

ОСОБЕННОСТИ ВЫЗВАННЫХ ОТВЕТОВ СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ У ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СПОРТА ПРИ МАГНИТНОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТИМУЛЯЦИИ ЦЕНТРАЛЬНЫХ И ПЕРИФЕРИЧЕСКИХ СТРУКТУР НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ

О.В. Ланская, Е.В. Ланская

Великолукская государственная академия физической культуры и спорта, Великие Луки, Россия
Для связи с авторами: E-mail: lanskaya2012@yandex.ru

Аннотация:

Регистрация характеристик мышечных ответов, вызванных такими видами активации, как транскраниальная магнитная стимуляция коры головного мозга, магнитная и электрическая стимуляция спинного мозга на уровнях С7-Т1 и Т11-Т12 позвонков, а также периферических нервов верхних и нижних конечностей, позволяет выявлять механизмы структурно-функционального взаимодействия кортикальных, спинальных и периферических отделов моторной системы и анализировать особенности происходящих в них изменений под влиянием различных видов мышечной деятельности. Серии собственных исследований с применением данных стимуляционных методов показали, что направленность многолетней спортивной деятельности определяет выраженность признаков пластических перестроек в функционировании кортико-спинальных и периферических нервных структур, осуществляющих двигательный контроль и иннервацию скелетных мышц. Наибольшая их выраженность обнаружена у спортсменов, систематически выполняющих циклическую работу на выносливость в режиме большой мощности (легкоатлетов-стайеров), а также силовые ациклические (пауэрлифтеров) и скоростные циклические (легкоатлетов-спринтеров) нагрузки высокой мощности по сравнению с атлетами, адаптированными к мышечной деятельности переменной мощности с преимущественно ациклической структурой движений (баскетболистами) и циклической работе субмаксимальной мощности (бегунами на средние дистанции). Выявлено, что у спортсменов в зависимости от их специализации при магнитном и электрическом воздействии на спинальные и периферические нервные структуры обнаружены однонаправленные изменения характеристик вызванных моторных ответов.

Ключевые слова: транскраниальная магнитная стимуляция, магнитная и электрическая стимуляция спинного мозга и периферических нервов, моторные ответы, спортивная деятельность различной направленности.

PECULIARITIES OF CREATIVE ANSWERS OF SKELETAL MUSCLES IN REPRESENTATIVES OF VARIOUS SPORTS IN MAGNETIC AND ELECTRIC STIMULATION OF CENTRAL AND PERIPHERAL STRUCTURES OF THE NERVOUS SYSTEM

O.V. Lanskaya, E.V. Lanskaya Velikiye

Luki State Academy of Physical Culture and Sports, Velikiye Luki, Russia

Abstract:

The registration of the characteristics of the muscular responses caused by such activation types as transcranial magnetic stimulation of the cerebral cortex, magnetic and electrical stimulation of the spinal cord at the C7-T1 and T11-T12 vertebrae levels, as well as peripheral nerves of the upper and lower extremities, reveals the mechanisms of structural-functional interaction. Cortical, spinal and peripheral parts of the motor system and analyze the peculiarities of the changes occurring in them under the influence of various types of muscular activity. A series of own studies using these stimulation methods have shown that the direction of long-term sports activity determines the signs of plastic reconstructions in the functioning of cortico-spinal and peripheral nervous structures that exercise motor control and innervation of skeletal muscles. Their greatest manifestation was found in athletes who regularly perform cyclic endurance work in high power mode (athletes), as well as power acyclic (powerlifters) and high-speed cyclic loads (athletes-sprinters) of high power in comparison with athletes adapted to muscular activity variable power with predominantly acyclic structure of movements (basketball players) and cyclic operation of submaximal power (runners for medium distances). It was revealed that athletes, depending on their specialization with magnetic and electrical effects on the spinal and peripheral nervous structures, found unidirectional changes in the characteristics of the motor responses caused.

Key words: transcranial magnetic stimulation, magnetic and electrical stimulation of the spinal cord and peripheral nerves, motor responses, sports activities of various orientations.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время методы транскраниальной магнитной стимуляции (ТМС) коры головного мозга, магнитной и электрической стимуляции спинного мозга и периферических нервов являются широко распространёнными как в клинической практике, так и в области спортивных исследований [1-6]. Регистрация различных характеристик мышечных ответов, вызванных этими видами активации, позволяет объективно исследовать кортико-спинальные процессы возбуждения и торможения, проводниковую функцию и другие свойства моторных путей в покое и при физических нагрузках. Следовательно, применение перечисленных неинвазивных методов последовательно на уровне кортекса, а затем спинного мозга и периферической нервной системы позволяет выявлять механизмы структурно-функционального взаимодействия кортикальных, спинальных и периферических отделов моторной системы и анализировать особенности изменений, происходящих в них под влиянием многолетних интенсивных мышечных напряжений. Другими словами, возможности таких методических подходов позволяют изучать свойства нейрональной пластичности на разных уровнях организации центральной нервной системы и особенности функциональных перестроек соответствующих нервно-мышечных структур в ответ на долговременную адаптацию к физическим нагрузкам различной направленности.

Цель настоящего исследования заключалась в выявлении особенностей пластичности кортико-спинального тракта и нервно-мышечного аппарата в результате спортивной деятельности, направленной на развитие преимущественно либо выносливости, либо скоростно-силовых или силовых качеств.

В соответствии с поставленной целью были сформулированы следующие задачи:

1. Посредством регистрации и анализа характеристик ответов мышц верхней и нижней конечностей, вызванных магнитной стимуляцией коры головного мозга, спинномозговых сегментов и периферических нервов, изучить характер пластических перестроек в функционировании кортико-спинальных и нервно-мышечных структур у спортсменов, адаптированных к мы-

шечной работе различной направленности.

2. Изучить особенности мышечных ответов, вызываемых чрескожной электрической стимуляцией шейных и поясничных спинномозговых сегментов и электростимуляцией периферических нервов, иннервирующих мышцы верхней и нижней конечностей, и выявить признаки пластичности спинальных нейрональных сетей и нервно-мышечных структур у спортсменов различных специализаций.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследованиях приняли участие 50 практически здоровых спортсменов мужского пола в возрасте 19-25 лет, специализирующихся в баскетболе (12 человек), пауэрлифтинге (10 человек), легкоатлетическом беге на короткие (10 человек, бег на 100 м), средние (10 человек, бег на 800 м) и длинные (8 человек, бег на 5 и 10 км) дистанции, имеющих спортивную квалификацию I взрослый разряд, КМС. Стаж спортивной деятельности составил от 7 до 12 лет.

На первом этапе исследований было использовано три вида стимуляции: ТМС моторной коры головного мозга, магнитная стимуляция спинного мозга и периферических нервов. К исследованию привлекались только испытуемые-правши, ограничивались регистрацией вызванных моторных ответов (ВМО) с мышц ведущей верхней (двуглавой и трехглавой мышц плеча; лучевого сгибателя и локтевого разгибателя кисти; длинной мышцы, отводящей большой палец кисти; короткого сгибателя большого пальца кисти) и нижней (двуглавой и прямой мышц бедра, камбаловидной, передней большеберцовой, коротких сгибателя и разгибателя пальцев стопы) конечностей. Для ТМС нами был использован двоярный угловой койл с мощностью магнитного поля 1,4 Т. При ТМС моторной коры мышц правой ноги центр двоярного койла располагали над vertex, а при ТМС проекции моторной коры мышц правой руки двоярный койл располагали более латерально – на контралатеральное от регистрируемой конечности полушарие [1]. Для магнитной стимуляции шейного отдела спинного мозга и периферических нервов плечевого сплетения, иннервирующих тестируемые мышцы плеча, предплечья и кисти, использовался плоский одинарный койл

диаметром 70 мм с мощностью магнитного поля 2,6 Т, который сначала размещался по средней линии позвоночника на уровне позвонков С7-Т1 между остистыми отростками, а затем в точке Эрба. При стимуляции поясничного отдела спинного мозга и периферических нервов, иннервирующих мышцы бедра, голени и стопы, также использовался плоский одинарный койл диаметром 70 мм с мощностью магнитного поля 2,6 Т, который размещался по средней линии позвоночника на уровне позвонков Т11-Т12 между остистыми отростками, а затем в области бедренного нерва (паховая складка), большеберцового нерва (середины подколенной ямки), малоберцового нерва (латеральная часть подколенной ямки у головки малоберцовой кости), медиального подошвенного нерва (медиальная поверхность подошвы). Следует отметить, что при магнитной стимуляции большеберцового нерва ВМО регистрировался только с камбаловидной мышцы, тогда как у двуглавой мышцы бедра таковой отсутствовал, что, вероятно, связано с антидромным механизмом проведения возбуждения по нервному волокну при таком стимуляционном воздействии. Это, на наш взгляд, объясняет и отсутствие М-ответа двуглавой мышцы бедра при электрической стимуляции большеберцового нерва (описание методики регистрации М-ответа представлено ниже), так как прямой мышечный ответ (М-ответ) возникает в ответ на раздражение периферического нерва вследствие ортодромного распространения возбуждения. При анализе таких стимулирующих воздействий в состоянии мышечного покоя оценивались следующие параметры: величина порога возбуждения (порог измеряли в % от выходной мощности магнитного стимулятора), амплитуда (от пика до пика), латентность, длительность, форма и время центрального моторного проведения (ВЦМП) ВМО мышц верхней и нижней конечностей. На втором этапе исследований с тех же мышц правых верхней и нижней конечностей в состоянии покоя осуществлялась регистрация ВМО при чрескожной электрической стимуляции спинного мозга (ЧЭССМ), приложенной со стороны остистых отростков на уровне С7-Т1 [3, 7] и Т11-Т12 позвонков [8], а также М-ответа [9]. При ЧЭССМ активный стимулирующий гибкий дисковый электрод (катод) диаметром 30

мм из самоклеющейся токопроводящей резины (FIAВ, Италия) располагался поочередно в двух точках по средней линии позвоночника на уровне шейного (позвонки С7-Т1) и поясничного утолщений спинного мозга (позвонки Т11-Т12) между остистыми отростками. Индифферентные кожные электроды (анод) – гибкие пластины прямоугольной формы (45×80 мм), изготовленные из самоклеющейся токопроводящей резины (FIAВ, Италия), – располагались симметрично на ключицах (при стимуляции на уровне С7-Т1) либо на подвздошных гребнях тазовых костей (при стимуляции на уровне Т11-Т12 позвонков). Регистрация М-ответов с мышц правой верхней конечности осуществлялась при электростимуляции периферических нервов плечевого сплетения в надключичной области (в точке Эрба) (расположение активного стимулирующего электрода – в надключичной области, пассивного электрода – сверху лопаточной области, поверх кожи) [9]. Регистрация М-ответов с мышц правой нижней конечности (за исключением двуглавой мышцы бедра, так как М-ответ с этой мышцы не регистрируется) осуществлялась при электростимуляции соответствующих периферических нервов: бедренного нерва, иннервирующего прямую мышцу бедра (расположение активного стимулирующего электрода – паховая складка, локализация пассивного электрода – на противоположной стороне поверхности); большеберцового нерва, иннервирующего камбаловидную мышцу (расположение активного стимулирующего электрода – середина подколенной ямки, локализация пассивного электрода – на противоположной стороне поверхности); малоберцового нерва, иннервирующего переднюю большеберцовую мышцу и короткий разгибатель пальцев (расположение активного стимулирующего электрода – латеральная часть подколенной ямки у головки малоберцовой кости, локализация пассивного электрода – на противоположной стороне поверхности); медиального подошвенного нерва, иннервирующего короткий сгибатель пальцев стопы (расположение активного стимулирующего электрода – медиальная поверхность подошвы стопы, локализация пассивного электрода – на противоположной стороне поверхности) [11]. В состоянии покоя анализировались порог,

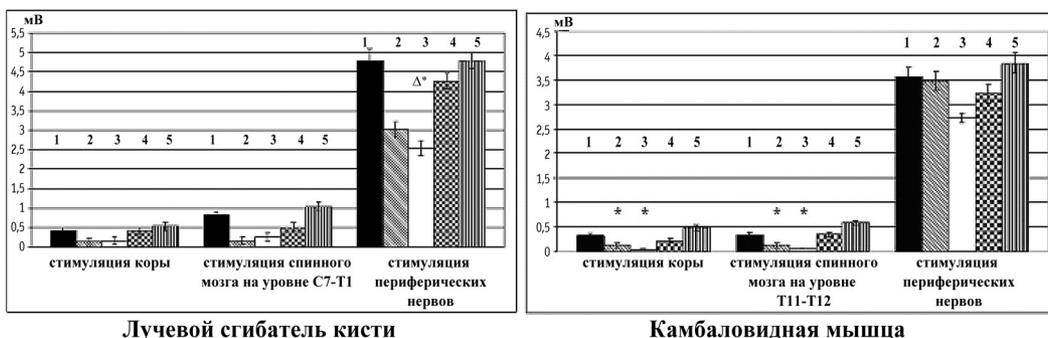


Рисунок 1 – Амплитуда ВМО мышц предплечья и голени у спортсменов при магнитной стимуляции различных отделов нервной системы: 1 – баскетболисты; 2 – пауэрлифтеры; 3 – спринтеры; 4 – бегуны на средние дистанции; 5 – стайеры (* - отличия от группы 5, $p < 0,05$; Δ - отличия от группы 1, $p < 0,05$)

амплитуда (от пика до пика), латентность и длительность ВМО при ЧЭССМ и М-ответов мышц правой верхней и нижней конечностей.

Отведение и регистрация биоэлектрических потенциалов мышц плеча, предплечья, кисти, бедра, голени и стопы при магнитной и электрической стимуляции центральных и периферических нервных структур осуществлялись при помощи 8-канального электронейромиографа "Нейро-МВП-8" (ООО "Нейрософт", Россия,

2006) с использованием поверхностных дисковых электродов диаметром 9 мм. Расстояние между отводящими электродами составляло 20 мм. Активный электрод располагался в проекции двигательной точки мышцы, референтный смещался от нее по ходу волокон к сухожилию.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты первой серии исследований свидетельствуют о различиях в параметрах ВМО

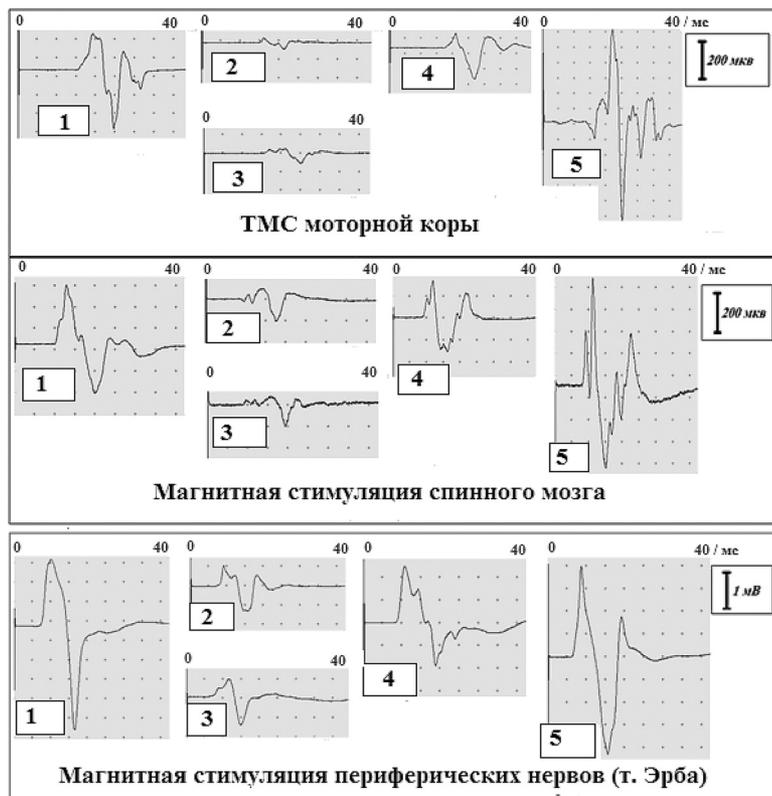


Рисунок 2 – Образцы записи ВМО лучевого сгибателя кисти у спортсменов при магнитной стимуляции (100% мощность индукции) различных участков нервной системы (1 – баскетболисты; 2 – пауэрлифтеры; 3 – спринтеры; 4 – бегуны на средние дистанции; 5 – стайеры)

взятых для примера мышц у спортсменов при магнитной стимуляции различных нервных структур. Обнаружено, что у представителей изучаемых видов спорта при магнитной стимуляции коры больших полушарий, спинного мозга и периферических нервов форма ВМО всех тестируемых мышц обладает выраженной в той или иной степени полифазией. В частности, у легкоатлетов-бегунов, особенно у стайеров, форма ВМО отличается большей полифазностью потенциалов по сравнению с таковой других спортсменов, что более выражено при ТМС и магнитной стимуляции спинного мозга и менее – при стимуляции периферических нервов. Наряду с этим в ряде записей легкоатлетов-бегунов на средние дистанции и в большинстве записей у стайеров наблюдается наличие псевдофаз (чаще 3-4) между негативной и позитивной фазами при стимуляции корковых, сегментарных и периферических нервных структур.

Следует отметить, что форма ВМО является показателем, отражающим вклад разных типов двигательных единиц (ДЕ) исследуемой мышцы в ее сокращение, а также степень синхронизации возникновения их потенциалов действия. Появление как дополнительной фазы, так и псевдофазы может быть обусловлено наличием одной (достаточно большой) группы ДЕ, которые активируются асинхронно по отношению к остальным ДЕ. Такие изменения в форме мышечных потенциалов, вероятно, зависят от характера временной взаимосвязи активности различных ДЕ, который в определенной мере влияет на силу сокращения мышц при систематическом выполнении спортивных движений. Асинхронность активности ДЕ, которая наблюдается в оригинальных записях мышечных ответов у легкоатлетов, в основном у стайеров, может объясняться тем, что для обеспечения длительной, но не очень интенсивной работы отдельные ДЕ сокращаются попеременно (то есть асинхронно), поддерживая общее напряжение мышцы на заданном уровне. При этом отдельные ДЕ могут развивать как одиночные, так и тетанические сокращения, что зависит от частоты нервных импульсов. Утомление в этом случае развивается медлен-

нее, так как, работая по очереди, ДЕ в промежутках между активацией успевают восстанавливаться. В свою очередь, для мощных кратковременных усилий, что характерно, например, для пауэрлифтинга и спринтерского бега, требуется синхронизация активности отдельных ДЕ, то есть одновременное возбуждение практически всех ДЕ. Это приводит к одновременной активации соответствующих нервных центров и достигается в результате длительной тренировки. О достаточно синхронном режиме активации ДЕ у пауэрлифтеров и бегунов на короткие дистанции может свидетельствовать значительно меньшее у этих спортсменов количество (или отсутствие) псевдо- и полифаз ответов тестируемых мышц, чем у представителей других рассматриваемых видов спорта.

Результаты первой серии исследований позволяют заключить, что направленность многолетней спортивной деятельности определяет характер пластических перестроек в функционировании кортиспинальных и периферических нервных структур, осуществляющих двигательный контроль и иннервацию скелетных мышц, о чем свидетельствуют особенности характеристик ВМО при магнитной стимуляции коры головного мозга, спинномозговых сегментов и периферических нервов, отражающиеся в моторных порогах возбуждения, амплитуде, длительности, латентности, ВЦМП нервного импульса и форме ответов, полученных у спортсменов, специализирующихся в пауэрлифтинге, баскетболе, легкоатлетическом беге на различные дистанции. В частности, для легкоатлетов-стайеров, адаптированных к длительной циклической работе на выносливость в режиме большой мощности, при магнитной стимуляции нервной системы на разных уровнях характерны более высокая возбудимость корковых нейронов, шейных и поясничных спинальных мотонейронов, периферических нервов, иннервирующих проксимальные и дистальные мышцы верхней и нижней конечностей, и менее выраженная степень синхронизации возникновения потенциалов действия ДЕ при вызванном мышечном сокращении, чем

для представителей других видов спорта. В свою очередь, пауэрлифтеры, систематически выполняющие кратковременные ациклические физические нагрузки силового характера, и легкоатлеты-спринтеры, адаптированные к непродолжительной циклической работе максимальной мощности, требующей преимущественно развития быстроты, отличаются от спортсменов других специализаций большей проводящей способностью кортико-спинального тракта и аксонов периферических нервов и более синхронизированной активацией моторных единиц при вызванном сокращении мышц. Между группами лиц, адаптированных к скоростно-силовым нагрузкам переменной мощности с преимущественно ациклической структурой движений (баскетболисты) и циклического характера в режиме субмаксимальной мощности (бегуны на средние дистанции), существенных различий в состоянии центральных и периферических проводников нервной системы и уровне возбудимости моторной коры, нейрональных структур спинного мозга и периферических нервов не обнаружено.

В результате второй серии исследований с участием тех же групп спортсменов, но с использованием чрескожной электрической стимуляции шейных и поясничных сегмен-

тов спинного мозга и электростимуляции периферических нервов, иннервирующих мышцы верхней и нижней конечностей, и анализа таких характеристик мышечных ответов, как пороги их возникновения, амплитуда, длительность, латентность, форма обнаружены специфические особенности пластичности спинальных нейрональных сетей и нервно-мышечных структур в зависимости от избранного вида спорта, сходные с теми, которые выявлены при магнитной стимуляции тех же участков нервной системы. Об этом свидетельствуют однонаправленные изменения характеристик моторных ответов у спортсменов в зависимости от их специализации при электрической и магнитной стимуляции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ТМС, магнитный и электрический виды стимуляционного воздействия на спинномозговые и периферические нервные структуры позволяют оценивать изменения функциональных свойств моторных зон коры головного мозга, шейных и поясничных сегментов спинного мозга и периферических нервов, иннервирующих мышцы верхних и нижних конечностей, возникающие под влиянием мышечной работы различной направленности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Никитин, С. С. Магнитная стимуляция в диагностике и лечении болезней нервной системы. Руководство для врачей / С. С. Никитин, А. Л. Куренков. – М.: САШКО, 2003. – 378 с.
2. Ланская, О. В. Электрофизиологические механизмы пластичности спинальных систем при дисфункциях опорно-двигательной системы / О. В. Ланская, Е. Ю. Андриянова // Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. – 2014. – Т. 100, № 4. – С. 487-502.
3. Андриянова, Е. Ю. Механизмы двигательной пластичности спинномозговых нервных цепей на фоне долговременной адаптации к спортивной деятельности / Е. Ю. Андриянова, О. В. Ланская // Физиология человека. – 2014. – Т. 40, № 3. – С. 73-85.
4. Ланская, О. В. Пластичность шейных и пояснично-крестцовых спинальных нейрональных сетей двигательного контроля при занятиях спортом / О. В. Ланская, Е. Ю. Андриянова, Е. В. Ланская // Теория и практика физической культуры. – 2015. – № 6. – С. 14-16.
5. Ланская, Е. В. Физиологические механизмы пластичности центральных и периферических звеньев нейромоторной системы как результат адаптации к повышенной активности скелетных мышц / Е. В. Ланская, О. В. Ланская, Е. Ю. Андриянова // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 3. Биология. – 2015. – Выпуск 4. – С. 79-92.
6. 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.
7. Sabbahi, M. A. Cervical multisegmental motor responses in healthy subjects / M. A. Sabbahi, Y. S. Sengul // Spinal cord. – 2012. – №50. – P. 432-439.
8. Minassian, K. Posterior root-muscle reflexes elicited by transcutaneous stimulation of the human lumbosacral cord / K. Minassian, I. Persy, F. Rattay, M.R. Dimitrijevic, C. Hofer, H. Kern // Muscle Nerve. – 2007. – 35(3). – P. 327-36.
9. Зенков, Л. П. Функциональная диагностика нервных болезней / Л. П. Зенков, М. А. Ронкин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: МЕДпресс-информ, 2004. – 448 с.

BIBLIOGRAPHY

1. Nikitin, S. S. Magnetic stimulation in the diagnosis and treatment of diseases of the nervous system. Manual for doctors / SS. Nikitin, A.L. Kurenkov. – Moscow : SASHKO, 2003. – 378 p.
2. Lanskaya, O. V. Electrophysiological mechanisms of plasticity of spinal systems in dysfunctions of the musculoskeletal system / O. V. Lanskaya, E. Yu. Andrianova // Russian physiological journal named after I.M. Sechenov. – 2014. – Т. 100, №4. – P. 487-502.
3. Andrianova, E. Yu. Mechanisms of motor plasticity of spinal nerve chains on the background of long-term adaptation to sports activity / E. Yu. Andriyanova, O. V. Lanskaya // Physiology of man. – 2014. – Т. 40, № 3. – P. 73-85.
4. Lanskaya, O. V. Plasticity of cervical and lumbosacral spinal neural networks of motor control in sports / O. V. Lanskaya, E. Yu. Andrianova, E. V. Lanskaya // Theory and practice of physical culture. – 2015. – № 6. – P. 14-16.
5. Lanskaya, E. V. Physiological mechanisms of plasticity of the central and peripheral links of the neuromotor system as a result of adaptation to increased activity of skeletal muscles / E. V. Lanskaya, O. V. Lanskaya, E. Yu. Andriyanova // Bulletin of St. Petersburg University. Series 3. Biology. – 2015. – Issue 4. – P. 79-92.
6. Lanskaya, E. V. Mechanisms of neuroplasticity of the cortico-spinal tract during sports activities / E. V. Lanskaya, O. V. Lanskaya, E. Yu. Andrianova // Ulyanovsk Medical and Biological Journal. – 2016. – №1. – P. 127-136.
7. Sabbahi, M. A. Cervical multisegmental motor responses in healthy subjects / M. A. Sabbahi, Y. S. Sengul // Spinal cord. – 2012. – №50. – P. 432-439.
8. Minassian, K. Posterior root-muscle reflexes elicited by transcutaneous stimulation of the human lumbosacral cord / K. Minassian, I. Persy, F. Rattay, M. R. Dimitrijevic, C. Hofer, H. Kern // Muscle Nerve. – 2007. – 35(3). – P. 327-36.
9. Zenkov, L. R. Functional Diagnosis of Nervous Diseases / L. R. Zenkov, M. A. Ronkin. – 3rd ed. – Moscow, 2004. – 448 p.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Ланская Ольга Владимировна – доктор биологических наук, профессор кафедры физиологии и спортивной медицины Великолукской государственной академии физической культуры и спорта, e-mail: lanskaya2012@yandex.ru

Ланская Елена Владимировна – соискатель, помощник ректора Великолукской государственной академии физической культуры и спорта, e-mail: elena.lanskaya2016@yandex.ru