

Дата публикации: 01.07.2022
DOI: 10.51871/2782-6570_2022_01_02_1
УДК 796.071; 616-003.96

Publication date: 01.07.2022
DOI: 10.51871/2782-6570_2022_01_02_1
UDC 796.071; 616-003.96

ПРОЯВЛЕНИЯ НЕЙРОПЛАСТИЧНОСТИ В НЕЙРОМОТОРНЫХ ПАРАМЕТРАХ СПОРТСМЕНОВ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ СПОРТА В ПОКОЕ, ПРИ СУБМАКСИМАЛЬНОЙ И МАКСИМАЛЬНОЙ НАГРУЗКЕ

Ю.В. Корягина, С.В. Нопин, С.М. Абуталимова, Г.Н. Тер-Акопов

ФГБУ «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства», г. Ессентуки, Россия

Аннотация. Целью работы явилось изучение и сравнение нейромоторных параметров спортсменов по характеристикам нервно-мышечного аппарата в покое, при субмаксимальной и максимальной нагрузке с разной направленностью тренировочного процесса. В исследовании приняли участие 110 спортсменов высокой квалификации (мастера спорта и мастера спорта международного класса). В результате исследований по характеристикам нервно-мышечного аппарата в покое (по данным стимуляционной электромиографии), при субмаксимальной (по данным поверхностной электромиографии при выполнении теста повторных прыжков Bosco) и максимальной (по данным поверхностной электромиографии при выполнении тяжелоатлетических упражнений) нагрузке выявлены проявления нейропластичности, связанные с явлениями компенсации при утомлении, срочных и долгосрочных адаптационных изменениях нервно-мышечного аппарата к специфической физической нагрузке.

Ключевые слова: нейропластичность, нейромоторика, спортсмены, функциональное состояние, субмаксимальная нагрузка, максимальная нагрузка, нейромиография.

MANIFESTATIONS OF NEUROPLASTICITY IN NEUROMOTOR PARAMETERS OF ATHLETES OF VARIOUS SPORTS UNDER SUBMAXIMAL AND MAXIMAL LOADS

Yu.V. Koryagina, S.V. Nopin, S.M. Abutalimova, G.N. Ter-Akopov

FSBI "North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of the Federal Medical and Biological Agency", Essentuki, Russia

Annotation. The purpose of this study was to examine and compare neuromotor parameters in athletes, according to characteristics of the neuromuscular system at rest and under submaximal and maximal loads with different direction of the training process. The study involved 110 elite athletes (Masters of Sports and Masters of Sports of International Class). As a result of studying characteristics of the neuromuscular apparatus at rest (according to the data from stimulation electromyography), under submaximal (according to the data from surface electromyography when performing the Bosco repetitive jump test) and maximal (according to the data of surface electromyography when performing weightlifting exercises) loads, we have identified the manifestations of neuroplasticity, associated with fatigue compensation phenomena, urgent and long-term adaptive changes in the neuromuscular system to specific physical activity.

Keywords: neuroplasticity, neuromotorics, athletes, functional state, submaximal load, maximal load, neuromyography.

Введение. Нейромоторика – это особым образом организованный вид двигательной активности, основанный на нейропсихологии (связь функционирования головного мозга и психических функций) и направленный на развитие функционирования мозговых структур через движение (моторику).

Осуществление произвольных движений (физических упражнений, техники двигательных действий) проходит под контролем сознания, проявление двигательных качеств – при участии волевого усилия. Поэтому нейродинамические характеристики человека – это сплав психологических

и физиологических механизмов управления движениями, двигательными действиями, отражающихся в проявлении разных двигательных качеств. Спортивные действия характеризуются не только степенью осознания, но и структурой по основным переменным движений: динамическому, временному, пространственному [1].

В современной физиологии спорта, рассматривая центральные и периферические механизмы адаптации к специфической спортивной деятельности, ученые все чаще отмечают явления нейропластичности [2], то есть способности нейронных сетей в мозге изменяться через рост и реорганизацию. Эти изменения варьируются от отдельных нейронных путей, создающих новые связи, до систематических корректировок, таких как кортикальное переназначение. По данным различных авторов, адаптация двигательной системы человека к специфической спортивной деятельности проявляется в изменении сенсомоторных реакций [3-4], пластических функциональных перестройках нервно-мышечного аппарата [5-7] и нейронных структур двигательного контроля [8]. В связи с чем актуальным являются исследования нейропластичности в характеристиках нейромоторных процессов человека при спортивной деятельности.

Целью работы явилось исследование проявлений нейропластичности в нейромоторных параметрах спортсменов различных видов спорта.

Методы и организация исследования. В исследовании приняли участие 110 спортсменов высокой квалификации (МС и МСМК), из них 12 боксеров (женщины) и 52 тяжелоатлета (35 мужчин и 17 женщин), легкая атлетика (6 мужчин), триатлон (8 мужчин), смешанные единоборства (8 мужчин), волейбол (7 мужчин), фехтование (7 мужчин), хоккей на траве (10 мужчин).

Характеристики электроактивности мышц спортсменов в покое определялись с помощью метода стимуляционной электромиографии (ЭМГ). Для регистрации моторных ответов с короткого разгибателя пальцев стопы (*Extensor digitorum brevis*),

иннервируемой глубоким малоберцовым нервом (*n. Peroneus*), проводилась стимуляция в точках: «предплюсна», «головка малоберцовой кости», «подколенная ямка» с помощью 4-х канального аппаратно-программного комплекса (АПК) «Нейро-МВП» компании «Нейрософт» (г. Иваново). Электростимуляцию проводили прямоугольными импульсами, время стимула – 0,2 мс, сила тока подбиралась индивидуально в диапазоне 15-30 мА.

Нейромоторные параметры при выполнении спортсменами субмаксимальной нагрузки определяли с помощью теста повторных прыжков Bosco (у боксеров). Тест (максимальные выпрыгивания вверх с отталкиванием 2-х ног в течение 60 с) выполняется на тензодинамометрических платформах с записью электрофизиологических сигналов с помощью беспроводной ЭМГ. В программе регистрируются и анализируются следующие показатели: максимальная сила отталкивания перед прыжком для каждого 15-секундного интервала прыжков, средняя удельная мощность прыжка, средняя высота прыжка, среднее квадратичное отклонение высоты прыжка, максимальная высота прыжка, количество прыжков за период, значения биоэлектрических потенциалов ЭМГ прямой мышцы бедра, двуглавой мышцы бедра, длинной малоберцовой мышцы, икроножной мышцы (на каждой ноге) за периоды 0-15 с, 15-30 с, 30-45 с, 45-60 с. Рассчитываются индекс утомления и максимальная сила отталкивания, максимальная мощность и силовая выносливость.

Также определяли нейромоторные параметры (по данным нейромиографии) спортсменов при выполнении соревновательных тяжелоатлетических упражнений (при максимальной нагрузке).

Исследования проводили на системе Smart BTS motion system. В целях биомеханического анализа движений и тестовых упражнений спортсменов для программного обеспечения BTS SMART-Clinic разработаны специальные протоколы диагностики в виде программ для ЭВМ:

1) «Спортивный нагрузочный тест повторных прыжков Bosco» (Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2021619879, 18.06.2021) [9] (рис. 1);

2) «Биомеханическая и электромиографическая экспресс-оценка тяжелоатлетического рывка» (Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2020660142, 28.08.2020) [10];

3) «Биомеханическая и электромиографическая экспресс-оценка тяжелоатлетического толчка» (Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2020660143, 28.08.2020) [11].

Данные программы позволяют осуществить экспресс-оценку биомеханических и электрофизиологических параметров соревновательных тяжелоатлетических упражнений (рис. 2).

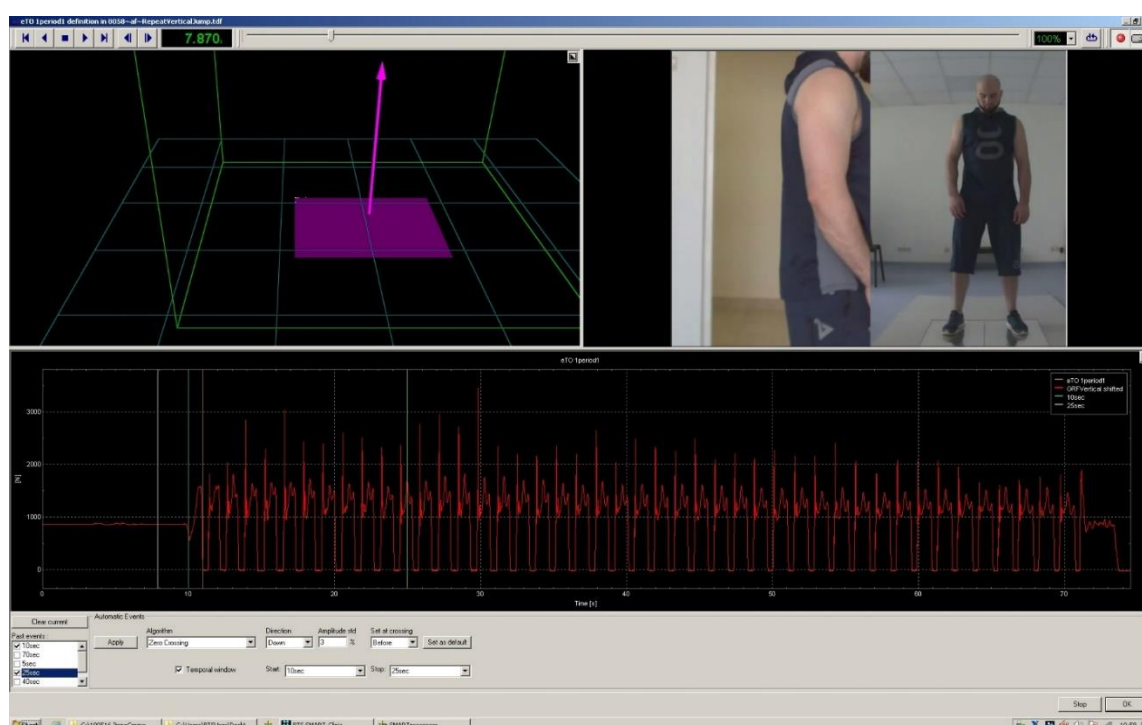


Рис. 1. Окно программы с результатами теста



А

Б

Рис. 2. Начало фазы Подсед 3.2 (А – рывок, Б – толчок)

Программы регистрируют и фиксируют в результирующих протоколах временные,

силовые, скоростные показатели, показатели расстояния, кинематики, мощности,

а также электрофизиологические параметры (средняя и максимальная амплитуда ЭМГ мышцы, доминирующая (пиковая), средняя и медианная частота биоэлектрической активности мышцы) левой и правой трапецевидной мышцы, левой и правой четырёхглавой мышцы бедра, левой и правой двуглавой мышцы бедра, левой и правой икроножной мышцы.

Все участники дали информированное согласие на участие в исследовании в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации (WMA Declaration of Helsinki – Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects, 2013), а также разрешение на обработку персональных данных. Исследование было одобрено комиссией по вопросам биоэтики ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России.

Статистическая обработка данных производилась с помощью программы Statistica 13.0, различия между группами определялись с помощью непараметрического U-критерия Манна-Уитни.

Результаты исследования и их обсуждение. Нейропластичность в характеристиках электроактивности мышц спортсменов в покое. Исследование показателей электроактивности мышц спортсменов различных видов спорта с помощью стимуляционной ЭМГ показало, что значения амплитуды и площади М-ответа у легкоатлетов в точке стимуляции «предплюсна» (амплитуда – $7,28 \pm 2,36$ мВ, площадь – $22,88 \pm 7,29$ мВ×мс) выше ($p \leq 0,03$), чем у спортсменов смешанных единоборств (амплитуда – $4,16 \pm 1,17$ мВ, площадь – $12,85 \pm 5,03$ мВ×мс). В точках стимуляции «головка малоберцовой кости» и «подколенная ямка» амплитуда М-ответа легкоатлетов («головка малоберцовой кости» – $7,77 \pm 2,60$ мВ, «подколенная ямка» – $8,00 \pm 2,30$ мВ) статистически значимо отличается от аналогичного показателя триатлонистов («головка малоберцовой кости» – $5,45 \pm 1,74$ мВ, $p \leq 0,01$, «подколенная ямка» – $5,45 \pm 1,90$ мВ, $p \leq 0,03$) (рис. 3).

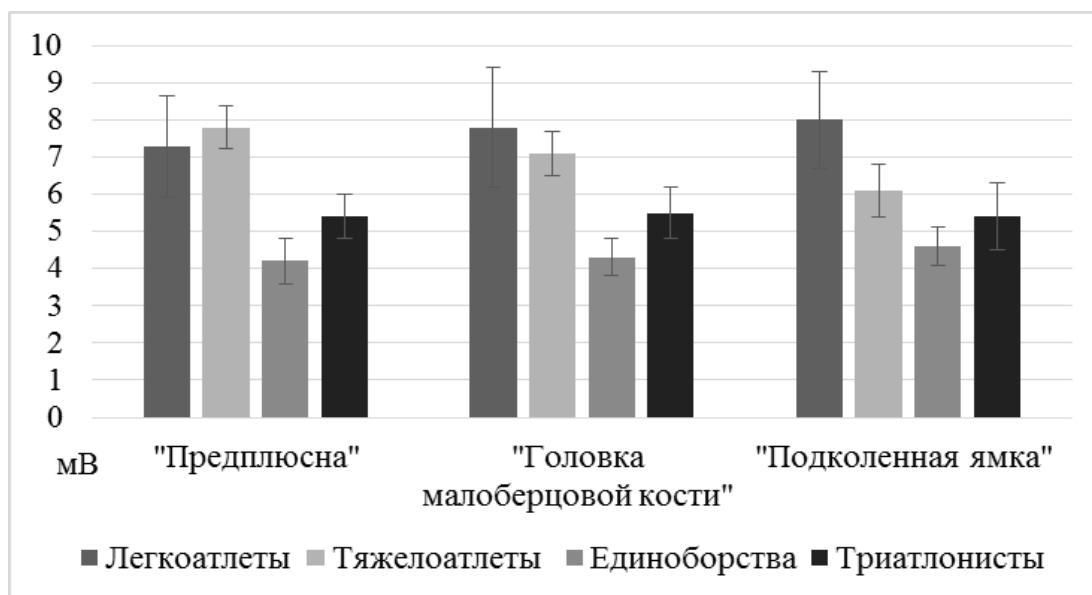


Рис. 3. Амплитуда моторного ответа, регистрируемая с короткого разгибателя пальцев стопы при стимуляции малоберцового нерва (n. Peroneus) у спортсменов мужского пола справа

Скорость распространения возбуждения (СРВ) по нервному волокну в сегменте «предплюсна» – «головка малоберцовой кости» справа у тяжелоатлетов

($54,43 \pm 4,02$ м/с) статистически выше, чем у триатлонистов ($48,43 \pm 5,03$ м/с, $p \leq 0,04$), волейболистов ($48,44 \pm 2,61$ м/с, $p \leq 0,004$) и хоккеистов ($49,33 \pm 3,89$ м/с, $p \leq 0,02$). СРВ

по нервному волокну на участке «предплюсна» – «головка малоберцовой кости» слева у тяжелоатлетов ($53,88 \pm 1,55$ м/с) выше, чем у фехтовальщиков ($48,10 \pm 5,00$ м/с, $p \leq 0,02$), спортсменов смешанных единоборств ($48,98 \pm 2,89$ м/с, $p \leq 0,02$) и игроков в хоккей на траве ($49,73 \pm 3,70$ м/с, $p \leq 0,02$).

Следовательно, специфическая адаптация к спортивной деятельности характеризует пластичность нервно-мышечного аппарата спортсменов: у спортсменов циклических и ациклических видов спорта, тренирующих преимущественно скоростно-силовые качества, отмечены более высокие значения биоэлектрической активности мышечных волокон в сравнении с параметрами спортсменов ситуационных видов спорта.

Проявления нейропластичности в показателях нейромоторики спортсменов при выполнении повторного теста повторных прыжков Bosco (при субмаксимальной нагрузке). Исследование показателей нейромоторики нижних конечностей при выполнении спортивного нагрузочного теста повторных прыжков Bosco у женщин, занимающихся боксом, показало, что наибольшие биомеханические параметры теста повторных прыжков в 1 период теста обусловлены большим напряжением, а следовательно активацией и синхронизацией двигательных единиц в первую очередь прямой мышцы бедра (1-4 период справа соответственно: $1,46 \pm 0,59$ мВ; $1,39 \pm 0,55$ мВ; $1,16 \pm 0,54$ мВ; $1,30 \pm 0,48$ мВ; слева соответственно: $1,10 \pm 0,29$ мВ; $0,65 \pm 0,33$ мВ; $1,24 \pm 0,29$ мВ; $1,25 \pm 0,59$ мВ). В 3 и 4 период теста усиливается напряжение двуглавой мышцы бедра, обеспечивающей стабилизацию тела при приземлении и отталкивании (1-4 период справа соответственно: $0,71 \pm 0,40$ мВ; $0,61 \pm 0,30$ мВ; $0,58 \pm 0,32$ мВ; $0,57 \pm 0,31$ мВ; слева соответственно: $1,15 \pm 0,36$ мВ; $0,62 \pm 0,35$ мВ; $1,17 \pm 0,35$ мВ; $1,31 \pm 0,64$ мВ). Это, а также увеличение электроактивности мышц левой ноги и снижение физических параметров к концу теста (количество и высота прыжков) свидетельствует о

развитии сначала компенсированного, а затем некомпенсированного утомления.

Динамика показателей электроактивности ведущих мышц нижних конечностей, обеспечивающих прыжковые движения в период выполнения теста многократных прыжков, позволяет охарактеризовать локальные физиологические процессы и явления нейропластичности, обуславливающие проявление функциональных возможностей и состояния утомления.

Проявления нейропластичности в нейромоторных параметрах спортсменов при выполнении соревновательных тяжелоатлетических упражнений (при максимальной нагрузке). Рассматривая амплитудные и частотные параметры поверхностной ЭМГ работающих мышц при выполнении тяжелоатлетических упражнений спортсменами высокой квалификации с позиций пластичности нервной системы и нейродинамических свойств [2], выявлено значительное приращение ЭМГ параметров в фазы выполнения тяжелоатлетического рывка. У мужчин-тяжелоатлетов при выполнении рывка было выявлено многократное усиление амплитуды ЭМГ работающих мышц по сравнению с состоянием покоя, в отдельных случаях – до 40 раз. В большей степени как у мужчин, так и у женщин увеличивается электроактивность трапецевидной мышцы. Средняя амплитуда ЭМГ в отдельные фазы у женщин увеличивается в 33 раза (средняя амплитуда ЭМГ левой трапецевидной мышцы в фазу подсед 3.1), у мужчин в 40 раз (средняя амплитуда ЭМГ левой трапецевидной мышцы в фазу подсед 3.1). Электроактивность всех мышц у мужчин увеличивается в большей степени чем у женщин. При выполнении упражнений в основном увеличивается средняя амплитуда ЭМГ, частотные характеристики изменяются не более чем в 2,2 раза (соответственно у женщин – доминирующая (пиковая) частота левой двуглавой мышцы бедра в фазу подрыв 2.1; у мужчин – доминирующая (пиковая) частота правой трапецевидной мышцы в фазу подрыв 2.1).

Заключение. Следовательно, в проведенных исследованиях нейромоторных параметров спортсменов по характеристикам нервно-мышечного аппарата в покое, при субмаксимальной и максимальной нагрузке выявлены проявления пластичности данных

параметров, связанных с явлениями компенсации при утомлении, срочных и долговременных адаптационных изменениях нервно-мышечного аппарата к специфической физической нагрузке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корягина, Ю. В. Восприятие времени и пространства в спортивной деятельности / Ю. В. Корягина. – М.: Теория и практика физической культуры, 2006. – 214 с.
2. Ланская, О. В. Механизмы пластичности кортико-спинальных и нервно-мышечных структур при занятиях различными видами спорта: монография / О. В. Ланская, Е. В. Ланская. – М.: РУСАЙНС, 2019. – 190 с.
3. Ильин, Е. П. Психомоторная организация человека / Е. П. Ильин. – М.: 2003. – 384 с.
4. Особенности пространственно-временных качеств спортсменов, специализирующихся в ситуационных видах спорта / Е.С. Тришин, Л.В. Катрич, Е.М. Бердичевская, О.А. Кобзев // Физическая культура, спорт – наука и практика. – 2017. – № 2. – С. 58-68.
5. Стратегии формирования адаптационных реакций у спортсменов. Основы теории адаптации и закономерности ее формирования в спорте высоких и высших достижений / Исаев А. П., Рыбаков В. В., Эрлих В. В. [и др.] // Человек. Спорт. Медицина. – 2012. – Т. 21(280). – С.46-56.
6. Городничев, Р. М. Физиология силы / Р. М. Городничев, В. Н. Шляхтов. – М.: Спорт, 2016. – 232 с.
7. Нопин, С. В. Тестирование функционального состояния опорно-двигательного аппарата спортсменов циклических и ситуационных видов спорта / С. В. Нопин, Ю. В. Корягина, Г. Н. Тер-Акопов // Теория и практика физической культуры. – 2020. – № 4. – С. 25-27.
8. Ланская, О. В. Двигательная пластичность спинного мозга при занятиях различными видами спорта / О. В. Ланская, Е. Ю. Андриянова, Е. В. Ланская // Наука и спорт: современные тенденции. – 2015. – № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dvigatel'naya-plastichnost-spinnogo-mozga-pri-zanyatiyah-razlichny-mi-vidami-sporta> (дата обращения 23.07.2021).
9. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Биомеханическая и электромиографическая экспресс-оценка тяжелоатлетического прыжка: N 2020660142: заявлено 20.08.2020:

опубл. 28.08.2020 / Нопин С. В., Корягина Ю. В., Тер-Акопов Г. Н.

10. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Биомеханическая и электромиографическая экспресс-оценка тяжелоатлетического толчка: N 2020660143 : заявлено 20.08.2020 : опубл. 28.08.2020 / Нопин С. В., Корягина Ю. В., Тер-Акопов Г. Н.

11. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Спортивный нагрузочный тест повторных прыжков Bosco: N 2021619879: заявлено 11.06.2021 опубл. 18.06.2021 / Нопин С. В., Корягина Ю. В., Тер-Акопов Г. Н.

REFERENCES

1. Koryagina Yu.V. Perception of time and space in sports activity. Moscow: Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury, 2006. 214 p. (in Russ.)
2. Lanskaya O.V., Lanskaya E.V. Mechanisms of the plasticity of corticospinal and neuromuscular structures when engaging in different sports: a monograph. Moscow: RUSAJNS, 2019. 190 p. (in Russ.)
3. Il'in E.P. Psychomotor organization of a human. Moscow, 2003. 384 p. (in Russ.)
4. Trishin E.S., Katrich L.V., Berdichevskaya E.M., Kobzev O.A. Features of spatial and temporal qualities of athletes, specialized in situational sports. *Physical Culture and Sports – Science and Practice*, 2017, no. 2, pp. 58-68. (in Russ.)
5. Isaev A.P., Rybakov V.V., Erlikh V.V., Potapov V.N., Polozkova N.F. Ivanov E.V. Strategies of forming adaptation responses in athletes. Basics of the Adaptation theory and regulations of its formation in high performance sports. *Human. Sport. Medicine*, 2012, vol. 21 (280), pp. 46-56. (in Russ.)
6. Gorodnichev R.M., Shlyakhtov V.N. Strength physiology. Moscow: Sport, 2016. 232 p. (in Russ.)
7. Nopin S.V., Koryagina Yu.V., Ter-Akopov G.N. Testing the functional state of the musculoskeletal system in athletes of cyclic and situational sports. *Theory and Practice of Physical Culture*, 2020, no. 4, pp. 25-27. (in Russ.)

8. Lanskaya O.V., Andriyanova E.Yu., Lanskaya E.V. Motor plasticity of the spinal cord when engaging in different sports. *Science and Sports: Modern Tendencies*, 2015, no. 2. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/dvigatel'naya-plastichnost-spinnogo-mozga-pri-zanyatiyah-razlichnyimi-vidami-sporta> (accessed 23.07.2021) (in Russ.)
9. Nopin S.V., Koryagina Yu.V., Ter-Akopov G.N. Biomechanical and electromyographic express evaluation of the weightlifting snatch. Certificate of the computer program registration RF 2020660142,

2020. (in Russ.)

10. Nopin S.V., Koryagina Yu.V., Ter-Akopov G.N. Biomechanical and electromyographic express evaluation of the weightlifting clean and jerk. Certificate of the computer program registration RF 2020660143, 2020. (in Russ.)

11. Nopin S.V., Koryagina Yu.V., Ter-Akopov G.N. The Bosco repetitive jump test. Certificate of the computer program registration RF 2021619879, 2021. (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Юлия Владиславовна Корягина – доктор биологических наук, профессор, руководитель центра медико-биологических технологий ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, Ессентуки, e-mail: nauka@skfmba.ru.

Сергей Викторович Нопин – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник центра медико-биологических технологий ЦМБТ ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, Ессентуки, e-mail: work800@yandex.ru.

Сабина Маликовна Абуталимова – научный сотрудник центра медико-биологических технологий ЦМБТ ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, Ессентуки.

Гукас Николаевич Тер-Акопов – генеральный директор ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, Ессентуки.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:

Yulia Vladislavovna Koryagina – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Biomedical Technologies Center, FSBI “North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency”, Essentuki, e-mail: nauka@skfmba.ru.

Sergej Victorovich Nopin – Candidate of Technical Sciences, Lead Researcher of the Biomedical Technologies Center, FSBI “North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency”, Essentuki, e-mail: work800@yandex.ru.

Sabina Malikovna Abutalimova – Researcher of the Biomedical Technologies Center, FSBI “North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency”, Essentuki.

Gukas Nikolaevich Ter-Akopov – General Director, FSBI “North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency”, Essentuki.

Для цитирования: Проявления нейропластичности в нейромоторных параметрах спортсменов различных видов спорта в покое, при субмаксимальной и максимальной нагрузке / Ю.В. Корягина, С.В. Нопин, С.М. Абуталимова, Г.Н. Тер-Акопов // Российский журнал спортивной науки: медицина, физиология, тренировка. – 2022. – Т. 1. – № 2. DOI: 10.51871/2782-6570_2022_01_02_1

For citation: Koryagina Yu.V., Nopin S.V., Abutalimova S.M., Ter-Akopov G.N. Manifestations of neuroplasticity in neuromotor parameters of athletes of various sports under submaximal and maximal loads. *Russian Journal of Sports Science: Medicine, Physiology, Training*, 2022, vol. 1, no. 2. DOI: 10.51871/2782-6570_2022_01_02_1