

УДК 612.832; 612.833.8; 612.834
DOI 10.23648/UMBJ.2018.32.22696

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ПЛАСТИЧНОСТИ МОТОРНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ЗАНЯТИЯХ РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ СПОРТА

О.В. Ланская, Е.В. Ланская

ФГБОУ ВО «Великолукская государственная академия физической культуры и спорта»,
г. Великие Луки, Россия

e-mail: Lanskaya2012@yandex.ru

Кортико-спинальный тракт – анатомо-функциональное образование, включающее в себя корковые моторные связи, сегментарные интернейроны и спинальные α -мотонейроны, контролирующие произвольные движения человека. Взаимодействия между этими структурами сопровождаются функциональными перестройками нейрональных сетей, которые принято называть пластичностью. Нами был использован комплекс экспериментальных методик для изучения на примере видов спорта (пауэрлифтинга, бега на короткие, средние и длинные дистанции, баскетбола) функциональных свойств нейромоторной системы.

Цель работы – выявление механизмов пластичности коркового, спинального и периферического уровней моторной системы, сформировавшихся под влиянием многолетней физической активности, направленной на развитие преимущественно либо выносливости, либо скоростно-силовых или силовых качеств.

Материалы и методы. Обследованы 12 баскетболистов, 10 пауэрлифтеров, легкоатлеты-бегуны, специализирующиеся в беге на 100 м (10 чел.), 800 м (10 чел.) и 5000 м (8 чел.). Использован широкий арсенал методов: транскраниальная магнитная стимуляция; магнитная и электрическая стимуляция спинного мозга на уровнях С7–Т1, Т11–Т12 и периферических нервов плечевого сплетения и нижних конечностей; регистрация М-ответов мышц.

Результаты. Стайеры, выполняющие работу на выносливость в режиме большой мощности, имеют самый высокий уровень возбудимости корковых нейронов, спинальных мотонейронов и периферических нервов по сравнению с остальными группами обследованных спортсменов. Атлетам, занимающимся силовыми и скоростно-силовыми видами спорта, свойственна наибольшая проводящая способность кортико-спинального тракта и аксонов периферических нервов, иннервирующих мышцы-мишени.

Выводы. Направленность многолетней физической активности определяет выраженность признаков пластических перестроек на разных уровнях построения движения (кортикальном, спинальном, периферическом).

Ключевые слова: пластичность моторной системы, магнитная и электрическая стимуляция отделов нервной системы, вызванные моторные ответы, виды спорта.

Введение. Важнейшим нейрональным путем в моторной системе человека является кортико-спинальный, или пирамидный, тракт – анатомо-функциональное образование, включающее в себя корковые моторные связи, сегментарные интернейроны и спинальные α -мотонейроны, контролирующие произвольные движения человека. Взаимодействия между этими структурами сопровождаются функциональными перестройками нейрональных сетей, которые принято называть пластичностью [1]. Установлено, что многолетняя специфическая физическая активность

сопровождается характерными изменениями морфологического состояния организма [2] и функционирования моторной системы человека [3]. Ранее проведенные исследования показали, что более выраженное усиление функциональной активности как центральных, так и периферических элементов нейромоторной системы и значительное модулирование рефлексов мышц верхних и нижних конечностей наблюдалось у лыжников-гонщиков, деятельность которых характеризуется большей автономностью, монотонностью, цикличностью и низкой вариативно-

стью движений по сравнению с атлетами, спортивные движения которых сопряжены с ациклическостью, ситуативным характером работы, включением в деятельность постоянно меняющегося набора мышечных групп (баскетболисты) [4]. В результате исследований других авторов [4] обнаружена значительная пластичность структур всех уровней моторной системы, осуществляющих управление движением (кортикального, спинального и периферического), под воздействием локальной физической нагрузки силовой направленности [5].

Для изучения процессов нейрональной пластичности в корковых и спинальных отделах ЦНС и приспособительных механизмов в двигательной системе спортсменов, вызванных различными видами мышечной деятельности, используется большой арсенал методических подходов [3–8]. Несмотря на достаточно широкое распространение методов исследования кортико-спинального тракта, периферических отделов нервной системы и анализа мышечной деятельности, ряд вопросов, касающихся локализации пластических перестроек на кортикальном, спинальном, периферическом нервном и/или мышечном уровнях под влиянием физических нагрузок различной направленности, специфичности функциональных перестроек для определенного вида спортивной деятельности и механизмов, которые могут их обуславливать, остается не до конца изученным.

Цель исследования. Выявление механизмов пластичности коркового, спинального и периферического уровней моторной системы, сформировавшихся под влиянием многолетней физической активности, направленной на развитие преимущественно либо выносливости, либо скоростно-силовых или силовых качеств.

Материалы и методы. Исследование проведено на базе НИИ проблем спорта и оздоровительной физической культуры Великолукской государственной академии физической культуры и спорта. В исследовании приняли участие испытуемые мужского пола в возрасте 18–25 лет, имеющие спортивную квалификацию I взрослый разряд, КМС: 12 баскетболистов; 10 пауэрлифтеров; легко-

атлеты-бегуны, специализирующиеся в беге на 100 м (10 чел.), 800 м (10 чел.), 5000 м (8 чел.). Стаж спортивной деятельности – от 7 до 12 лет. Все спортсмены были обследованы на специально-подготовительном этапе подготовительного периода спортивной тренировки. Каждый спортсмен в день его участия в исследовании был освобожден от тренировок. Испытуемые получили подробную информацию по проводимым исследованиям и дали письменное согласие на участие в них в соответствии с Хельсинкской декларацией.

У участников исследования в состоянии мышечного покоя регистрировались вызванные моторные ответы (ВМО) с мышц правых верхней и нижней конечностей (двуглавой и трехглавой мышц плеча, лучевого сгибателя и локтевого разгибателя кисти, короткого сгибателя большого пальца, мышцы, отводящей большой палец кисти, прямой и двуглавой мышц бедра, камбаловидной и передней большеберцовой, короткого сгибателя и короткого разгибателя пальцев стопы) при транскраниальной магнитной стимуляции (ТМС) моторной коры, магнитной стимуляции (МС) и чрескожной электрической стимуляции спинного мозга (ЧЭССМ) на уровнях С7–Т1 и Т11–Т12 позвонков, МС периферических нервов плечевого сплетения в точке Эрба (надключичная область) и нижней конечности (бедренного, больше- и малоберцового, медиального подошвенного), а также моторные ответы (М-ответы) тестируемых мышц при электрической стимуляции (ЭС) вышеперечисленных периферических нервов. ТМС осуществлялась при помощи магнитного стимулятора Magstim Rapid (Magstim Company Ltd, Великобритания) с использованием сдвоенного углового койла с мощностью магнитного поля 1,4 Т. Для МС спинного мозга и периферических нервов использовался плоский одинарный койл диаметром 70 мм с мощностью магнитного поля 2,6 Т. Койл позиционировался вплотную к поверхности кожи на уровнях С7–Т1 и Т11–Т12 позвонков между остистыми отростками. Регистрируемые параметры ВМО: порог (в % и Т), амплитуда (мВ), латентность (мс), длительность (мс), время центрального моторного проведения (ВЦМП) (мс). ВЦМП вычис-

ляется по разности латентностей ВМО при ТМС и МС спинного мозга.

Для отведения и регистрации ВМО при ЧЭССМ и М-ответов в состоянии покоя использовался электрический стимулятор «Нейрософт» (ООО «Нейрософт», Россия, г. Иваново). При ЧЭССМ активный электрод (катод) диаметром 30 мм располагался по средней линии позвоночника на коже на уровне шейного (позвонки С7–Т1) и поясничного утолщений спинного мозга (позвонки Т11–Т12) между остистыми отростками. Индифферентные кожные электроды (аноды) – гибкие пластины прямоугольной формы (45×80 мм) – располагались симметрично на ключицах (при стимуляции на уровне С7–Т1) либо на подвздошных гребнях тазовых костей (при стимуляции на уровне Т11–Т12 позвонков). Для регистрации ВМО и М-ответа наносились прямоугольные электрические стимулы длительностью 1 мс и интенсивностью от 0 до 100 мА. С целью предотвращения следовых эффектов пауза между импульсами составляла не менее 15 с. При регистрации М-ответов активный электрод диаметром 1 см располагался на коже в проекции нерва, пассивный – на противоположной стороне поверхности. Регистрируемые параметры ВМО и М-ответа: порог (мА), амплитуда (мВ), латентность (мс), длительность (мс).

Регистрация мышечных ответов осуществлялась электронейромиографом «НейроМВП-8» (ООО «Нейрософт», Россия, г. Иваново). Отводящие электроды диаметром 0,8 см располагались биполярно в области двигательных точек указанных мышц с межэлектродным расстоянием 2,5 см. Для точного наложения стимулирующих и отводящих электродов при повторных измерениях места их расположения маркировались.

Статистическая обработка результатов выполнена с помощью программы STATISTICA 10.0. Рассчитывали среднее арифметическое (M) и ошибку среднего арифметического (m). Для сравнительного анализа использован критерий Kruskal–Wallis ANOVA.

Результаты и обсуждение. Результаты исследований с применением методов магнитной и электрической стимуляции нервных

структур показали, что стайеры, выполняющие работу на выносливость в режиме большой мощности, имеют самый высокий уровень возбудимости корковых нейронов, спинальных мотонейронов и периферических нервов по сравнению с остальными группами обследованных спортсменов. Об этом свидетельствует тот факт, что у стайеров регистрировались самые низкие пороги и самая высокая амплитуда мышечных ответов при магнитной и электрической стимуляции нервных структур, а у спринтеров и пауэрлифтеров регистрировались диаметрально противоположные характеристики данных параметров. Диапазон количественных величин этих параметров у баскетболистов и бегунов на средние дистанции был примерно одинаковым и занимал промежуточное положение между группами пауэрлифтеров и спринтеров с одной стороны и группой стайеров – с другой. В табл. 1 и 2 в качестве примера представлены показатели амплитуды ВМО камбаловидной мышцы у представителей различных видов спорта соответственно при магнитной и электрической стимуляции центральных и периферических отделов нервной системы. Похожая картина у спортсменов наблюдалась и в отношении других тестируемых мышц.

На рис. 1 в качестве примера представлены образцы записи ВМО камбаловидной мышцы у спортсменов, полученные при МС моторной коры (А), спинного мозга (Б) и периферических нервов (В). Можно наблюдать, что у стайеров (группа 5) обнаруживается самая высокая вольтажность и выраженная асинхронность активности двигательных единиц (ДЕ), о чем свидетельствует наличие псевдо- и полифаз ВМО. Визуальный анализ оригинальных записей ВМО остальных из ряда тестируемых мышц показал их сходство с образцами записи вызванных ответов камбаловидной мышцы. Асинхронность активности ДЕ может объясняться тем, что для обеспечения длительной, но не очень интенсивной работы отдельные ДЕ сокращаются попеременно (т.е. асинхронно), поддерживая общее напряжение мышцы на заданном уровне и способствуя более медленному развитию утомления. Обнаруженная у стайеров

асинхронность при произвольных одиночных мышечных сокращениях, вероятно, отражает характер временной взаимосвязи активности различных ДЕ при произвольных сокращениях мышц (во время стайерского бега). У пауэрлифтеров и спринтеров (груп-

пы 2 и 3), наоборот, наблюдается самая низкая вольтажность и относительно синхронный режим активации ДЕ. Практически аналогичная картина у обследованных спортсменов наблюдалась и при ЭС спинного мозга и периферических нервов.

Таблица 1

Показатели амплитуды ВМО камбаловидной мышцы при магнитной стимуляции разных отделов нервной системы у спортсменов, мВ

| Вид воздействия | 1. Баскетболисты | 2. Пауэрлифтеры | 3. Спринтеры | 4. Бегуны на средние дистанции | 5. Стайеры |
|---|---|-----------------|--------------|--------------------------------|------------|
| ТМС | 0,32±0,08 | 0,12±0,02 | 0,04±0,01 | 0,22±0,04 | 0,49±0,11 |
| Достоверность различий | Kruskal–Wallis test: H (4, N=50)=27,52324; p=0,00001; p₂₋₃=0,0002; p₂₋₅=0,0005; p₃₋₄=0,002; p₃₋₅=0,0001; во всех остальных случаях p>0,05 | | | | |
| МС спинного мозга на уровне T11–T12 позвонков | 0,33±0,08 | 0,12±0,03 | 0,06±0,01 | 0,34±0,13 | 0,59±0,08 |
| Достоверность различий | Kruskal–Wallis test: H (4, N=50)=26,68543; p=0,00001; p₁₋₃=0,006; p₂₋₅=0,002; p₃₋₅=0,00005; во всех остальных случаях p>0,05 | | | | |
| МС большеберцового нерва | 3,56±0,25 | 2,85±0,21 | 2,73±0,21 | 3,22±0,19 | 3,84±0,56 |
| Достоверность различий | Kruskal–Wallis test: H (4, N=50)=12,554265; p=0,01093; p₂₋₅=0,01; p₃₋₅=0,005; во всех остальных случаях p>0,05 | | | | |

Таблица 2

Показатели амплитуды вызванных ответов камбаловидной мышцы при электростимуляции спинномозговых и периферических нервных структур у спортсменов различных специализаций, мВ

| Параметры вызванных ответов камбаловидной мышцы | 1. Баскетболисты | 2. Пауэрлифтеры | 3. Спринтеры | 4. Бегуны на средние дистанции | 5. Стайеры |
|---|--|-----------------|--------------|--------------------------------|------------|
| Амплитуда ВМО при ЧЭССМ на уровне T11–T12 позвонков | 4,73±1,21 | 2,20±0,53 | 4,33±0,80 | 5,26±0,99 | 7,03±0,80 |
| Достоверность различий | Kruskal–Wallis test: H (4, N=50)=12,54080; p=0,0138; p₂₋₅=0,005; во всех остальных случаях p>0,05 | | | | |
| Амплитуда М-ответа при ЭС большеберцового нерва | 9,30±1,73 | 8,04±1,74 | 4,61±0,55 | 8,15±1,16 | 9,82±1,28 |
| Достоверность различий | Kruskal–Wallis test: H (4, N=50)=12,31776; p=0,0151; p₃₋₅=0,009; во всех остальных случаях p>0,05 | | | | |

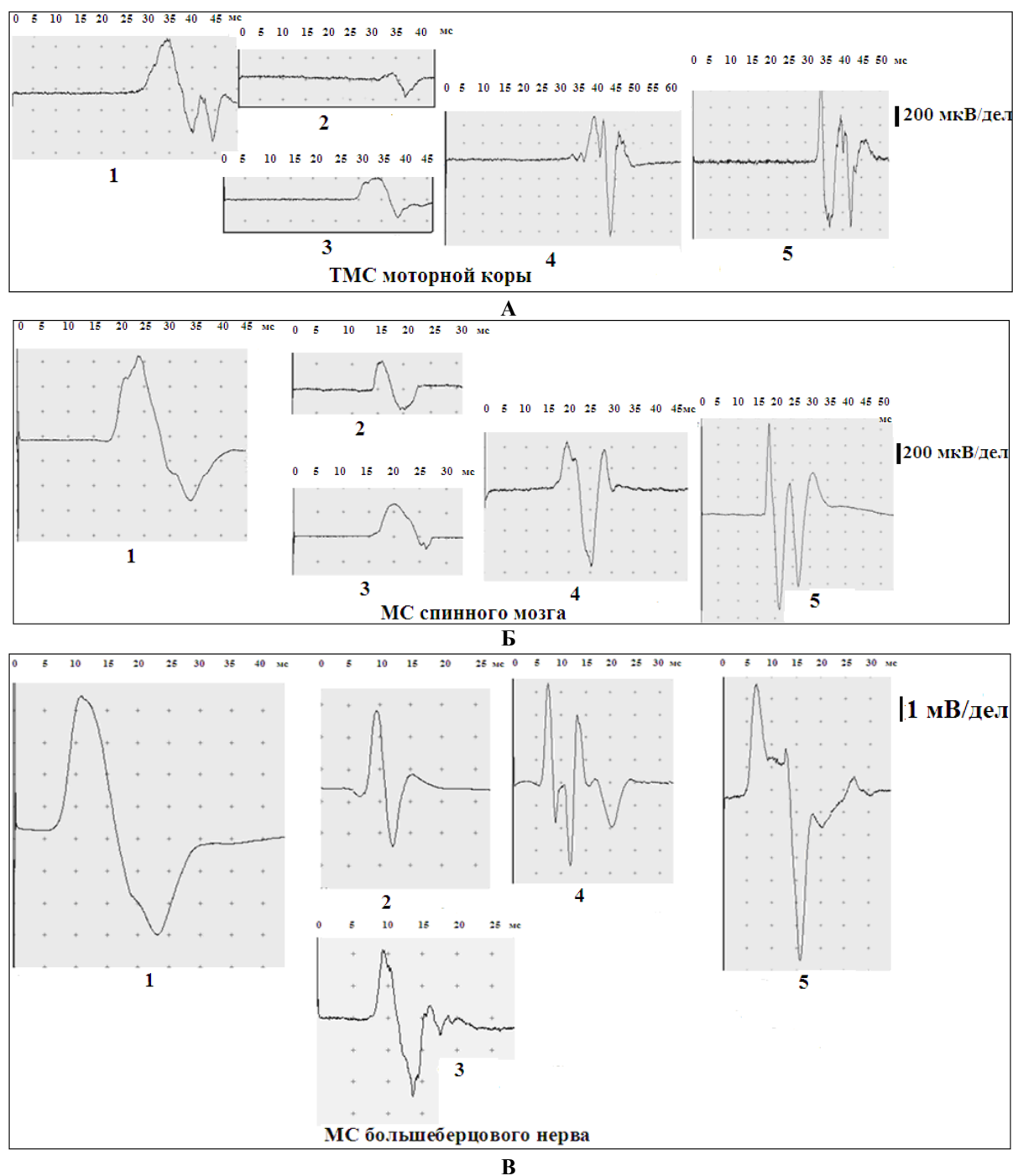


Рис. 1. Образцы записи ВМО камбаловидной мышцы у спортсменов при магнитной стимуляции (100 % мощность индукции) различных участков нервной системы

Таким образом, существенные различия в уровне возбудимости центральных и периферических структур нервной системы, участвующих в управлении движениями, между группами спортсменов, выполняющих мощные кратковременные усилия и адаптированных к длительной малоинтенсивной работе, могут быть обусловлены, во-первых, более эффективной синаптической передачей от

кортико-спинальных нервных клеток к α -мотонейронам и уменьшением тормозного влияния интернейронной сети на нисходящие потоки и возбудимость α -мотонейронов [9] под влиянием долговременной адаптации к длительной работе на выносливость; во-вторых, координированной активностью нейрональных тормозных механизмов спинного мозга: у стайеров в покое выраженность

пресинаптического торможения [10], аутогенного (нереципрокного) торможения, возвратного торможения α -мотонейронов [11] меньше, чем у спринтеров (при этом у стайеров также выраженность пресинаптического торможения Ia-афферентов меньше, чем у спортсменов силовой тренировки [11]); в-третьих, соотношением в мышцах спортсменов различных типов ДЕ, отличающихся морфофункциональными характеристиками и, соответственно, уровнем возбудимости их мотонейронов (у тяжелоатлетов и спринтеров преобладают быстрые ДЕ, у стайеров преобладают медленные ДЕ, у игроков и бегунов на средние дистанции наблюдается относительно равномерное распределение быстрых и медленных ДЕ в рабочих мышцах).

Далее нами было установлено, что среди пяти групп спортсменов у стайеров обнаружена самая низкая, а у спринтеров и пауэрлифтеров самая высокая проводящая способность моторной системы. Об этом свидетельствуют количественные характеристики таких параметров мышечных ответов, как латентность, длительность и ВЦМП. Баскетболисты и бегуны на средние дистанции занимали промежуточное положение между группой стайеров с одной стороны и группами пауэрлифтеров и спринтеров – с другой. На примере камбаловидной мышцы (табл. 3–5) видно, что наименьшие показате-

ли латентности и ВЦМП регистрировались у спринтеров и пауэрлифтеров, а самые высокие – у стайеров. В отношении остальных тестируемых мышц наблюдалась практически аналогичная картина.

Существенные различия в уровне проводящей способности моторной системы между спринтерами и пауэрлифтерами с одной стороны и стайерами – с другой могут быть обусловлены, во-первых, определенными различиями в длине туловища и конечностей спортсменов, однако величины латентности, ВЦМП и длительности мышечных ответов у баскетболистов, у которых длина тела составила в среднем $187,58 \pm 2,71$ см, были меньше, чем у стайеров с длиной тела $177,23 \pm 3,27$ см (следовательно, обнаруженный факт может зависеть и от других обстоятельств); во-вторых, различным процентом жировой ткани, влияющим на скорость проведения возбуждения у спортсменов, адаптированных к физическим нагрузкам различной направленности; в-третьих, вероятно, что в условиях выбранных видов стимуляции происходит активация корковых нейронов, а затем рекрутирование соответствующих ДЕ, соотношение которых в мышцах у представителей изучаемых видов спорта различное. В свою очередь медленные ДЕ характеризуются низкой скоростью проведения возбуждения по аксону, в отличие от быстрых ДЕ.

Таблица 3

Показатели латентности ВМО камбаловидной мышцы при магнитной стимуляции разных отделов нервной системы у спортсменов различных специализаций, мс

| Вид воздействия | 1. Баскетболисты | 2. Пауэрлифтеры | 3. Спринтеры | 4. Бегуны на средние дистанции | 5. Стайеры |
|---|--|-----------------|--------------|--------------------------------|------------|
| ТСМ | 31,88±0,26 | 31,09±0,71 | 30,97±0,69 | 31,84±1,07 | 34,23±0,77 |
| Достоверность различий | Kruskal–Wallis test: H (4, N=50)=14,64372; p=0,0055; p₂₋₅=0,02; p₃₋₅=0,004; во всех остальных случаях p>0,05 | | | | |
| МС спинного мозга на уровне T11–T12 позвонков | 15,88±0,81 | 15,48±0,35 | 15,46±0,53 | 16,32±0,3 | 16,91±0,62 |
| Достоверность различий | Kruskal–Wallis test: H (4, N=50)=6,349524; p=0,1745; во всех анализируемых случаях p>0,05 | | | | |
| СМ большеберцового нерва | 6,95±0,19 | 6,95±0,14 | 6,78±0,09 | 7,01±0,09 | 7,08±0,25 |
| Достоверность различий | Kruskal–Wallis test: H (4, N=50)=2,386989; p=0,6650; во всех анализируемых случаях p>0,05 | | | | |

Таблица 4

Показатели времени центрального моторного проведения ВМО камбаловидной мышцы у спортсменов различных специализаций, мс

| Параметр ВМО | 1. Баскетболисты | 2. Пауэрлифтеры | 3. Спринтеры | 4. Бегуны на средние дистанции | 5. Стайеры |
|------------------------|---|-----------------|--------------|--------------------------------|------------|
| ВЦМП | 15,4±0,93 | 15,55±0,44 | 15,35±1,13 | 15,61±0,61 | 18,11±0,6 |
| Достоверность различий | Kruskal–Wallis test: H (4, N=50)=11,11943; p=0,0253; p₂₋₅=0,04; p₃₋₅=0,03; во всех остальных случаях p>0,05 | | | | |

Таблица 5

Показатели латентности вызванных ответов камбаловидной мышцы при электростимуляции спинномозговых и периферических нервных структур у спортсменов различных специализаций, мс

| Параметры вызванных ответов камбаловидной мышцы | 1. Баскетболисты | 2. Пауэрлифтеры | 3. Спринтеры | 4. Бегуны на средние дистанции | 5. Стайеры |
|---|---|-----------------|--------------|--------------------------------|------------|
| Латентность ВМО при ЧЭССМ на уровне T11–T12 позвонков | 18,32±0,40 | 17,66±0,39 | 16,33±0,55 | 18,33±0,37 | 19,01±0,48 |
| Достоверность различий | Kruskal–Wallis test: H (4, N=50)=11,38152; p=0,0238; p₃₋₅=0,03; во всех остальных случаях p>0,05 | | | | |
| Латентность М-ответа при ЭС большеберцового нерва | 6,76±0,17 | 6,58±0,08 | 6,60±0,18 | 6,78±0,15 | 7,53±0,39 |
| Достоверность различий | Kruskal–Wallis test: H (4, N=50)=5,307911; p=0,2571; во всех анализируемых случаях p>0,05 | | | | |

Установлено также, что ЭС спинного мозга и периферических нервов приводит к большей генерализации процессов возбуждения в данных структурах нервной системы в сравнении с МС, о чем свидетельствуют различия в амплитудных характеристиках ответов при разных видах стимуляции (табл. 1–2). При анализе индивидуальных величин обнаружены более значительные различия. Так, например, максимальная амплитуда ВМО камбаловидной мышцы при МС поясничных сегментов у одного из участников исследования (стайера) составила 2 мВ, а при ЭС на этом уровне – 3 мВ. При МС большеберцового нерва – 9 мВ, а при ЭС на этом же уровне – 12,5 мВ. Похожие различия наблюдались

в отношении всех других мышц из ряда тестируемых. Полученные данные можно объяснить тем, что ЭС центральных и периферических нервных структур вызывает активацию большего количества ДЕ, входящих в мотонейронные пулы исследуемых мышц, чем магнитная.

Заключение. Направленность многолетней физической активности определяет выраженность признаков пластических перестроек на разных уровнях построения движения (кортикальном, спинальном, периферическом). Наибольшая их выраженность обнаружена у стайеров, пауэрлифтеров и спринтеров по сравнению с баскетболистами и бегунами на средние дистанции.

Литература

1. *Minassian K., Hofstoetter U.S.* Spinal Cord Stimulation and Augmentative Control Strategies for Leg Movement after Spinal Paralysis in Humans. *CNS Neuroscience & Therapeutics*. 2016; 22 (4): 262–270.
2. *Хакимуллина Д.Р., Кашеваров Г.С., Хафизова Г.Н., Габдрахманова Л.Д., Ахметов И.И.* Модельные антропометрические и морфологические характеристики бегунов на различные дистанции. *Наука и спорт: современные тенденции*. 2015; 6 (1): 92–96.
3. *Ланская Е.В., Ланская О.В., Андриянова Е.Ю.* Механизмы нейропластичности кортикоспинального тракта при занятиях спортом. *Ульяновский медико-биологический журнал*. 2016; 1: 127–136.
4. *Андриянова Е.Ю., Ланская О.В.* Механизмы двигательной пластичности спинномозговых нервных цепей на фоне долговременной адаптации к спортивной деятельности. *Физиология человека*. 2014; 40: 73–85.
5. *Пухов А.М., Иванов С.М., Мачуева Е.Н., Михайлова Е.А., Мусеев С.А.* Пластичность моторной системы человека под воздействием локальной физической нагрузки. *Ульяновский медико-биологический журнал*. 2017; 1: 114–122.
6. *Gerasimenko Y., Gorodnichev R., Puhov A., Moshonkina T., Savochin A., Selionov V., Roy R.R., Lu D.C., Edgerton V.R.* Initiation and modulation of locomotor circuitry output with multi-site transcutaneous electrical stimulation of the spinal cord in non-injured humans. *Neurophysiol*. 2015; 113 (3): 834–842.
7. *Vogacheva I.N., Musienko P.E., Shcherbakova N.A., Moshonkina T.R., Savokhin A.A., Gerasimenko Yu.P.* Analysis of locomotor activity in decerebrate cats using electromagnetic and epidural electrical stimulation of the spinal cord. *Neuroscience and Behavioral Physiology*. 2014; 44 (5): 552–559.
8. *Городничев Р.М., Беляев А.Г., Шляхтов В.Н.* Магнитная стимуляция мышц как новый метод повышения их силовых возможностей. *Теория и практика физической культуры*. 2015; 6: 8–11.
9. *Gruber M., Linnamo V., Strojnik V.* Excitability at the motoneuron pool and motor cortex is specifically modulated in lengthening compared to isometric contractions. *J. Neurophysiol*. 2009; 101 (4): 2030–2040.
10. *Городничев Р.М., Фомин Р.Н.* Пресинаптическое торможение альфа-мотонейронов спинного мозга человека при адаптации к двигательной деятельности разной направленности. *Физиология человека*. 2007. 2 (33): 98–103.
11. *Earles D.R., Dierking J.T., Robertson C.T.* Pre- and post-synaptic control of motoneuron excitability in athletes. *Med. Sci. Sports Exerc*. 2002; 34 (11): 1766–1772.

PHYSIOLOGICAL MECHANISMS OF MOTOR SYSTEM PLASTICITY WHILE DOING SPORTS

O.V. Lanskaya, E.V. Lanskaya

Velikie Luki State Academy of Physical Culture and Sport, Velikie Luki, Russia

e-mail: Lanskaya2012@yandex.ru

Corticospinal tract is an anatomical and functional formation, which includes cortical motor connections, segmental interneurons and spinal a-motor neurons that control human voluntary movements. The interaction between these structures is accompanied by functional reorganization of neural network, which is commonly called plasticity. We used a set of experimental methods to study functional properties of the neuromotor system using different kinds of sport as an example (e.g. powerlifting, sprint, middle-distance race, long-distance running, and basketball).

The purpose of the paper is to identify the plasticity mechanisms of cortical, spinal and peripheral levels of the motor system, which have been formed under long-term physical activity, aimed at developing either endurance, speed and strength capabilities or strength qualities.

Materials and Methods. The authors examined 12 basketball players, 10 powerlifters, track-and-field runners, who specialize in sprint (100 meters; 10 runners), middle-distance race (800 meters; 10 runners) and long-distance running (5000 meters; 8 runners). Various methods have been used: transcranial magnetic stimulation; magnetic and electrical stimulation of the spinal cord at the levels of C7–T1, T11–T12 and peripheral nerves of brachial plexus and lower extremities; registration of muscle M-responses.

Results. Stayers who develop endurance in a high-power mode have the highest level of excitability of cortical neurons, spinal motor neurons and peripheral nerves compared to the other athletes enrolled in the study. Athletes involved in strength sports or speed and strength sports demonstrate the greatest conductive capacity of the corticospinal tract and axons of the peripheral nerves that innervate the target muscles.

Conclusion. The long-term physical activity determines the degree of plastic rearrangements at different movement levels (cortical, spinal, peripheral).

Keywords: motor system plasticity, magnetic and electrical stimulation of the nervous system, induced motor responses, athletic disciplines.

References

1. Minassian K., Hofstoetter U.S. Spinal Cord Stimulation and Augmentative Control Strategies for Leg Movement after Spinal Paralysis in Humans. *CNS Neuroscience & Therapeutics*. 2016; 22 (4): 262–270.
2. Khakimullina D.R., Kashevarov G.S., Khafizova G.N., Gabdrakhmanova L.D., Akhmetov I.I. Model'nye antropometricheskie i morfologicheskie kharakteristiki begunov na razlichnye distantsii [Model anthropometric and morphological characteristics of distance runners]. *Nauka i sport: sovremennye tendentsii*. 2015; 6 (1): 92–96 (in Russian).
3. Lanskaya E.V., Lanskaya O.V., Andriyanova E.Yu. Mekhanizmy neyroplastichnosti kortikospinal'nogo trakta pri zanyatiyakh sportom [Mechanisms of corticospinal tract neuroplasticity while doing sports]. *Ulyanovskiy mediko-biologicheskii zhurnal*. 2016; 1: 127–136 (in Russian).
4. Andriyanova E.Yu., Lanskaya O.V. Mekhanizmy dvigatel'noy plastichnosti spinnomozgovykh nervnykh tsepey na fone dolgovremennoy adaptatsii k sportivnoy deyatel'nosti [Mechanisms of motor plasticity of spinal nerve chains on the background of long-term adaptation to sports activities]. *Fiziologiya cheloveka*. 2014; 40: 73–85 (in Russian).
5. Pukhov A.M., Ivanov S.M., Machueva E.N., Mikhaylova E.A., Moiseev S.A. Plastichnost' motornoy sistemy cheloveka pod vozdeystviem lokal'noy fizicheskoy nagruzki [Human motor system plasticity under local physical load]. *Ulyanovskiy mediko-biologicheskii zhurnal*. 2017; 1: 114–122 (in Russian).
6. Gerasimenko Y., Gorodnichev R., Puhov A., Moshonkina T., Savochin A., Selionov V., Roy R.R., Lu D.C., Edgerton V.R. Initiation and modulation of locomotor circuitry output with multi-site transcutaneous electrical stimulation of the spinal cord in non-injured humans. *Neurophysiol*. 2015; 113 (3): 834–842.
7. Bogacheva I.N., Musienko P.E., Shcherbakova N.A., Moshonkina T.R., Savokhin A.A., Gerasimenko Yu.P. Analysis of locomotor activity in decerebrate cats using electromagnetic and epidural electrical stimulation of the spinal cord. *Neuroscience and Behavioral Physiology*. 2014; 44 (5): 552–559.
8. Gorodnichev R.M., Belyaev A.G., Shlyakhtov V.N. Magnitnaya stimulyatsiya myshts kak novyy metod povysheniya ikh silovykh vozmozhnostey [Magnetic muscular stimulation as a new method of increasing their power capabilities]. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury*. 2015; 6: 8–11 (in Russian).
9. Gruber M., Linnamo V., Strojnik V. Excitability at the motoneuron pool and motor cortex is specifically modulated in lengthening compared to isometric contractions. *J. Neurophysiol*. 2009; 101 (4): 2030–2040.
10. Gorodnichev R.M., Fomin R.N. Presinapticheskoe tormozhenie al'fa-motoneuronov spinnogo mozga cheloveka pri adaptatsii k dvigatel'noy deyatel'nosti raznoy napravlennosti [Presynaptic inhibition of alpha-motor neurons of the human spinal cord during adaptation to multidirectional motor activity]. *Fiziologiya cheloveka*. 2007. 2 (33): 98–103 (in Russian).
11. Earles D.R., Dierking J.T., Robertson C.T. Pre- and post-synaptic control of motoneuron excitability in athletes. *Med. Sci. Sports Exerc*. 2002; 34 (11): 1766–1772.