

ДВИГАТЕЛЬНАЯ ПЛАСТИЧНОСТЬ СПИННОГО МОЗГА ПРИ ЗАНЯТИЯХ РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ СПОРТА

О.В. Ланская, Е.Ю. Андриянова, Е.В. Ланская

ФГБОУ ВПО «Великолукская государственная академия физической культуры и спорта», Великие Луки, Россия
Для связи с авторами: lanskaya2012@yandex.ru

Аннотация:

Представленные в статье данные показывают, что вклад деятельности мышц верхних и нижних конечностей в соревновательную результативность у представителей видов спорта с близкой по структуре двигательной деятельностью определяет выраженность нейрофизиологических признаков пластичности шейных и пояснично-крестцовых спинальных нейрональных сетей двигательного контроля. Установлено, что выполнение длительной циклической работы умеренной мощности у спортсменов сопровождается более выраженными признаками двигательной пластичности спинально-мотонейронного представительства мышц верхних и нижних конечностей по сравнению с таковым у представителей видов спорта со смешанной мышечной деятельностью переменной мощности.

Ключевые слова: двигательная пластичность спинного мозга; чрескожная электрическая стимуляция спинного мозга; вызванные моторные ответы, представители различных видов спорта.

MOTOR PLASTICITY OF SPINAL CORD FOR DIFFERENT SPORTS

O.V. Lanskaya, E.Yu. Andriyanova, E.V. Lanskaya

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

Abstract:

The data presented in the article prove that the effect of the activity of upper and lower extremity muscles on competition results in representatives of different sports with similar motor activity structure determines the intensity of neurophysiological signs of plasticity of cervical and lumbar-sacral spinal neuronal networks of motor control. Long cyclic moderate intensity activity results are revealed to have more pronounced signs of motor plasticity of upper and lower limbs spinal motoneuron pools in comparison with mixed muscle activity of variable intensity.

Key words: motor plasticity of spinal cord; transcutaneous electrical stimulation of spinal cord; evoked motor responses; representatives of different kinds of sports.

ВВЕДЕНИЕ

Возможности проявления разнообразных адаптивных реакций и поддержания уровня оптимального функционирования организма в немалой степени определяются состоянием центральной нервной системы (ЦНС), одним из важнейших свойств которой является пластичность – способность нервной ткани изменять структурно-функциональную организацию под влиянием экзогенных и эндогенных факторов. Именно это качество обеспечивает ее адаптацию к новым видам деятельности и различной обстановке. Для лиц, занимающихся спортом, характерен повышенный режим двигательной деятельности, под влиянием которого происходят определенные функциональные и морфологические перестройки как

в головном, так и спинном мозге, лежащие в основе пластических изменений в ЦНС. Для описания изменений в ЦНС, ассоциированных с двигательной активностью, используется термин «зависящая от двигательной активности пластичность». Такие изменения случаются в различных структурах ЦНС; связи между головным мозгом и спинальными нейронами, соединения между чувствительными нейронами и мотонейронами спинного мозга, изменения аксональной скорости проведения и размеров самих мотонейронов наряду с прочими показывают значительную реорганизацию в ответ на движение и активацию [6]. Однако, несмотря на усилия нейрофизиологов и наличие большого количества исследований, многие вопросы, касающиеся реализации про-

цессов пластичности в ЦНС, которые разворачиваются в процессе освоения двигательных навыков, остаются не до конца изученными. Так, объем сведений о нейрональной пластичности структур головного мозга в ряде случаев значительно превышает таковой для невраль-ных элементов спинного мозга, осуществляющих, в частности, контроль функционального состояния скелетных мышц.

Существуют различные классификации физических упражнений, предложенные В.С. Фарфелем, Я.М. Коцем, А.Г. Дембо и др. В частности, с учетом классификации, предложенной В.С. Фарфелем [3], все виды спортивных упражнений разделены на позы и движения. Движения 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, в частности, беговые дисциплины легкой атлетики, лыжные гонки. В свою очередь, к выполнению нестандартных движений, которые зависят от сложившейся ситуации, адаптированы в том числе 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 таковых у легкоатлетов-бегунов и лыжников-гонщиков. С учетом этих и ряда других критериев, среди которых важное значение имеет различная скорость переработки информации в соответствующей ситуации, необходимым является изучение признаков пластичности нейронных популяций, формирующих спинальные моторные центры контроля активности скелетных мышц, под влиянием долговременной адаптации к выполнению стандартных и нестандартных физических упражнений.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследовании использовалась чрескожная электрическая стимуляция спинного мозга (ЧЭССМ), приложенная со стороны остистых отростков последовательно на уровнях позвонков с С2 по С7 и с Т11 по L3, для получения вызванных моторных ответов (ВМО),

соответственно, с билатеральных мышц плеча (двуглавых и трехглавых), предплечья (плече-лучевых и разгибателей II-V пальцев кисти), бедра (двуглавых), голени (медиальных икроножных и камбаловидных) и стопы (коротких сгибателей пальцев). За основу была взята и адаптирована для решения поставленных нами задач техника регистрации заднекорешково-мышечных ответов, вызываемых посредством ЧЭССМ. Данная методика была предложена, описана и использована группой авторов [4], которые показали, что однократное накожное приложение электрической стимуляции (ЭС) в области Т11-Т12 позвонков вызывает моносинаптические рефлекс в мышцах ног. Для записи ВМО с мышц верхних и нижних конечностей использовался восьмиканальный «Мини-электромиограф» (АНО «Возвращение», Санкт-Петербург, 2003). Стимулами служили импульсы, генерируемые стимулятором «Мини-электростимулятор» (АНО «Возвращение», Санкт-Петербург, 2003). Исследование проводилось в положении испытуемых лежа на спине, в состоянии относительного мышечного покоя, в помещении с комнатной температурой 25°-30°. 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 устанавли-

вали на коже последовательно вдоль позвоночника, был круглой формы с диаметром 1 см, а пара прямоугольных анодов имели размер 50 на 100 мм каждый. Во время ЧЭССМ устанавливали длительность стимула 0,5 мс на шейном и 1 мс на пояснично-крестцовом уровнях. Изучали электронейромиографические (ЭНМГ) параметры: пороги ВМО, максимальную амплитуду ВМО, латентность ВМО. При этом выявлялись оптимальные позиции, при стимуляции на уровне которых регистрировались наименьшие величины порогов и наибольшие значения амплитуды ВМО мышц верхних и нижних конечностей, которые, в свою очередь, могут свидетельствовать об активации спинальных сегментов шейной и пояснично-крестцовой областей с более высокой возбудимостью мотонейронов тестируемых мышц по сравнению с другими стимулирующими точками. Статистическую обработку полученных данных проводили с применением пакета стандартных компьютерных программ.

В исследовании приняли участие квалифицированные 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. Возраст всех испытуемых – 18-22 года.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

При изучении в настоящем исследовании природы регистрируемых ответов мышц верхних конечностей посредством ЧЭССМ не было выявлено подавления ВМО в ответ на предъявление кондиционирующего стимула, подающегося за 30 мс до тестирующего, и на вибрационное воздействие на сухожилия сгибателей запястья, что указывает на то, что стимуляция шейных спинальных двигательных ядер приводит к появлению прямых мотонейронных аксонально-мышечных ответов. Такое же заключение делают в своей работе М.А. Sabbahi, Y.S. Sengul [5]. В свою очередь, установлено, что ВМО нижних конечностей демонстрируют характеристики, созвучные с моносинаптической цепью Ia афферентов к мотонейронам, то есть

с той же нейронной цепью, которая характерна для Н-рефлекса, так как, во-первых, амплитуда ответов мышц была значительно подавлена, когда кондиционирующий стимул подавался за 50 мс до тестирующего. Во-вторых, ответы во всех ипсилатеральных мышцах бедра, голени и стопы были подавлены во время вибрации пяточного сухожилия при ЧЭССМ на уровнях позвонков T11-L3. Ответы в контралатеральных мышцах при этом также были уменьшены, хотя депрессия была менее значительная, чем на ипсилатеральной стороне. Так как ВМО демонстрировали такие же самые нейрофизиологические особенности, как Н-рефлекс, мы заключили, что ЧЭССМ на уровнях позвонков T11-L3 вызывает двигательные ответы через активацию в том числе и моносинаптической нейрональной цепи, связывающей афференты с двигательными нейронами.

Первая часть настоящего исследования была направлена на изучение параметров ВМО мышц верхних и нижних конечностей у представителей спортивных игр (баскетболистов, волейболистов), с одной стороны, и циклических видов спорта (бегунов на средние дистанции, лыжников-гонщиков) – с другой. Статистический анализ полученных результатов исследования в подавляющем количестве случаев не обнаружил достоверно значимых отличий между показателями порогов, максимальной амплитуды и латентности ВМО тестируемых мышц при ЭС на уровнях позвонков с С2 по С7 и с Т11 по L3 у представителей спортивных игр, а значит в уровне возбудимости низко- и высокопороговых элементов мотонейронного пула и времени появления вызванных ответов мышц верхних и нижних конечностей. Вместе с тем как у баскетболистов, так и у волейболистов наиболее низкие показатели порогов и наибольшие значения амплитуды ВМО мышц верхних конечностей регистрировались при ЭС на уровнях позвонков с С4 по С7, а для мышц нижних конечностей – при ЭС на уровне Т11 позвонка, что указывает на отсутствие различий между группами спортсменов в сосредоточении оптимальной позиции для активации спинального участка с наибольшей возбудимостью альфамотонейронов (α -МН) мышц рук и ног. По-

лученные данные позволяют заключить, что долговременная адаптация к игровым видам деятельности обнаруживает общие признаки пластичности деятельности нейрональных 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 в преимущественно ациклическую работу переменной мощности, выполняемую при занятиях волейболом и баскетболом.

Далее были изучены параметры ВМО мышц верхних и нижних конечностей у легкоатлето-бегунов и лыжников-гонщиков. Исследования показали, что при ЭС на уровнях С2-С7 у лыжников установлены случаи достоверно более низких показателей порогов и латентности, а также наибольшей амплитуды ВМО мышц верхних конечностей по сравнению с таковыми у бегунов, что свидетельствует о более высокой возбудимости α -МН шейных спинномозговых сегментов и уменьшении времени появления ВМО мышц плеча и предплечья у лыжников по сравнению с бегунами, что 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. При этом у представителей данных групп наименьшие пороги и наибольшая амплитуда ВМО мышц верхних конечностей одинаково регистрировались при ЭС на уровнях позвонков с С4 по С7. Вместе с тем при ЭС на уровнях Т11-Л3 между представителями циклических видов спорта не обнаружено существенных различий в величинах ВМО мышц бедра, голени и стопы, что объясняется сопоставимыми требованиями по выносливости к локомоторным мышцам нижних конечностей при преодолении соревновательной дистанции данны-

ми спортсменами. При этом наиболее низкие показатели порогов и наибольшие значения амплитуды ВМО мышц бедра, голени и стопы у лыжников и бегунов регистрировались при ЭС на уровнях Т11-Т12 позвонков.

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 преимущественно с ациклическостью, ситуативным характером и переменной мощностью работы, включением в деятельность постоянно меняющегося набора мышечных групп (баскетболисты, волейболисты), а также сопоставление показателей спортсменов с таковыми у нетренированных лиц. Для последующего сравнения в качестве групп атлетов было решено ограничиться лыжниками-гонщиками и баскетболистами, поскольку на первом этапе выяснилось, что у представителей видов спорта с близкой по структуре двигательной деятельностью в основном отсутствуют различия в электрофизиологических проявлениях пластичности спинально-мотонейронного представительства мышц верхних и нижних конечностей. При изучении порогов ВМО мышц плеча и предплечья было установлено, что у баскетболистов и лыжников на всех изучаемых уровнях ЭС показатели данного параметра были значительно ниже, чем у нетренированных лиц наряду с отсутствием существенных отличий в значениях порогов ВМО этих мышц между группами спортсменов. Выявлено, что в группах спортсменов регистрировались статистически более высокие показатели максимальной амплитуды ВМО мышц верхних конечностей по сравнению с нетренированными испытуемыми. При этом величины данного параметра у лыжников превышали таковые у спортсменов (таблица 1), в которой в качестве примера приведены показатели максимальной амплитуды ВМО левой двуглавой мышцы плеча у представителей

трех групп). У спортсменов по сравнению с нетренированными установлены более низкие показатели латентности ВМО этих мышц, но у баскетболистов величины данного параметра в основном были достоверно выше, чем у лыжников. Обнаружено, что у игроков и лыжников наименьшие показатели порогов и наибольшие значения амплитуды ВМО мышц верхних конечностей регистрировались при ЭС на уровне позвонков с С4 по С7, а у спортсменов – лишь на уровне С6 и С7 позвонков.

При сравнении порогов ВМО мышц нижних конечностей в трех исследованных группах было установлено, что величины данного параметра у лыжников оказались наиболее низкими, при этом более значимо они отличались от таковых, обнаруженных у спортсменов, и чуть менее значимо – от показателей баскетболистов (таблица 2), в которой в качестве примера приведены пороги ВМО правой медиальной икроножной мышцы у представителей трех групп).

Наряду с этим у баскетболистов и спортсменов имело место отсутствие значимых отличий между показателями максимальной амплитуды ВМО, несмотря на более высокую вольтажность ответов у спортсменов по сравнению с нетренированными. При этом у лыжников регистрировались достоверно бо-

лее высокие показатели максимальной амплитуды ВМО мышц бедра, голени и стопы не только по сравнению с спортсменами, но и с группой баскетболистов. Обнаружено также, что у баскетболистов и лыжников-гонщиков более низкие показатели порогов и наибольшие значения амплитуды ВМО мышц бедра, голени и стопы регистрировались при ЭС на уровнях Т11-Т12, а у лиц, не занимающихся спортом, – на уровне Т12 позвонка. Статистический анализ не выявил существенных различий и между показателями латентности ВМО мышц нижних конечностей у баскетболистов и лиц, не занимающихся спортом, тогда как у лыжников-гонщиков и нетренированных лиц в большинстве случаев обнаружены различия в величинах данного параметра. При этом установлено, что показатели латентности ВМО мышц ног у игроков были значительно больше, чем у лыжников-гонщиков. В целом, полученные данные указывают на значительное повышение возбудимости и проводимости нервных структур шейных и пояснично-крестцовых спинномозговых сегментов на фоне долговременной адаптации к специфическим физическим нагрузкам, которое было выражено в большей степени у лыжников по сравнению с баскетболистами. С физиологической точки зрения разница движений, характерных для тренировочной и соревнователь-

Таблица 1 – Показатели максимальной амплитуды ВМО двуглавой мышцы плеча у испытуемых (мВ)

Двуглавая мышца плеча (левая)	ЧЭССМ на уровнях позвонков					
	С5			С7		
	1 Нетренированные	2 Баскетболисты	3 Лыжники	1 Нетренированные	2 Баскетболисты	3 Лыжники
	0,37±0,06	0,57±0,10	1,05±0,05	0,45±0,08	0,66±0,10	1,01±0,06
	One-way ANOVA: F(2, 38)=14,932, p=0,00002			One-way ANOVA: F(2, 38)=6,8111, p=0,0037730		
	P ₁₋₂ ≤0,047			P ₁₋₂ ≤0,032		
	P ₁₋₃ ≤0,0003			P ₁₋₃ ≤0,003		
	P ₂₋₃ ≤0,0006			P ₂₋₃ ≤0,009		

Таблица 2 – Показатели порогов ВМО медиальной икроножной мышцы у испытуемых (мА)

Медиальная икроножная мышца (правая)	ЧЭССМ на уровнях позвонков					
	Т11			Т12		
	1 Нетренированные	2 Баскетболисты	3 Лыжники	1 Нетренированные	2 Баскетболисты	3 Лыжники
	42,71±2,89	36,24±2,1	27,19±2,87	40,35±2,60	37,54±3,06	29,50±2,33
	Kruskal-Wallis test: H (2, N= 44) =9,508796; p =0,0086			Kruskal-Wallis test: H (2, N= 44) =8,062967; p =0,0177		
	P ₁₋₂ ≤0,045			P ₁₋₂ ≥1,00		
	P ₁₋₃ ≤0,009			P ₁₋₃ ≤0,034		
	P ₂₋₃ ≤0,036			P ₂₋₃ ≤0,009		

ной деятельности лыжников и баскетболистов, обусловлена свойствами скелетных мышц, но что более важно – особенностями управления этими мышцами. Основными же способами управления мышечной активностью являются изменение частоты активации двигательных единиц (ДЕ) и рекрутирование/дерекрутирование ДЕ. Установленный в результате исследований более высокий уровень возбудимости α -МН у лыжников-гонщиков по сравнению с таковым у баскетболистов можно объяснить различным количеством импульсов, посылаемых нервной системой в процессе их двигательной деятельности. В соответствии с разрядными нормативами, указанными в единой всероссийской спортивной классификации по лыжным гонкам (2011-2014 гг.), лыжник-перворазрядник преодолевает соревновательную дистанцию в 15 км за 47:46,5-50:20,2 мин. сек. При каждом отталкивании он развивает усилие 60-70% от максимального произвольного сокращения (МПС) [2]. За 1 минуту лыжник выполняет около 60-70 циклов, каждый из которых состоит из 2 скользящих шагов, длина которых в среднем составляет 6 м. Таким образом, за время преодоления соревновательной дистанции он выполняет верхними и нижними конечностями более 5000 движений (шагов). Также известно, что чистое игровое время в баскетболе составляет 40 минут, за время игры баскетболист пробегает около 4 километров, выполняя при этом около 150 приёмов (ускорения, передачи, броски), большинство из которых осуществляется в прыжке. Величина усреднённого усилия, развиваемого при выполнении прыжка баскетболистом, вполне сопоставима с таковым при отталкивании у лыжника (60-70% от МПС), поскольку решающее значение при выполнении вертикального прыжка баскетболиста играет «способность мышц быстро проявлять необходимый максимум динамической силы», а, к примеру, не быстрота его движений [1]. Таким образом, баскетболист за сопоставимый по времени соревновательный период выполняет значительно меньший объём движений, а значит имеет значительно меньшую частоту импульсации α -МН, тогда как спинному мозгу соревнующегося лыжника-гонщика свойственна более

высокая импульсная активность. Этим может объясняться разница электрофизиологических свойств α -мотонейронных пулов у представителей изучаемых видов спорта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Характер спортивных тренировок приносит специфические признаки в пластические перестройки спинальных структур двигательного контроля. Установлено, что у представителей игровых видов спорта, выполняющих близкую по структуре двигательную деятельность, при условии, что их соревновательный результат определяется сопоставимой активацией мышц как верхних, так и нижних конечностей, не выявлено выраженных различий в функционировании шейных и пояснично-крестцовых спинально-мотонейронных пулов. Различный же вклад деятельности мышц верхних и нижних конечностей в соревновательный результат у спортсменов, специализирующихся в циклических видах, обнаруживает явные отличия в нейрофизиологических признаках пластичности соответствующих спинальных двигательных систем. В свою очередь, для спортсменов, длительно выполняющих циклическую работу умеренной мощности, характерно значительное усиление функциональной активности невральных структур шейного и пояснично-крестцового отделов спинного мозга по сравнению с представителями, адаптированными к нагрузкам переменной мощности со смешанной структурой движений. Используемая в исследовании методика и полученные результаты могут найти широкое применение в физиологии спорта, спортивной медицине, а также реабилитационной практике для определения динамики восстановления функционального состояния поврежденных нервно-мышечных структур у спортсменов. Однако для более глубокого понимания зависящих от двигательной активности изменений в функционировании элементов нервной системы необходимы дополнительные исследования с применением более широкого арсенала методических подходов. Перспективным направлением в этой области может являться изучение кортикоспинальных механизмов функциональной пластичности под влиянием двигательной деятельности различной направленности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Маншин, Б. Г. Влияние кинематических характеристик прыжка на выполнение броскового движения в баскетболе / Б. Г. Маншин // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. – 2008. – № 3 (37). – С. 54-57.
2. Османов, Э. М. Физиологические основы развития двигательных качеств : Учебно-методическое пособие / Э. М. Османов, Н. Г. Романова, Г. И. Дерябина. – Тамбов : Изд-во ТГУ им. Г.Р.Державина, 2006. – 62 с.
3. Фарфель, В. С. Управление движениями в спорте / В. С. Фарфель. – М. : Физическая культура и спорт, 1975. – 205 с.
4. Courtine, G. Modulation of multisegmental monosynaptic responses in a variety of leg muscles during walking and running in humans / G. Courtine, S. J. Harkema, J. D. Christine, Y. P. Gerasimenko, P. Dyhre-Poulsen // The Journal of Physiology. – 2007. – 582(3). – P.1125-1139.
5. Sabbahi, M. A. Cervical multisegmental motor responses in healthy subjects / M. A. Sabbahi, Y. S. Sengul // Spinal cord. – 2012. – 50. – P.432-439.
6. Tahayori, B. Activity-dependent plasticity of spinal circuits in the developing and mature spinal cord / B. Tahayori, D. M. Koceja // Neural Plasticity. – 2012: <http://www.hindawi.com/journals/np/2012/964843/>

BIBLIOGRAPHY

1. Manshin, B. G. Influence of kinematic characteristics of a jump on the throw movement in basketball / B. G. Manshin // Proceedings of University of P.F. Lesgaft. – 2008. – 3(37). – P. 54-57.
2. Osmanov, E. M. Physiological basis for the development of motor skills / E. M. Osmanov, N. G. Romanova, G. I. Deryabina. – Tambov : Publishing House TGU of name G.R. Derzhavin. – 2006. – 62 p.
3. Farfel, V. S. Control of movements in sports / V. S. Farfel. – Moscow : Physical culture and sports. – 1975. – 205 p.
4. Courtine, G. Modulation of multisegmental monosynaptic responses in a variety of leg muscles during walking and running in humans / G. Courtine, S. J. Harkema, J. D. Christine, Y. P. Gerasimenko, P. Dyhre-Poulsen // The Journal of Physiology. – 2007. – 582(3). – P.1125-1139.
5. Sabbahi, M. A. Cervical multisegmental motor responses in healthy subjects / M. A. Sabbahi, Y. S. Sengul // Spinal cord. – 2012. – 50. – P.432-439.
6. Tahayori, B. Activity-dependent plasticity of spinal circuits in the developing and mature spinal cord / B. Tahayori, D. M. Koceja // Neural Plasticity. – 2012: <http://www.hindawi.com/journals/np/2012/964843/>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Ланская Ольга Владимировна – доктор биологических наук, доцент кафедры физиологии и спортивной медицины ФГБОУ ВПО «Великолукская государственная академия физической культуры и спорта».

Андрянова Екатерина Юрьевна – доктор биологических наук, профессор, проректор по учебной работе ФГБОУ ВПО «Великолукская государственная академия физической культуры и спорта».

Ланская Елена Владимировна – соискатель, специалист по учебно-методической работе ФГБОУ ВПО «Великолукская государственная академия физической культуры и спорта».