

УДК 612.832; 612.833.8; 612.834

ВЫЯВЛЕНИЕ ПРИЗНАКОВ ПЛАСТИЧНОСТИ СПИНАЛЬНО-МОТОНЕЙРОННЫХ ПУЛОВ МЫШЦ ВЕРХНИХ И НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ У ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СПОРТА

О.В. Ланская, Е.Ю. Андриянова

Великолукская государственная академия физической культуры и спорта

Представлены данные о пластичности нервных структур шейного и пояснично-крестцового отделов спинного мозга у спортсменов. Установлено, что циклическая работа умеренной мощности сопровождается повышением функциональной пластичности спинально-мотонейронного представительства мышц верхних и нижних конечностей.

Ключевые слова: спортсмены, пластичность спинного мозга, заднекорешково-мышечные рефлексы.

Введение. Одним из важнейших свойств центральной нервной системы (ЦНС) является пластичность, т.е. способность нервной ткани изменять структурно-функциональную организацию под влиянием экзогенных и эндогенных факторов. Именно это качество ЦНС обеспечивает ее адаптацию и эффективную деятельность в условиях изменяющейся внешней и внутренней среды [1]. Посредством физической активности человек взаимодействует с окружающим миром, получает значительный объем сенсорной информации от большого количества внутренних (проприоцепторов) и внешних (экстероцепторов) источников. Сенсорная информация от афферентов, генерируемая мышечной активностью и движением, лежит в основе пластических изменений в ЦНС, дающих возможность человеку обучаться новым движениям и осваивать новые навыки.

Характер адаптационных изменений в организме в ответ на физические нагрузки зависит от продолжительности последних, их мощности, цикличности, глобальности вовлечения в работу мышечных групп и других характеристик [6]. Существуют различные классификации физических упражнений, предложенные В.С. Фарфелем [7], Я.М. Коцем [3], А.Г. Дембо [2] и др. В частности, с учетом классификации, предложенной В.С. Фарфелем, все виды спортивных упражнений разделены на позы и движения. Дви-

жения же дифференцируются на два класса: стандартные (стереотипные) и нестандартные (ситуационные). Типичными примерами видов спорта, для которых характерно выполнение стандартных (с заранее известной формой) движений, являются беговые дисциплины легкой атлетики, лыжные гонки. В свою очередь, к выполнению нестандартных движений, которые зависят от сложившейся ситуации, адаптированы в т.ч. спортсмены, специализирующиеся в различных видах спортивных игр, например баскетболисты и волейболисты, у которых характер и мощность выполняемой работы, регламентация нагрузки и ряд других критериев существенно отличаются от легкоатлетов-бегунов и лыжников-гонщиков.

Цель исследования. Выявление признаков функциональной пластичности шейных и пояснично-крестцовых спинальных двигательных центров у представителей спортивных игр и циклических видов спорта.

Материалы и методы. Исследования проводились в лаборатории нейрофизиологии НИИ проблем спорта и оздоровительной физической культуры на базе ФГБОУ ВПО «Великолукская государственная академия физической культуры и спорта». В исследовании приняли участие спортсмены, специализирующиеся в спортивных играх (13 баскетболистов и 13 волейболистов) и циклических видах спорта (13 легкоатлетов – бегунов

на средние дистанции и 13 лыжников-гонщиков), а также 18 испытуемых, не занимающихся спортом. Спортсмены избранных специализаций на момент исследования имели следующие виды квалификаций: I взрослый разряд, кандидат в мастера спорта, мастер спорта. У представителей данных групп, возраст которых на момент исследования составлял 18–22 года, осуществляли чрескожную электростимуляцию невралных структур спинного мозга последовательно на уровнях позвонков с С2 по С7 с регистрацией вызванных мышечных ответов (ВМО) с билатеральных мышц плеча (двуглавых и трехглавых) и предплечья (плечелучевых и разгибателей II–V пальцев кисти) и с Т11 по L3 с регистрацией ВМО с билатеральных мышц бедра (двуглавых), голени (медиальных икроножных и камбаловидных) и стопы (коротких сгибателей пальцев).

Для проведения собственных исследований была взята за основу и адаптирована для решения поставленных нами задач техника регистрации мультисегментарных моносинаптических ответов (MMRs) мышц или, как их еще называют, заднекорешково-мышечных (PRM) рефлексов, вызываемых посредством чрескожной стимуляции дорсальной поверхности спинного мозга. Данная методика была предложена, описана и использована группами авторов [10, 11], которые показали, что при чрескожной стимуляции умеренной интенсивности спинного мозга на уровне между спинномозговыми позвонками Т11 и Т12 в симметрично расположенных мышцах нижних конечностей регистрируются рефлекторные двигательные ответы, имеющие моносинаптическую природу. На это также указывают факты подавления ответов при парной стимуляции (кондиционирующей и тестирующей с межстимульным интервалом в 50 мс) и влияния вибрации, обеспечивающей торможение или подавление изучаемых ответов. Таким образом, можно полагать, что в рефлекторных моторных ответах при чрескожной стимуляции спинного мозга имеется моносинаптический компонент, хотя точный генез этих потенциалов еще до конца не изучен.

Для записи ВМО с мышц верхних и нижних конечностей использовался восьми-

канальный «Мини-электромиограф» (АНО «Возвращение», Санкт-Петербург, 2003). Стимулами служили импульсы, генерируемые «Мини-электростимулятором» (АНО «Возвращение», Санкт-Петербург, 2003). Обработка полученных данных осуществлялась в режиме off-line в специальной компьютерной программе «Муо» (АНО «Возвращение», Санкт-Петербург, 2003). Исследование проводилось в помещении с комнатной температурой 25–30 °С в положении испытуемых лежа на спине и в состоянии относительного мышечного покоя.

Для получения ВМО с мышц верхних конечностей биполярные накожные электроды с межэлектродным расстоянием 2 см устанавливались поверх 8 билатеральных мышц плеча и предплечья – на брюшках мышц посередине между началом и местом прикрепления с ориентацией вдоль волокон мышцы. Стимулирующий катод позиционировали со стороны остистых отростков поверх кожи поочередно на уровнях позвонков С2–С7 и два больших анода – билатерально в области ключицы. Для регистрации ВМО с мышц нижних конечностей биполярные накожные электроды с межэлектродным расстоянием 2 см были установлены поверх 8 билатерально расположенных мышц бедра, голени и стопы – на брюшках мышц посередине между началом и местом прикрепления с ориентацией вдоль волокон мышцы. Со стороны остистых отростков устанавливали катод поверх кожи последовательно в точках на уровнях позвонков Т11–L3 и два больших анода – билатерально по передней поверхности подвздошных гребней.

Стимулирующий катод, который устанавливали на коже последовательно вдоль позвоночника, был круглой формы диаметром 1 см, а пара прямоугольных анодов имели размер 50×100 мм каждый. Во время электростимуляционного раздражения дорсальной поверхности спинного мозга устанавливали длительность стимула 0,5 мс на шейном и 1 мс на пояснично-крестцовом уровнях. В результате электромиографических (ЭНМГ) исследований были изучены пороги ВМО и максимальная амплитуда ВМО. При этом выявлялись оптимальные позиции, при

стимуляции на уровне которых регистрировались наименьшие величины порогов и наибольшие значения амплитуды ВМО тестируемых мышц верхних и нижних конечностей, которые, в свою очередь, могут свидетельствовать об активации спинальных сегментов шейной и пояснично-крестцовой области с более высокой возбудимостью мотонейронов, иннервирующих выбранные для исследования мышечные группы, по сравнению с другими стимулирующими точками.

Статистическая обработка результатов выполнена на персональном компьютере в программе STATISTICA 10.0 (Statsoft Inc., USA, 2010). При описании количественных данных применялись следующие расчетные показатели: среднее арифметическое, стандартная ошибка средней. Для сравнительного анализа использовались: 1) параметрические методы статистической обработки при условии нормального распределения данных (One-way ANOVA для сравнения трех независимых переменных с post-hoc анализом Newman-Keuls, T-test для независимых переменных, T-test для зависимых переменных); 2) непараметрические их аналоги – при ненормальном распределении данных (критерий Kruskal – Wallis ANOVA для сравнения трех независимых переменных, критерий Mann–Whitney для сравнения двух независимых переменных, критерий Wilcoxon для парного сравнения зависимых переменных). Проверка нормальности распределения количественных признаков проводилась с помощью Shapiro – Wilk's W-test и Levene's test. Критическое значение уровня статистической значимости при проверке нулевых гипотез принималось равным 5 % ($p=0,05$).

Результаты и обсуждение. В результате исследования у представителей игровых видов спортивной деятельности не выявлено различий в величинах изученных ЭНМГ-параметров, а значит, в уровне рефлекторной возбудимости низко- и высокопороговых элементов мотонейронного пула мышц верхних и нижних конечностей. Также в этих группах спортсменов не обнаружено различий в сосредоточении оптимальной позиции для активации спинального участка с наибольшей рефлекторной возбудимостью

альфа-мотонейронов (α -МН): для мышц плеча и предплечья она соответствовала уровням позвонков С4–С7, а для мышц бедра, голени и стопы – уровню Т11-позвонка. Об этом свидетельствует тот факт, что при стимуляции на этих уровнях регистрировались более низкие показатели порогов и более высокие значения максимальной амплитуды ВМО тестируемых мышц.

Полученные данные позволяют заключить: долговременная адаптация к игровым видам деятельности обнаруживает общие признаки пластичности рефлекторной деятельности нейронных сетей шейного и пояснично-крестцового утолщений спинного мозга, иннервирующих изучаемые билатеральные проксимальные и дистальные мышцы верхних и нижних конечностей. Данный факт может объясняться относительно одинаковым количеством мышечных групп как верхних, так и нижних конечностей, вовлекаемых преимущественно ациклическую работу переменной мощности, выполняемую при занятиях волейболом и баскетболом.

Далее, в результате проведенного ЭНМГ-тестирования спортсменов, специализирующихся в легкоатлетическом беге на средние дистанции и лыжных гонках – видах спорта, характеризующихся непрерывной циклической деятельностью, направленной на развитие общей и специальной выносливости, а также с относительно постоянной мощностью выполняемой работы в зонах субмаксимальной при беге и умеренной при передвижении на лыжах мощности, – был обнаружен ряд отличий в величинах параметров ВМО мышц плеча и предплечья. Так, например, у лыжников установлены достоверно более низкие по сравнению с группой бегунов значения порогов ВМО левой и правой трехглавых мышц плеча при стимуляции на уровнях С3 ($p<0,02$; $p<0,04$) и С4 ($p<0,04$; $p<0,04$). Вместе с тем показатели максимальной амплитуды ВМО билатеральных плечелучевых мышц при стимуляции на уровне позвонка С2 у лыжников были достоверно выше ($p<0,02$; $p<0,01$), чем у легкоатлетов-бегунов. Установленные различия в показателях порогов и максимальной амплитуды ВМО мышц верхних конечностей свидетельствуют о бо-

лее высокой рефлекторной возбудимости α -МН шейных спинномозговых сегментов у лыжников по сравнению с бегунами. Такой факт может объясняться различной степенью влияния деятельности мышц плечевого пояса на спортивный результат. Так, эффект передвижения на лыжах во многом определяется возможностью длительной и результативной активации мышечных групп пояса верхних конечностей, что необходимо для отталкивания палками, в отличие от легкоатлетического бега, где движения рук не имеют такого значения [5]. Несмотря на отличия в показателях ЭНМГ-параметров ВМО мышц верхних конечностей, у легкоатлетов и лыжников-гонщиков обнаружена сопоставимая, практически одинаковая площадь представительства α -МН с высокой рефлекторной возбудимостью, иннервирующих билатеральные мышцы плеча и предплечья, границы которой включали участок спинного мозга на уровне позвонков с С4 по С7.

При изучении параметров ВМО мышц нижних конечностей у лыжников и бегунов в большинстве случаев не обнаружено существенных различий в их величинах, что, вероятно, связано с большими требованиями к выносливости, предъявляемыми к локомоторным мышцам нижних конечностей при преодолении соревновательной дистанции как лыжниками-гонщиками, так и легкоатлетами-бегунами. Кроме того, как у лыжников, так и у бегунов спинальная проекционная область с высоким уровнем рефлекторной возбудимости низко- и высокопороговых элементов мотонейронного пула мышц нижних конечностей соответствовала позвонкам Т11–Т12.

Таким образом, первый этап исследования показал, что у представителей видов спорта с близкой по структуре двигательной деятельностью в большинстве случаев отсутствуют различия в электрофизиологических проявлениях функциональной пластичности спинально-мотонейронного представительства мышц верхних и нижних конечностей. На следующем этапе научный интерес представляло изучение степени выраженности пластических преобразований в функционировании спинномозговых цепей у обследованных спортсменов, деятельность которых

характеризуется большей автономностью, монотонностью, цикличностью и низкой вариативностью движений (лыжники-гонщики, бегуны на средние дистанции) по сравнению с атлетами, спортивные движения которых сопряжены с ацикличностью, ситуативным характером и переменной мощностью работы, включением в деятельность постоянно меняющегося набора мышечных групп (баскетболисты, волейболисты). Для сравнительного анализа в качестве групп спортсменов были выбраны лыжники-гонщики и баскетболисты, показатели которых сопоставлялись с таковыми у нетренированных лиц.

При изучении порогов ВМО билатеральных мышц плеча и предплечья было установлено, что у баскетболистов и лыжников-гонщиков на всех изучаемых уровнях стимуляции показатели данного параметра были ниже соответствующих величин, зарегистрированных у лиц, не занимающихся спортом, наряду с отсутствием существенных отличий в значениях порогов рефлекторных ответов этих мышц между обследованными группами спортсменов (рис. 1, на котором в качестве примера представлены различия в показателях порогов ВМО правой трехглавой мышцы плеча у представителей обследованных групп).

Полученные данные указывают на более высокий уровень рефлекторной возбудимости низкопороговых Ia-афферентов в составе чувствительных корешков и соответствующих низкопороговых элементов мотонейронного пула шейных спинномозговых сегментов, иннервирующих тестируемые проксимальные и дистальные мышцы верхних конечностей, у спортсменов по сравнению с нетренированными.

В результате проведенного анализа показателей максимальной амплитуды ВМО билатеральных мышц верхних конечностей у спортсменов и нетренированных людей был сделан вывод о том, что у баскетболистов и лыжников-гонщиков при стимуляции на уровнях позвонков С2–С7 в большем количестве случаев было выявлено значительное повышение рефлекторной возбудимости высокопороговых α -МН, иннервирующих тестируемые мышцы плеча (рис. 2, на котором также в качестве примера представлены раз-

личия в показателях максимальной амплитуды ВМО правой трехглавой мышцы плеча у представителей обследованных групп), и в меньшем – предплечья по сравнению с группой лиц, не занимающихся спортом, о чем

свидетельствуют зарегистрированные в группах спортсменов более высокие показатели максимальной амплитуды ВМО мышц верхних конечностей по сравнению с нетренированными испытуемыми.

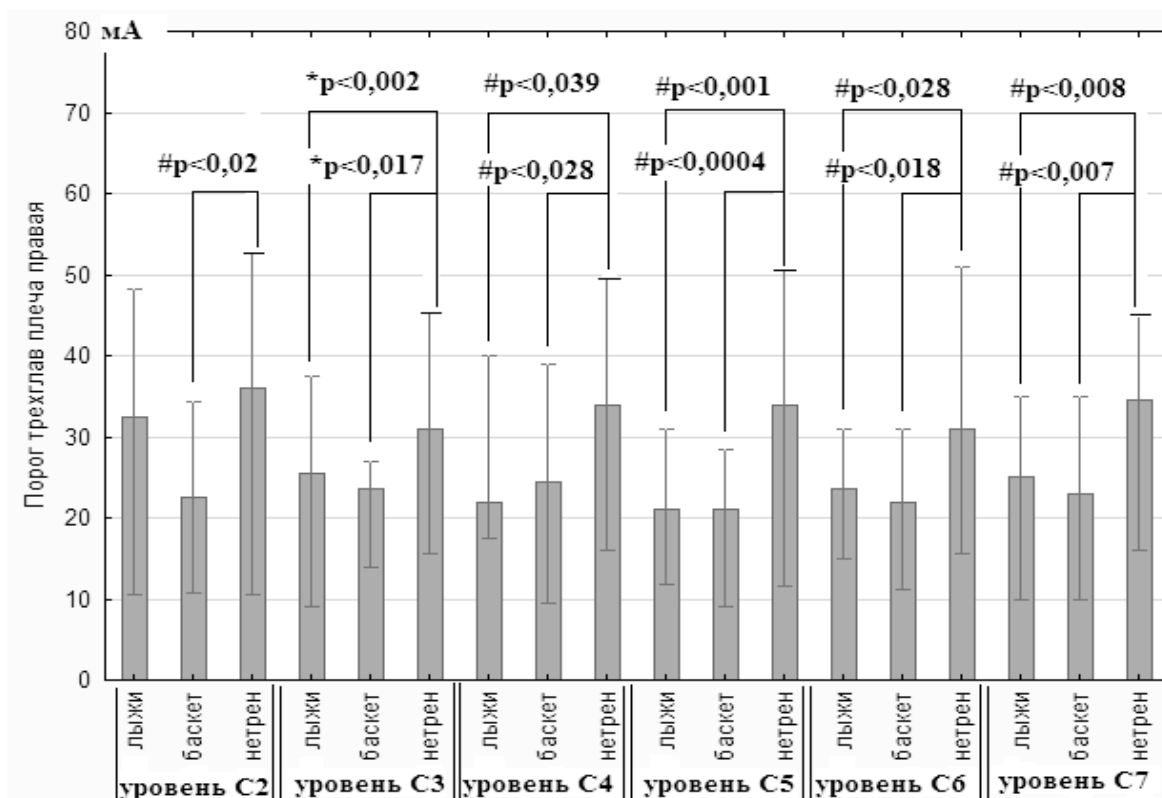


Рис. 1. Пороги ВМО правой трехглавой мышцы плеча в зависимости от уровня стимуляции у лыжников-гонщиков, баскетболистов и нетренированных лиц, мА.

Достоверные отличия между группами выявлены методом:

– Kruskal–Wallis ANOVA; * – One-way ANOVA с post-hoc анализом Newman–Keuls

У представителей циклического и игрового видов спорта по сравнению с нетренированным контингентом участников исследования наблюдалась большая площадь рекрутирования низко- и высокопороговых элементов мотонейронного пула шейных спинномозговых сегментов, иннервирующих мышцы плеча и предплечья, границы которой включали участок спинного мозга на уровне позвонков с С4 по С7, а у лиц, не занимающихся спортом, эта спинальная область соответствовала лишь позвонкам С6 и С7 (рис. 3). Стоит отметить, что у спортсменов границы оптимальной позиции были расширены за счет вовлечения вышележащих

спинномозговых сегментов, соответствующих позвонкам С4–С5. Предполагаем, что такое направление расширения может быть связано с нисходящими супраспинальными влияниями, играющими роль в формировании пластичности в спинном мозге. С другой стороны, имеется достаточное количество экспериментальных фактов, свидетельствующих о том, что спинномозговые цепи могут подвергаться пластическим изменениям в ответ на длительное выполнение упражнений или приобретение новых двигательных навыков, который не зависит от кортикоспинального драйва [8, 9].

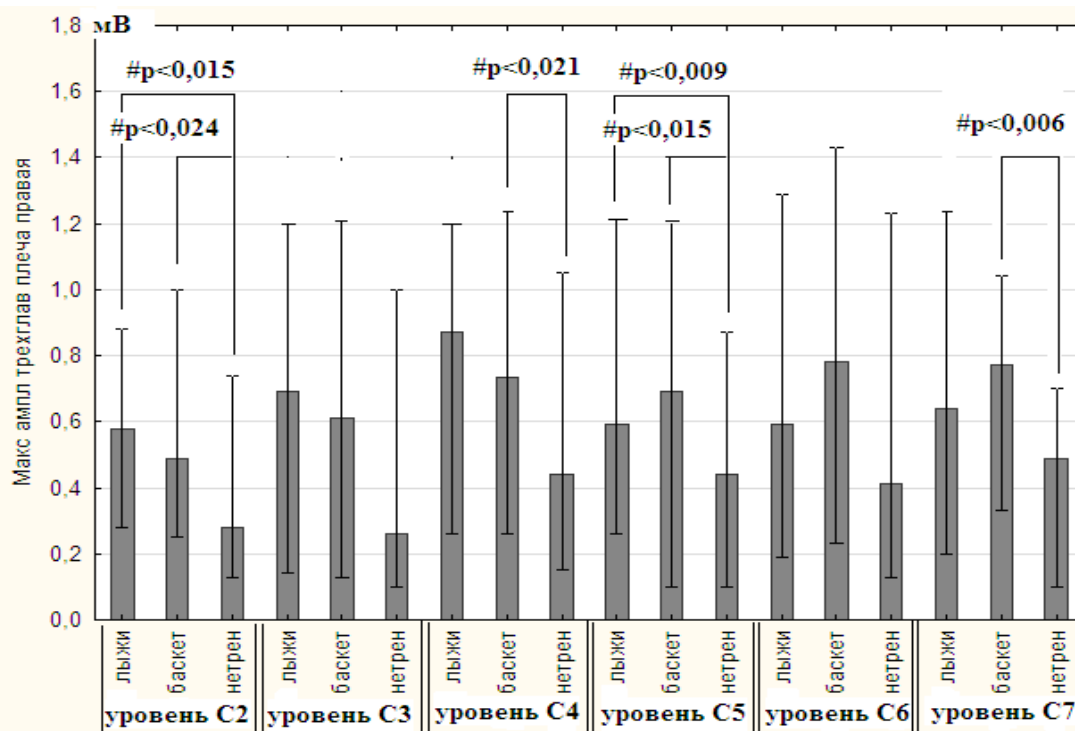


Рис. 2. Показатели максимальной амплитуды ВМО правой трехглавой мышцы плеча в зависимости от уровня стимуляции у лыжников-гонщиков, баскетболистов и нетренированных лиц, мВ. Достоверные отличия между группами выявлены методом: # – Kruskal–Wallis ANOVA; * – One-way ANOVA с post-hoc анализом Newman–Keuls

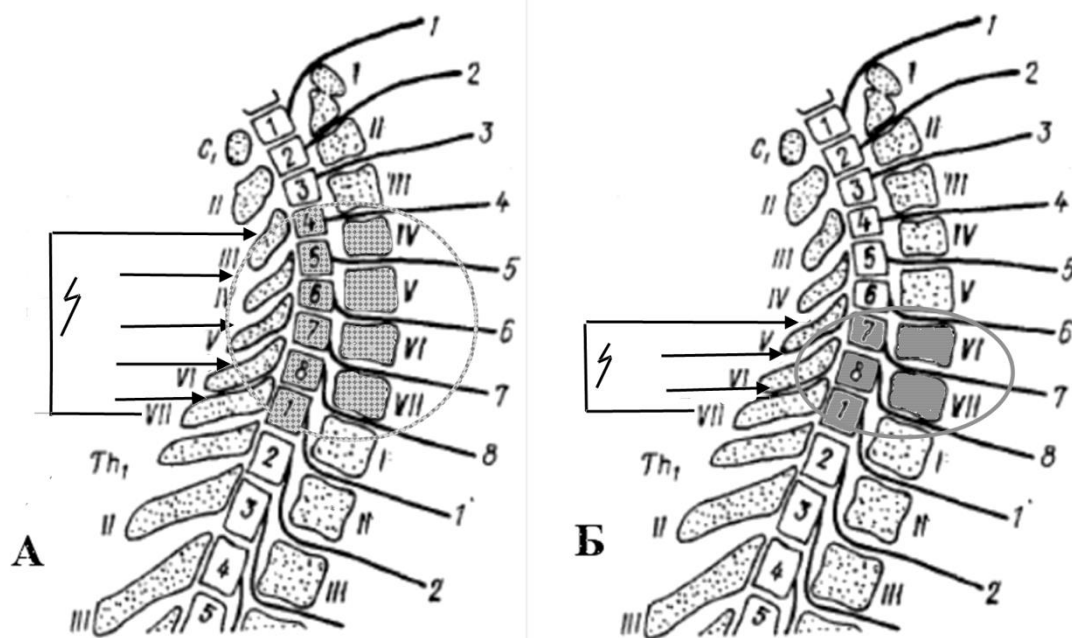


Рис. 3. Сосредоточение оптимальной позиции для активации спинального участка с наибольшей рефлекторной возбудимостью α -МН билатеральных мышц плеча и предплечья при чрескожной стимуляции (электростимуляционные точки указаны стрелками) дорсальных корешков шейных спинномозговых сегментов на уровнях позвонков C4–C7 в группах баскетболистов и лыжников-гонщиков (А) и С6, С7 у лиц, не занимающихся спортом (Б).

Примечание. Шейные и верхние грудные сегменты спинного мозга и их корешки обозначены арабскими цифрами, а соответствующие им сегменты позвоночного столба с остистыми отростками – римскими; их общая схема заимствована из атласа-пособия Н.В. Крыловой, П.М. Гирихида [4], адаптирована О.В. Ланской, Е.Ю. Андрияновой

Анализ пороговых величин ВМО билатеральных мышц бедра, голени и стопы, зарегистрированных при стимуляции на уровнях позвонков T11–L3, показал, что в группе баскетболистов уровень рефлекторной возбудимости низкопороговых элементов мотонейронного пула пояснично-крестцовых сегментов спинного мозга, иннервирующего мышцы нижних конечностей, был несколько выше, чем у лиц, не занимающихся спортом. Однако только в единичных случаях были обнаружены достоверно значимые отличия между показателями данного параметра у представителей этих групп. При этом у лыжников-гонщиков установлен значительно более высокий уровень рефлекторной возбудимости низкопороговых α -МН билатеральных двуглавых мышц бедра, медиальных икроножных, камбаловидных и коротких сгибателей пальцев стопы по сравнению с группой лиц, не занимающихся спортом. Об этом свидетельствует тот факт, что у лыжников при стимуляции на уровнях позвонков T11–L3 регистрировались статистически более низкие значения порогов ВМО мышц нижних конечностей по сравнению с нетренированными. Вместе с тем было установлено, что у представителей игрового вида спорта возбудимость низкопороговых спинальных α -МН, иннервирующих мышцы проксимальных и дистальных отделов нижних конечностей, была, в основном, существенно ниже по сравнению со спортсменами, специализирующимися в лыжных гонках.

При чрескожной электростимуляции невралных структур спинного мозга на уровнях позвонков T11–L3 не обнаружено достоверно значимых различий в уровне возбудимости высокопороговых элементов спинально-мотонейронного представительства мышц нижних конечностей у баскетболистов и участников исследования, не занимающихся спортом. Об этом свидетельствует отсутствие в большинстве случаев достоверно значимых отличий между показателями максимальной амплитуды ВМО тестируемых мышц у представителей этих групп, несмотря на более высокую вольтажность вызванных мышечных потенциалов у спортигровиков по сравнению с нетренированными. При этом у лыжников-гонщиков установлена более вы-

сокая электровозбудимость высокопороговых α -МН, иннервирующих тестируемые мышцы бедра, голени и стопы, не только по сравнению с нетренированными участниками исследования, но и с группой баскетболистов.

Вместе с тем одним из обнаруженных признаков функциональной пластичности пояснично-крестцовых спинальных систем двигательного контроля у спортсменов по сравнению с нетренированными лицами является расширение в спинном мозге площади представительства α -МН мышц нижних конечностей с наибольшей рефлекторной возбудимостью: у баскетболистов и лыжников-гонщиков она соответствует уровням позвонков T11–T12, а у лиц, не занимающихся спортом, – только T12.

Заключение. Проведенное исследование позволило установить, что долговременные систематические занятия видами спорта с близкой по структуре двигательной деятельностью, в которых имеет место сопоставимый вклад мышц верхних и нижних конечностей в соревновательный результат (на примере игровых видов спорта), сопровождаются общими признаками функциональной пластичности шейных и пояснично-крестцовых спинальных моторных центров. При различном вкладе спортсмены, адаптированные к выполнению близких по характеру физических нагрузок, демонстрируют явные различия в функциональном состоянии на уровне тех спинальных двигательных структур, которые различаются по степени активации и влияния на спортивный результат (на примере циклических видов спорта). Выявлено также, что длительная циклическая работа умеренной мощности сопровождается более выраженными электронейромиографическими признаками пластичности шейных и пояснично-крестцовых спинальных двигательных структур, чем смешанная мышечная деятельность переменной мощности.

1. Гусев Е. И. Пластичность нервной системы / Е. И. Гусев, П. Р. Камчатнов // Журн. неврологии и психиатрии. – 2004. – № 3. – С. 73–79.

2. Дембо А. Г. Заболевания и повреждения при занятиях спортом / А. Г. Дембо. – Л.: Медицина, 1991. – 336 с.

3. Коц Я. М. Спортивная физиология / Я. М. Коц. – Л. : Медицина, 1986. – 256 с.
4. Крылова Н. В. Анатомия спинномозговых нервов в схемах и рисунках : атлас-пособие / Н. В. Крылова, П. М. Гирихиди. – М. : Изд-во УДН, 1990. – 56 с.
5. Михайлов В. В. Дыхание лыжника-гонщика / В. В. Михайлов, Ю. Ф. Рыбаков // Лыжный спорт. – 1984. – № 1. – С. 28–32.
6. Родичкин П. Ф. Физиологическая характеристика классификаций физических упражнений / П. Ф. Родичкин // Психофармакология и биологическая наркология. – 2004. – Т. 4, № 1. – С. 623–625.
7. Фарфель В. С. Управление движениями в спорте / В. С. Фарфель. – М. : Физическая культура и спорт, 1975. – 205 с.
8. Corticospinal tract transection prevents operantly conditioned H-reflex increase in rats / Y. C. Xiang [et al.] // *Experimental Brain Research*. – 2002. – № 144 (1). – P. 88.
9. Effect of epidural stimulation of the lumbosacral spinal cord on voluntary movement, standing, and assisted stepping after motor complete paraplegia: a case study / S. Harkema [et al.] // *Lancet*. – 2011. – № 377. – P. 1938–1947.
10. Modulation of multisegmental monosynaptic responses in a variety of leg muscles during walking and running in humans / G. Courtine [et al.] // *The J. of Physiology*. – 2007. – № 582 (3). – P. 1125–1139.
11. Posterior root-muscle reflexes elicited by transcutaneous stimulation of the human lumbosacral cord / K. Minassian [et al.] // *Muscle Nerve*. – 2007. – № 35 (3). – P. 327–336.

IDENTIFYING THE SIGNS OF SPINAL MOTONEURON POOLS PLASTICITY OF UPPER AND LOWER LIMB MUSCLES IN REPRESENTATIVES OF DIFFERENT KINDS OF SPORTS

O.V. Lanskaya, E.Y. Andriyanova

Velikiye Luki State Academy of Physical Education and Sports

There is presented the data of a plasticity of nervous structures cervical and lumbar-sacral region of a spinal cord of athletes. It is established that cyclic work of moderate intensity is followed by increase of functional plasticity of a spinal-motor-neural muscles of the upper and lower extremities.

Keywords: athletes, plasticity of spinal cord, posterior root-muscle reflexes.