

Дата публикации: 01.12.2021  
DOI: 10.51871/2588-0500\_2021\_05\_04\_7  
УДК 612.741

## **ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ НЕРВНО-МЫШЕЧНОГО АППАРАТА И ГЕМОДИНАМИКА НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ СПОРТСМЕНОВ-ЛЕГКОАТЛЕТОВ**

А.Ш. Абуталимов

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

**Ключевые слова:** функциональное состояние, легкоатлеты, нервно-мышечный аппарат, периферическая гемодинамика, электронейромиография, реовазография.

**Аннотация.** Целью работы явилось исследование функционального состояния нервно-мышечного аппарата и гемодинамики нижних конечностей у высококвалифицированных легкоатлетов. Было установлено, что в процессе спортивной подготовки имеются характерные изменения функционального состояния нервно-мышечного аппарата и гемодинамики нижних конечностей у высококвалифицированных легкоатлетов. Данные полученные в результате электронейромиографического исследования свидетельствуют о большом количестве мышечных волокон, вовлеченных в сокращение при стимуляции малоберцового нерва, и высокой мышечной координации. Кроме того, зарегистрирована высокая скорость проведения электрического импульса по нервному волокну. Также были отмечены компенсаторные изменения в периферической гемодинамике нижних конечностей в ответ на систематическую физическую нагрузку. Полученные данные в дальнейшем будут использоваться для разработки критериев оценки функционального состояния нервно-мышечного аппарата и периферической гемодинамики у высококвалифицированных легкоатлетов, а также для создания восстановительных программ у спортсменов в период интенсивных физических нагрузок.

# FUNCTIONAL STATE OF THE NEUROMUSCULAR APPARATUS AND HEMODYNAMICS OF THE LOWER LIMBS OF TRACK-AND-FIELD ATHLETES

A.Sh. Abutalimov

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

**Key words:** functional state, track-and-field athletes, neuromuscular apparatus, peripheral hemodynamics, electroneuromyography, rheovasography.

**Annotation.** The aim of the work was to study the functional state of the neuromuscular apparatus and hemodynamics of the lower extremities in elite athletes. It was found that in the process of sports training there are specific changes in the functional state of the neuromuscular apparatus and hemodynamics of the lower extremities in elite athletes. The data obtained as a result of electroneuromyographic studies indicate a large number of muscle fibers involved in contraction during stimulation of the fibular nerve, and high muscle coordination. In addition, a high velocity of electric pulse conduction along the nerve fiber was recorded. We also noted compensatory changes in the peripheral hemodynamics of the lower extremities in response to systematic physical loads. The data obtained will be used in the future to develop criteria for assessing the functional state of the neuromuscular apparatus and peripheral hemodynamics in elite athletes, as well as to create recovery programs for athletes when intense physical loads are applied.

**Введение.** Адаптационные перестройки в организме спортсмена, формирующиеся под действием систематических физических нагрузок, направленных на развитие определенных спортивных качеств проявляются в первую очередь в изменении функционального состояния нервно-мышечного аппарата и гемодинамики атлета [1-2]. Известно, что на протяжении длительного тренировочного процесса профессиональное мастерство спортсмена совершенствуется, а функциональные возможности организма значительно увеличиваются [3]. При этом происходят как функциональные, так и структурные изменения в нервно-мышечном аппарате и гемодинамике спортсмена [4-5].

Цель работы: исследовать функциональное состояние нервно-мышечного аппарата и гемодинамику нижних конечностей у высококвалифицированных легкоатлетов.

**Методы и организация исследования.** Исследование проводилось на базе Реабилитационно-восстановительного центра и в Центре медико-биологических технологий ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России в г. Кисловодске. Участниками исследования стали 34 легкоатлета

квалификации КМС-МСМК. Среди них 19 спортсменов женского пола и 15 – мужского. Средний возраст спортсменов  $24,1 \pm 5,8$  лет. Исследование гемодинамики нижних конечностей осуществляли при помощи реографа (Реограф Валента, ООО «Компания Нео», г. Санкт-Петербург). Стимуляционную электронейромиографию (ЭНМГ) проводили с помощью 4-х канального аппаратно-программного комплекса Нейро-МВП («Нейрософт», г. Иваново). Исследовалась регистрация моторных ответов (М-ответов) с короткого разгибателя пальцев стопы, иннервируемого п. Peroneus. Статистическая обработка данных проводилась с помощью непараметрического критерия Манна-Уитни программного обеспечения Statistica 6.0.

**Результаты исследования и их обсуждение.** По данным ЭНМГ исследования малоберцового нерва высококвалифицированных легкоатлетов (табл.) в точке стимуляции «предплюсна» были получены следующие результаты: латентность справа  $4,2 \pm 0,69$  мс, слева –  $4,2 \pm 0,70$  мс; амплитуда М-ответа справа  $6,22 \pm 2,72$  мВ, слева –  $6,98 \pm 2,79$  мВ; длительность М-ответа справа  $6,47 \pm 0,81$  мс, слева –  $6,26 \pm 0,96$  мс; площадь М-ответа справа  $20,67 \pm 9,23$  мВ $\times$ мс, слева –  $21,53 \pm 7,30$  мВ $\times$ мс; резидуальная латентность справа  $2,78 \pm 0,65$  мс, слева –  $2,84 \pm 0,67$  мс.

Исследование показателей М-ответа в точке стимуляции «головка малоберцовой кости» показало: латентность справа  $11,2 \pm 1,5$  мс, слева –  $11,2 \pm 1,6$  мс; амплитуда М-ответа справа  $6,4 \pm 2,7$  мВ, слева –  $6,1 \pm 2,8$  мВ; длительность М-ответа справа  $7,1 \pm 1,0$  мс, слева –  $6,8 \pm 1,1$  мс; площадь М-ответа справа  $22,0 \pm 9,0$  мВ $\times$ мс, слева –  $19,9 \pm 7,9$  мВ $\times$ мс, скорость проведения импульса по нерву справа  $51,0 \pm 5,1$  м/с, слева –  $50,4 \pm 5,1$  м/с.

В точке стимуляции «подколенная ямка» были выявлены следующие показатели М-ответа: латентность справа  $12,7 \pm 1,5$  мс, слева –  $12,7 \pm 1,7$  мс; амплитуда справа  $6,5 \pm 2,6$  мВ, слева –  $6,5 \pm 2,6$  мВ; длительность справа  $6,9 \pm 0,9$  мс, слева –  $6,7 \pm 1,2$  мс; площадь справа  $22,7 \pm 9,5$  мВ $\times$ мс, слева –  $21,4 \pm 7,9$  мВ $\times$ мс; скорость проведения импульса по нерву справа  $55,5 \pm 6,3$  м/с, слева –  $57,5 \pm 8,4$  м/с.

Исследование параметров нервно-мышечной передачи показало высокое значение амплитуды М-ответа при небольшой его длительности в точках стимуляции малоберцового нерва «предплюсна», «головка малоберцовой кости», «подколенная ямка». При этом значения длительности М-ответа в проксимальной точке стимуляции больше 7%, чем в дистальной. В норме, у здоровых людей, не занимающихся спортом, эта разница также не превышает 15%. Значения площади М-ответа у легкоатлетов практически не меняются при стимуляции проксимальных и дистальных точек проекции

малоберцового нерва. Показатель резидуальной латентности не выходил за пределы нормы и с правой, и с левой стороны. Значения скорости проведения электрического импульса по нервному волокну высокие как на участке «предплюсна – головка малоберцовой кости», так и на отрезке «головка малоберцовой кости – подколенная ямка».

Таким образом, анализ показателей амплитуды, длительности и площади М-ответа свидетельствует о большом количестве мышечных волокон вовлеченных в сокращение при стимуляции малоберцового нерва, и высокой мышечной координации. Низкие значения латентности, высокая скорость проведения электрического импульса по нерву позволяют сделать вывод о высокой миелинизации нервного волокна. Кроме того, отмечается короткий промежуток времени, необходимый для проведения импульса по терминалям аксонов, не имеющих миелиновой оболочки.

Таблица

Параметры реовазографического исследования нижних конечностей у высококвалифицированных легкоатлетов

Показатели	Правая нога	Левая нога	Нормативные значения
Стопа			
РИ	1,83±0,9	1,8±0,9	0,9-1,3
Qa	0,32±0,06	0,29±0,03	0,25-0,27
альфа	0,17±0,06	0,17±0,05	0,08-0,12
альфа2	0,12±0,05	0,12±0,04	0,05-0,07
МУ	18,2±7,23	18,0±7,1	11-16%
ВО	32,4±14,7	35,5±11,8	0-20%
ДКИ	0,40±0,25	0,48±0,4	0,4-0,6
ДСИ	0,42±0,25	0,35±0,4	0,30-0,55
КА	36,8±17,1	36,8±17,1	0-20%
Голень			
РИ	2,1±1,5	2,4±1,9	0,90-1,25
Qa	0,26±0,02	0,30±0,1	0,23-0,26
альфа	0,16±0,05	0,17±0,06	0,08-0,12
альфа2	0,11±0,04	0,11±0,05	0,05-0,06
МУ	17,0±5,7	17,3±6,8	11-15%
ВО	30,9±16,6	31,0±11,0	0-20%
ДКИ	0,60±0,32	0,44±0,31	0,4-0,6
ДСИ	0,44±0,31	0,49±0,29	0,45-0,75
КА	40,3±15,4	41,2±15,0	0-20%

Примечание: РИ – реографический индекс; Qa – время распространения реографических волн; альфа – время максимального наполнения сосудов; альфа2 – время медленного наполнения; МУ – модуль упругости; ВО – венозный отток; ДКИ – дикротический индекс; ДСИ – диастолический индекс; КА – коэффициент асимметрии

Анализ показателей электронейромиографического исследования показал более высокую скорость проведения электрического импульса по нервному волокну в точке стимуляции «головка малоберцовой кости» слева у

женщин в сравнении с мужчинами. Кроме того, в точках стимуляции «предплюсна» справа, «головка малоберцовой кости» слева, «подколенная ямка» и справа, и слева отмечаются более низкие значения латентности у женщин. Однако, необходимо отметить, что значения латентности зависят от расстояния между стимулирующим и отводящим электродом, следовательно рост испытуемого играет ключевую роль при расчете этого показателя. Остальные показатели не имели достоверных различий.

Параметры реовазографического исследования нижних конечностей, спортсменов, специализирующихся в легкой атлетике, представлены в таблице. Исследование артериального кровенаполнения сосудов в сегменте «стопа» показало повышение показателей: реографический индекс, время распространения реографических волн, время максимального наполнения сосудов, время медленного наполнения сосудов. Кроме того, показатель венозного оттока также превышает референтный интервал. Однако, показатели микроциркуляции не выходили за пределы нормальных значений.

В сегменте «голень» также отмечаются высокие значения показателей: реографический индекс, время распространения реографических волн, время максимального наполнения сосудов, время медленного наполнения сосудов, венозный отток, модуль упругости, коэффициент асимметрии. При этом показатели микроциркуляции остаются нормальными.

Сравнение реовазографических показателей нижних конечностей у легкоатлетов мужского и женского пола не позволило выявить каких-либо достоверных отличий.

Таким образом, полученные данные согласуются с ранее проведенными исследованиями и свидетельствуют о том, что большие физические нагрузки повышают венозную растяжимость нижних конечностей, не вызывая изменения вязкоупругих свойств стенки глубоких вен, что является ответом на повышение объема циркулирующей крови и как следствие увеличение артериального притока в результате систематических аэробных тренировок [6-8].

**Заключение.** В результате проведенного исследования было установлено, что в процессе спортивной подготовки имеются характерные изменения функционального состояния нервно-мышечного аппарата и гемодинамики нижних конечностей у высококвалифицированных легкоатлетов. Наиболее значимыми среди них являются улучшение нервно-мышечной координации, которая позволяет развивать скоростно-силовые и координационные качества, а также компенсаторные изменения в периферической гемодинамике, развивающиеся в ответ на высокую двигательную активность.

Полученные данные в дальнейшем будут использоваться для разработки критериев оценки функционального состояния нервно-мышечного аппарата и периферической гемодинамики у высококвалифицированных легкоатлетов, а также для создания восстановительных программ у спортсменов в период интенсивных физических нагрузок.

#### Список литературы

1. Ланская О.В. Электромиографическое исследование активности мышц у студентов физкультурного вуза, специализирующихся в различных видах спорта / О.В. Ланская, Е.В. Ланская // Новые исследования. – 2017. – № 1. – С. 50-64.

2. Войнова С.Е. Особенности электрической активации мышц в беге легкоатлетов разной квалификации / С.Е. Войнова, А.А. Шиманский, Е.Н. Медведева // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2021. – № 6. – С. 72-77.

3. Красноперова Т.В. Контроль функционального состояния легкоатлетов различных нозологических групп на начальном этапе спортивной подготовки / Т.В. Красноперова, Н.Б. Котелевская // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2020. – № 11(189). – С. 270-274.

4. Корягина Ю.В. Применение электронейромиографии в спортивной медицине / Ю.В. Корягина, Л.Г. Рогулева // Современные вопросы биомедицины. – 2018. – Т. 2. – № 1(2). – С. 31-43.

5. Николаева Т.М. Особенности периферической гемодинамики и когнитивных способностей человека при динамической физической нагрузке нарастающей мощности / Т.М. Николаева, Е.К. Голубева // Современные проблемы науки и образования. – 2020. – № 6. – С. 147-153.

6. Козлов В.И. Микроциркуляция при мышечной деятельности / В.И. Козлов, И.О. Тупицын // Физкультура и спорт. – М. – 1982. – 135 с.

7. Попова И.Е. Особенности региональной гемодинамики у легкоатлетов-бегунов на средние дистанции / И.Е. Попова, Г.Н. Германов, Е.Г. Цуканова // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2010. – № 2(60). – С. 104-112.

8. Кудря О.Н. Особенности периферической гемодинамики спортсменов при адаптации к нагрузкам различной направленности / О.Н. Кудря, М.А. Кирьянова, Л.В. Капилевич // Бюллетень сибирской медицины. – 2012. – Т. 11. – № 3. – С. 48-53.

## References

1. Lanskaya O.V. Electromyographic study of muscle activity in students of a physical culture university specializing in various sports / O.V. Lanskaya, E.V. Lanskaya // *New Research*. – 2017. – № 1. – P. 50-64.
2. Vojnova S.E. Features of electric activation of muscles in running of track-and-field athletes of different qualifications / S.E. Vojnova, A.A. Shimanskij, E.N. Medvedev // *Scientific Notes of the P.F. Lesgaft University*. – 2021. – № 6. – P. 72-77.
3. Krasnoperova T.V. Control of the functional state of athletes of various nosological groups at the initial stage of sports training / T.V. Krasnoperova, N.B. Kotelevskaya // *Scientific Notes of the P.F. Lesgaft University*. – 2020. – № 11(189). – P. 270-274.
4. Koryagina Yu.V. The use of electroneuromyography in sports medicine / Yu.V. Koryagina, L.G. Roguleva // *Modern Issues of Biomedicine*. – 2018. – Vol. 2. – № 12. – P. 31-43.
5. Nikolaeva T.M. Features of peripheral hemodynamics and cognitive abilities of a person in case of dynamic physical loads with increasing power / T.M. Nikolaeva, E.K. Golubeva // *Modern Issues of Science and Education*. – 2020. – № 6. – P. 147-153.
6. Kozlov V.I. Microcirculation during muscle activity / V.I. Kozlov, I.O. Tupitsyn // *Physical Culture and Sport*. – M. – 1982. – 135 p.
7. Popova I. E. Features of regional hemodynamics in middle-distance runners / I.E. Popova, G.N. Germanov, E.G. Tsukanova // *Scientific Notes of the P.F. Lesgaft University*. – 2010. – № 2(60). – P. 104-112.
8. Kudrya O.N. Features of peripheral hemodynamics of athletes during adaptation to loads of various direction / O.N. Kudrya, M.A. Kiryanova, L.V. Kapilevich // *Bulletin of Siberian Medicine*. – 2012. – Vol. 11. – № 3. – P. 48-53.

**Сведения об авторах:** Али Шамильевич Абуталимов – врач травматолог-ортопед МЦ Юность ФФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, Ессентуки, e-mail: [abutalimov05@mail.ru](mailto:abutalimov05@mail.ru).

**Information about the authors:** Ali Shamil'evich Abutalimov – Trauma Orthopaedist of Medical Centre “Yunost”, branch of the FSBI “North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency”, Essentuki, e-mail: [abutalimov05@mail.ru](mailto:abutalimov05@mail.ru).