

Физиология Physiology

Научная статья
УДК 612.741.1
DOI: 10.14529/hsm22s101

ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ РЕЗЕРВЫ НЕРВНО-МЫШЕЧНОГО АППАРАТА И ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ И БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ТЯЖЕЛОАТЛЕТИЧЕСКИХ УПРАЖНЕНИЙ

С.В. Нопин, work800@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0001-9406-4504>
Ю.В. Корягина, nauka@skfmba.ru, <http://orcid.org/0000-0001-5468-0636>
С.М. Абуталимова, sabina190989@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0003-1722-0774>
Г.Н. Тер-Акопов, sk@fmbamail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-7432-8987>

Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр
Федерального медико-биологического агентства России, Ессентуки, Россия

Аннотация. Цель исследования: выявление характера взаимодействий физиологических и биомеханических параметров, а также определение функциональных резервов срочной адаптации нервно-мышечного аппарата (НМА) при выполнении соревновательного упражнения «тяжелоатлетический рывок» у штангистов высокой квалификации. **Материалы и методы.** В исследовании приняли участие 52 мастера спорта по тяжелой атлетике. Проводилась регистрация биомеханических и электромиографических (ЭМГ) показателей при выполнении спортсменами тяжелоатлетического рывка с интенсивностью 80 % от максимального веса. Для анализа взаимосвязей применялись корреляционный анализ Спирмена и регрессионный анализ. **Результаты.** Согласно данным исследований результативность в рывке в большей степени связана с вертикальной составляющей усилия в тяге и подрыве, скоростью ее увеличения в заключительной части тяги и во время вставания, динамикой сгибания тазобедренного и коленного сустава в фазы тяги и подрыва, а также с динамикой сгибания голеностопного сустава между фазами подседа и вставания. Показатели электроактивности мышц тесно взаимосвязаны с результатом подъема штанги. Выполнение тяжелоатлетического рывка способствует активизации НМА и повышению его функциональных возможностей. При этом у мужчин и женщин наблюдается значительное увеличение функциональной активности НМА, проявляющееся в многократном усилении электронапряжения мышц, в отдельных случаях – до 40 раз. При выполнении упражнений в основном увеличивается средняя амплитуда ЭМГ, частотные характеристики изменяются не более чем в 2,2 раза. **Заключение.** Установлены функциональные системные взаимодействия физиологических и биомеханических параметров, способствующие проявлению максимальных функциональных возможностей и увеличению физиологических резервов спортсменов в процессе выполнения спортивных упражнений.

Ключевые слова: двигательная система, тяжелоатлетический спорт, нервно-мышечный аппарат, биомеханика, электрофизиология, электромиография

Для цитирования: Функциональные резервы нервно-мышечного аппарата и взаимодействия физиологических и биомеханических параметров при выполнении тяжелоатлетических упражнений / С.В. Нопин, Ю.В. Корягина, С.М. Абуталимова, Г.Н. Тер-Акопов // Человек. Спорт. Медицина. 2022. Т. 22, № S1. С. 7–11. DOI: 10.14529/hsm22s101

FUNCTIONAL RESERVES OF THE NEUROMUSCULAR SYSTEM AND RELATIONSHIPS BETWEEN PHYSIOLOGICAL AND BIOMECHANICAL PARAMETERS DURING WEIGHTLIFTING EXERCISE

S.V. Nopin, *work800@yandex.ru*, <http://orcid.org/0000-0001-9406-4504>

Yu.V. Koryagina, *nauka@skfmba.ru*, <http://orcid.org/0000-0001-5468-0636>

S.M. Abutalimova, *sabina190989@yandex.ru*, <http://orcid.org/0000-0003-1722-0774>

G.N. Ter-Akopov, *sk@fmbamail.ru*, <http://orcid.org/0000-0002-7432-8987>

North-Caucasus Federal Research and Clinical Center of the Federal Medical and Biological Agency of Russia, Essentuki, Russia

Abstract. Aim. The paper aims to identify the nature of the relationships between physiological and biomechanical parameters and to define the functional reserves of acute neuromuscular adaptation during the snatch in skilled weightlifters. **Materials and methods.** The study involved 52 skilled weightlifters (Masters of Sport). Biomechanical and electromyographic data were recorded during the snatch with an intensity of 80% of the maximum weight. The Spearman correlation analysis and regression analysis were used to process the data obtained. **Results.** The results obtained show that snatch performance is mostly associated with the vertical component of the pull and adjustment phases; the speed of its increase in the final part of the pull phase and in the supported squat phase; the dynamics of hip and knee joint flexion in the pull and adjustment phases; the dynamics of ankle joint flexion between the unsupported squat and supported squat phases. Electrical activity of muscles is closely associated with weightlifting performance. Snatch performance contributes to the activation of the neuromuscular system and the improvement of functional capacity. Male and female subjects demonstrate a significant increase of the functional activity of the neuromuscular system, which is confirmed by a multiple increase in electrical activity of muscle (up to 40 times). Mean EMG amplitude increases during exercise, while frequency-based characteristics do not change more than 2.2 times. **Conclusion.** Our study allowed to identify the functional relationships between the physiological and biomechanical parameters that contribute to the improvement of functional capacity and physiological reserves during exercise.

Keywords: motor system, weightlifting, neuromuscular system, biomechanics, electrophysiology, electromyography

For citation: Nopin S.V., Koryagina Yu.V., Abutalimova S.M., Ter-Akopov G.N. Functional reserves of the neuromuscular system and relationships between physiological and biomechanical parameters during weightlifting exercise. *Human. Sport. Medicine.* 2022;22(S1):7–11. (In Russ.) DOI: 10.14529/hsm22s101

Введение. Двигательная система спортсмена изменяет свои функциональные элементы и свойства в зависимости от предъявляемых требований за счет имеющихся и развиваемых функциональных резервов [3]. Соразмерное увеличение функций и взаимосвязей между структурными элементами системы позволяет проявлять спортсменам максимум двигательных способностей или качеств, определяемых как непосредственно физическими параметрами или биомеханикой движений [4], так и с помощью регистрации внутренних электрофизиологических процессов [6].

Цель исследования: выявление характера взаимодействий физиологических и биомеханических параметров, а также определение функциональных резервов срочной адаптации

НМА при выполнении соревновательного упражнения «тяжелоатлетический рывок» у штангистов высокой квалификации.

Работа выполнена в соответствии с государственным контрактом ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России с Министерством спорта Российской Федерации № 0173100014420000023 от 15.06.2020 на выполнение прикладной НИР по теме «Разработка методики экспресс-контроля за техникой выполнения тяжелоатлетических упражнений спортсменами высокой квалификации в условиях тренировочной деятельности».

Материалы и методы. Исследования 52 мастеров спорта по тяжелой атлетике (35 мужчин и 17 женщин) проводились в Центре медико-биологических технологий ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России. Работа выполнялась

на системе видеоанализа, тензодинамометрии и электромиографии (ЭМГ) BTS Motion System (BTS Bioengineering, Италия) [1]. Для анализа техники тяжелоатлетического рывка была разработана программа для ЭВМ (свидетельство RU 2020660142, 28.08.2020) [2]. Исследование заключалось в регистрации и последующем анализе биомеханических (динамических, кинематических) и ЭМГ показателей при выполнении спортсменами тяжелоатлетического рывка с интенсивностью 80 % от максимального веса.

Анализировалась фазовая структура тяжелоатлетического рывка и определялись биомеханические показатели в каждую фазу упражнения. ЭМГ анализировали по показателям средней и максимальной амплитуды, пиковой и медианной частоты правой трапецевидной мышцы (ТМ), латеральной широкой мышцы бедра (ЛШМ), правой двуглавой мышцы бедра (ДМБ), правой икроножной мышцы (ИМ).

Статистическая обработка данных проводилась с помощью программы Statistica 13.0. Применялись корреляционный анализ Спирмена и регрессионный анализ. Все показатели были проверены на нормальность распределения по критерию Шапиро – Уилка. Унификация показателя результативности тяжелоатлетов проводилась с помощью коэффициента Синклера [7]. Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГБУ СКФНЦ ФМБА России (протокол № 2 от 20.07.2020).

Результаты. Согласно концепции функциональных резервов адаптация и повышение возможностей физиологических резервов «управления движением» проявляются в улучшении биомеханических параметров двигательных действий [4], что наглядно можно увидеть на примере выполнения тяжелоатлетических упражнений спортсменами высокой квалификации [1, 5]. Корреляционный анализ результативности спортсменов (по Синклеру) с биомеханическими показателями рывка выявил по разным фазам значимые корреляции ($p < 0,05$) результативности с силовыми показателями ($r = 0,60-0,80$), скоростными показателями ($r = 0,51-0,84$); показателями кинематики ($r = 0,53-0,77$), показателями мощности ($r = 0,53-0,80$).

Адаптация и повышение возможностей физиологических резервов «реализации деятельности (мышечная система)» [4] проявляются в увеличении функциональных возмож-

ностей НМА спортсменов. Анализ параметров ЭМГ в состоянии относительного покоя и в каждую фазу тяжелоатлетического рывка, а также расчет коэффициентов увеличения данных параметров показал наибольшее увеличение средних амплитуд ЭМГ для ТМ у женщин-тяжелоатлеток в фазы подседа (в 31–33 раза; покой – 0,021 мВ, подсед – 0,69 мВ). Для ЛШМ в фазы тяга 1.2, подрыв 2.1 и вставания (в покое – 0,049 мВ, конец тяги – 0,278 мВ, начало подрыва – 0,353 мВ, вставание – 0,258 мВ) зафиксировано увеличение средних амплитуд ЭМГ в 5–7 раз. Для ДМБ в фазу подрыв 2.1 – в 11 раз (покой – 0,032 мВ, подрыв 2.1 – 0,351 мВ). Для ИМ в фазы подрыва – в 4–6 раз (покой – 0,043 мВ, подрыв 2.1 – 0,266 мВ, подрыв 2.2 – 0,174 мВ). Аналогичные и несколько большие коэффициенты амплитуд (до 40 раз для ТМ) были выявлены при исследовании тяжелоатлетов мужчин.

Корреляционный анализ выявил статистически значимые взаимосвязи результативности тяжелоатлеток с показателями средней амплитуды ЭМГ левой ТМ в фазу начала подрыва ($r = 0,60$) и правой ДМБ в фазу окончания подрыва ($r = -0,61$). Результативность также была взаимосвязана с частотными показателями ЭМГ.

С помощью регрессионного анализа были найдены линейные взаимосвязи динамических, кинематических и электрофизиологических параметров работающих мышц с результатом подъема штанги. Ниже представлено уравнение регрессии между средней амплитудой ЭМГ правой ТМ в фазе подсед 3.1 и максимальной вертикальной полезной мощностью тяжелоатлета в фазе подсед 3.1. $P_{\max} 3.1 = 4611 - 4259 \cdot M2R.3.1.Mean$, где $P_{\max} 3.1$ – максимальная полезная мощность тяжелоатлета при выполнении упражнения рывок в фазе подсед 3.1, Вт/кг; $M2R.3.1.Mean$ – средняя амплитуда ЭМГ правой ТМ в той же фазе, мВ.

Уравнение регрессии между максимальной амплитудой ЭМГ правой ТМ в рывке и удельной мощностью определяет ведущую роль напряжения ТМ в результативности подъема штанги: $P_{\max} \text{ уд} = 62,49 + 8,58 \cdot M2R.4Max - 10,55 \cdot M2R.Max$, где $P_{\max} \text{ уд}$ – максимальная полезная удельная мощность тяжелоатлета при выполнении упражнения рывок, Вт/кг; $M2R.4Max$ – максимальная амплитуда ЭМГ правой ТМ в рывке в фазу Вставание 4, мВ;

M2R.Max – максимальная амплитуда ЭМГ правой ТМ в рывке, мВ.

Уравнение регрессии между максимальной вертикальной полезной мощностью тяжелоатлетов в фазе вставание и средней частотой ЭМГ правой ТМ в той же фазе свидетельствует, что мощность, проявляемая спортсменками при вставании, зависит от частоты импульсации мотонейронов правой ТМ: $PMAx4 = 1107,58 - 8,093 \cdot M2R.4.FMEAN$, где PMAx4 – максимальная вертикальная полезная мощность тяжелоатлета в фазе вставание 4, Вт; M2R.4.FMEAN – средняя частота ЭМГ правой ТМ в той же фазе, Гц.

Уравнение регрессии между максимальной вертикальной полезной мощностью тяжелоатлетов в фазе подсед 3.1 и средней амплитудой ЭМГ правой ЛШМ бедра в той же фазе определяет проявляемую мощность величины электронапряжения правой ЛШМ бедра:

$PMAx3.1 = 1905,51 - 2979,87 \cdot M4R.3.1.Meap$, где PMAx3.1 – максимальная вертикальная полезная мощность тяжелоатлета в фазе подсед 3.1, Вт; M4R.3.1.Meap – средняя амплитуда ЭМГ правой ЛШМ бедра в фазе подсед 3.1, мВ.

Заключение. В проведенном исследовании найдены функциональные системные взаимодействия физиологических и биомеханических параметров, способствующие проявлению максимальных функциональных возможностей и увеличению физиологических резервов спортсменов. Показатели электроактивности всех исследованных мышц тесно взаимосвязаны с результатом подъема штанги. При выполнении тяжелоатлетического рывка у мужчин и женщин наблюдается значительное увеличение функциональной активности НМА, проявляющееся в многократном усилении электронапряжения работающих мышц, в отдельных случаях – до 40 раз.

Список литературы

1. Биомеханическая и электромиографическая экспресс-оценка тяжелоатлетического рывка: свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2020660142 / С.В. Нопин, Ю.В. Корягина, Г.Н. Тер-Акопов. – 28.08.2020.
2. Нопин, С.В. Физиологический и биомеханический контроль функционального состояния двигательной системы спортсменов / С.В. Нопин, Ю.В. Корягина. – *Эссенцуки: ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России*, 2021. – 176 с.
3. Мозжухин, А.С. Роль системы физиологических резервов спортсмена в его адаптации к физическим нагрузкам / А.С. Мозжухин, Д.Н. Давиденко // *Физиол. проблемы адаптации*. – Тарту: [б.у.], 1984. – С. 84–87.
4. Сивохин, И.П. Методические основы подготовки спортсменов в тяжелой атлетике: моногр. / И.П. Сивохин, А.Г. Ну, Э. Туркилери. – Алматы [б.у.], 2017. – 290 с.
5. Pace of performance enhancement and its effect on sports career (On the example of weightlifting) / V. Mochernyuk, R. Khomenko, E. Antropova, A. Belenkov // *Journal of Physical Education and Sport*. – 2020. – Vol. 20. – Supp. iss. 4. – P. 2417–2422. DOI: 10.7752/jpes.2020.s4330
6. Sport biomechanics applications using inertial, force, and EMG sensors: a literature overview / J. Taborri, J. Keogh, A. Kos et al. // *Applied bionics and biomechanics*. – 2020. – Art. ID 2041549. DOI: 10.1155/2020/2041549
7. The Sinclair Coefficients for the Olympiad for Men's and Women's Olympic Weightlifting. Alberta weightlifting association. – 2020. – https://iwf.sport/wp-content/uploads/downloads/2017/01/Sinclair_Coefficients_2017.pdf.

References

1. Nopin S.V., Koryagina Yu.V., Ter-Akopov G.N. *Biomekhanicheskaya i elektromiograficheskaya ekspress-otsenka tyazheloatleticheskogo rывka* [Biomechanical and Electromyographic Rapid Assessment of Weightlifting Jerk]. Certificate of Registration of a Computer Program no. 2020660142, 28.08.2020.
2. Nopin S.V., Koryagina Yu.V. *Fiziologicheskii i biomekhanicheskii kontrol' funktsional'nogo sostoyaniya dvigatel'noy sistemy sportsmenov* [Physiological and Biomechanical Control of the Functional State of the Motor System of Athletes]. *Essentuki*, 2021. 176 p.
3. Mozhukhin A.S., Davidenko D.N. [The Role of the Athlete's Physiological Reserves System in his Adaptation to Physical Exertion]. *Fiziologicheskiye problemy adaptatsii* [Physiological Problems of Adaptation]. Tartu, 1984, pp. 84–87. (in Russ.)

4. Sivokhin I.P., Ni A.G., Turkileri E. *Metodicheskie osnovy podgotovki sportsmenov v tyazhelyu atletike* [Methodological Foundations of Athletes' Training in Weightlifting]. Almaty, 2017. 290 p.

5. Mochernyuk V., Khomenko R., Antropova E., Belenkov A. Pace of Performance Enhancement and its Effect on Sports Career (On the Example of Weightlifting). *Journal of Physical Education and Sport*, 2020, vol. 20, iss. 4, pp. 2417–2422. DOI: 10.7752/jpes.2020.s4330

6. Taborri J., Keogh J., Kos A. et al. Sport Biomechanics Applications Using Inertial, Force, and EMG Sensors: a Literature Overview. *Applied Bionics and Biomechanics*, 2020, art. 2041549. DOI: 10.1155/2020/2041549

7. The Sinclair Coefficients for the Olympiad for Men's and Women's Olympic Weightlifting. Alberta weightlifting association. 2020. Available at: https://iwf.sport/wp-content/uploads/downloads/2017/01/Sinclair_Coefficients_2017.pdf (accessed 23.09.2021).

Информация об авторах

Нопин Сергей Викторович, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник центра медико-биологических технологий, Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства. Россия, 357600, Ставропольский край, Эссентуки, ул. Советская, д. 24.

Корягина Юлия Владиславовна, доктор биологических наук, профессор, руководитель центра медико-биологических технологий, Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства. Россия, 357600, Ставропольский край, Эссентуки, ул. Советская, д. 24.

Абуталимова Сабина Маликовна, научный сотрудник центра медико-биологических технологий, Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства. Россия, 357600, Ставропольский край, Эссентуки, ул. Советская, д. 24.

Тер-Акопов Гукас Николаевич, кандидат экономических наук, генеральный директор, Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства. Россия, 357600, Ставропольский край, Эссентуки, ул. Советская, д. 24.

Information about the authors

Sergey V. Nopin, Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher, North-Caucasus Federal Research and Clinical Center of the Federal Medical and Biological Agency of Russia, Essentuki, Russia.

Yulia V. Koryagina, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the North-Caucasus Federal Research and Clinical Center of the Federal Medical and Biological Agency of Russia, Essentuki, Russia.

Sabina M. Abutalimova, Researcher, North-Caucasus Federal Research and Clinical Center of the Federal Medical and Biological Agency of Russia, Essentuki, Russia.

Gukas N. Ter-Akopov, Candidate of Economic Sciences, General Director, North-Caucasus Federal Research and Clinical Center of the Federal Medical and Biological Agency of Russia, Essentuki, Russia.

Статья поступила в редакцию 10.12.2021

The article was submitted 10.12.2021