном уровнях у баскетболистов, вероятно, связаны с необходимостью постоянного произвольного контроля над выполняемыми двигательными действиями. Снижение латентности появления ВМО при ЧЭССМ свидетельствует, что скорость проведения импульса по афферентным волокнам значительно выше у лиц, специализирующихся на деятельности точностной направленности, что позволяет им своевременно вносить коррекционные воздействия в выполняемые движения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хакимуллина, Д. Р. Модельные антропометрические и морфологические характеристики бегунов на различные дистанции / Д. Р. Хакимуллина, Г. С. Кашеваров, Г. Н. Хафизова, Л. Д. Габдрахманова, И. И. Ахметов // Наука и спорт: современные тенденции. – 2015. – 6(1). – С. 92-96.
2. Гусев, Е. И. Пластичность нервной системы / Е. И. Гусев, П. Р. Камчатнов // Журнал неврологии и психиатрии. – 2004. – № 3. – С. 73-79.
3. Ланская, О. В. Двигательная пластичность спинного мозга при занятиях различными видами спорта / О. В. Ланская, Е. Ю. Андриянова, Е. В. Ланская // Наука и спорт: современные тенденции. – 2015. – № 2 (Том 7). – С. 64-70.
4. Ланская, Е. В. Механизмы нейропластичности кортико-спинального тракта при занятиях спортом / Е. В. Ланская, О. В. Ланская, Е. Ю. Андриянова // Ульяновский медико-биологический журнал. – 2016. – № 1. – С. 127-136.
5. Иоффе, М. Е. Пластичность двигательных структур мозга и двигательное обучение / М. Е. Иоффе // Физиология мышц и мышечной деятельности : материалы III Всероссийской школы-конференции, 1-4 февраля 2005, Москва; – 2005. – С. 48.
6. Pascual-Leone A. Modulation of muscle responses evoked by transcranial magnetic stimulation during the acquisition of new fine motor skills / A. Pascual-Leone, D. Nguyet, L.G. Cohen, J.P. Brasil-Neto, A. Cammarota, M. Hallett // J. Neurophysiology. 1995 Sep;74(3): P. 1037-1045.
7. Gerasimenko Y. Novel and direct access to the human locomotor spinal circuitry / Y. Gerasimenko, A. Savochin, R. Gorodnichev, E. Machueva, E. Pivovarova, D. Semyenov, R.R. Roy, V.R. Edgerton // J. Neuroscience. 2010; 30 (10). – P. 3700-3708.
8. Gerasimenko Y.P. Non-invasive reactivation of motor descending control after paralysis / Y.P. Gerasimenko, D.C. Lu, M. Modaber, S. Zdunowski, P. Gad, D.G Sayenko., E. Morikawa, P. Haakana, A.R. Ferguson, R.R. Roy, V.R. Edgerton // J. Neurotrauma. 2015; 32 (24): – P. 1968-1980.
9. Rossini P.M. Neuromagnetic integrated methods tracking human brain mechanisms of sensorimotor areas 'plastic' reorganization / P.M. Rossini., F. Pauri // Brain Res. Rev. 2000; 33: – P. 131-154.
10. Troni W. Improved methodology for lumbosacral nerve root stimulation / W. Troni, C. Bianco, M.C. Moja, M. Dotta // Muscle & Nerve. 1996; 19(5): – P. 595

BIBLIOGRAPHY

1. Khakimullina D.R., Kashevarov G.S., Khafizova G.N., Gabdrakhmanova L.D., Akhmetov I.I. Model anthropometric and morphological characteristics of runners at various distances. *Nauka i sport: sovremennye tendentsii.* – 2015. – 6(1). – P. 92-96.
2. Gusev E.I. Plasticity of the nervous system / E.I. Gusev, P.R. Kamchatnov // *Journal of neurology and psychiatry.* – 2004. – № 3. – P. 73-79.
3. Lanskaya O.V. Motor plasticity in the spinal cord during various sports / O.V. Lanskaya, E.Yu. Andriyanova, E.V. Lanskaya // *Science and sport: modern tendencies.* – 2015. – № 2 (Том 7). – P. 64-70.
4. Lanskaya E.V. Mechanisms of neuroplasticity corticospinal tract when playing sports / E.V. Lanskaya, O.V. Lanskaya, E.Yu. Andriyanova // *Ulyanovsk medico-biological journal.* – 2016. – № 1. – P. 127-136.
5. Ioffe M.E. Brain motor structures plasticity and motor learning / M.E. Ioffe // *The physiology of muscle and muscular activity: materials III all-Russian school conference.* 2005 February 1-4. Moscow. – 2005. – P. 48.
6. Pascual-Leone A. Modulation of muscle responses evoked by transcranial magnetic stimulation during the acquisition of new fine motor skills / A. Pascual-Leone, D. Nguyet, L.G. Cohen, J.P. Brasil-Neto, A. Cammarota, M. Hallett // *J. Neurophysiology.* 1995 Sep;74(3): P. 1037-1045.
7. Gerasimenko Y. Novel and direct access to the human locomotor spinal circuitry / Y. Gerasimenko, A. Savochin, R. Gorodnichev, E. Machueva, E. Pivovarova, D. Semyenov, R.R. Roy, V.R. Edgerton // *J. Neuroscience.* 2010; 30 (10). – P. 3700-3708.
8. Gerasimenko Y.P. Non-invasive reactivation of motor descending control after paralysis / Y.P. Gerasimenko, D.C. Lu, M. Modaber, S. Zdurowski, P. Gad, D.G. Sayenko., E. Morikawa, P. Haakana, A.R. Ferguson, R.R. Roy, V.R. Edgerton // *J. Neurotrauma.* 2015; 32 (24): – P.1968-1980.
9. Rossini P.M. Neuromagnetic integrated methods tracking human brain mechanisms of sensorimotor areas 'plastic' reorganization / P.M. Rossini., F. Pauri // *Brain Res. Rev.* 2000; 33: – P. 131-154.
10. Troni W. Improved methodology for lumbosacral nerve root stimulation / W. Troni, C. Bianco, M.C. Moja, M. Dotta // *Muscle & Nerve.* 1996; 19(5): – P. 595

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-34-01250

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Пухов Александр Михайлович – кандидат биологических наук, младший научный сотрудник НИИ ПСОФК ФГБОУ ВО «Великолукская государственная академия физической культуры и спорта».

Иванов Сергей Михайлович – младший научный сотрудник НИИ ПСОФК ФГБОУ ВО «Великолукская государственная академия физической культуры и спорта».

Моисеев Сергей Александрович – кандидат биологических наук, младший научный сотрудник НИИ ПСОФК ФГБОУ ВО «Великолукская государственная академия физической культуры и спорта».

Михайлова Екатерина Алексеевна – кандидат биологических наук, доцент кафедры физиологии и спортивной медицины, ФГБОУ ВО «Великолукская государственная академия физической культуры и спорта».

Городничев Руслан Михайлович – доктор биологических наук, профессор, проректор по НИР ФГБОУ ВО «Великолукская государственная академия физической культуры и спорта».