

# БИОМЕХАНИЧЕСКИЙ И ЭЛЕКТРОМИОГРАФИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА СПОРТСМЕНОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ТЯЖЕЛОАТЛЕТИЧЕСКИХ УПРАЖНЕНИЙ

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

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

## Аннотация

**Целью** работы явилась разработка протокола диагностики и тестирования функционального состояния опорно-двигательного аппарата спортсменов-тяжелоатлетов.

**Методы и организация исследования.** В исследовании приняли участие спортсмены-тяжелоатлеты в возрасте от 18 до 25 лет, имеющие квалификацию от КМС до МСМК. Разработка протоколов и тестирование проводились на системе BTS Motion System (BTS Bioengineering, Италия).

**Результаты исследования и их обсуждение.** Для диагностики и тестирования опорно-двигательного аппарата (ОДА) тяжелоатлетов были разработаны протоколы соревновательных тяжелоатлетических упражнений «рывок» и «толчок» для системы BTS motion system. Эти протоколы использовались для определения функционального состояния ОДА тяжелоатлетов по биомеханическим и электромиографическим характеристикам. Проведенное исследование выявило отличия характеристик функционального состояния опорно-двигательного аппарата тяжелоатлетов-мужчин при выполнении толчка по сравнению с таковыми у женщин: меньшие величины отклонения спортивного снаряда от стартовой позиции у женщин и большие показатели скорости движения снаряда у мужчин. Определены мышцы ног, испытывающие наибольшую нагрузку при выполнении тяжелоатлетических упражнений: прямая и двуглавая мышцы бедра, длинная малоберцовая мышца. Выявлена корреляционная взаимосвязь биомеханических характеристик движений в различных фазах тяжелоатлетических упражнений с показателями электрической активности мышц, обеспечивающих эти движения.

**Заключение.** Половые отличия функциональных показателей ОДА при выполнении рывка и толчка заключаются в меньших величинах отклонения штанги от стартовой позиции у женщин и больших показателях скорости движения снаряда у мужчин и обусловлены в первом случае меньшими длинными размерами тела и конечностей женщин, во втором – лучшими скоростными и скоростно-силовыми способностями мужчин. Для проявления скоростно-силовых характеристик последующего движения наиболее благоприятна сниженная начальная электрическая активность мышц, т.е. их расслабление, и наибольшая активность в одноименной фазе движения.

**Ключевые слова:** биомеханика, видеоанализ, тензодинамометрия, электронейромиография, тяжелоатлеты, функциональное состояние, опорно-двигательный аппарат.

## BIOMECHANICAL AND ELECTROMYOGRAPHIC ANALYSIS OF THE MUSCULOSKELETAL ACTIVITY OF ATHLETES DURING WEIGHTLIFTING EXERCISES

Iu.V. Koriagina, work800@yandex.ru; ORCID: 0000-0001-9406-4504

S.V. Nopin, nauka@skfmba.ru, ORCID: 0000-0001-5468-0636

G.N. Ter-Akopov, sk@fmbamail.ru; ORCID: 0000-0002-7432-8987

North-Caucasian Federal Scientific and Clinical Center of the Federal Medical and Biological Agency, Essentuki, Stavropol region, Russia

## Abstract

The purpose of the study was to develop a protocol for diagnostics and testing of the functional status of musculoskeletal system of weightlifters.

Research methods and organization. The study involved elite weightlifters aged 18 to 25 years. Protocol development and testing was executed using the BTS Motion System (BTS Bioengineering, Italy).

Results and discussion. Protocols of 'jerk' and 'push' competitive weightlifting exercises for the BTS motion system were developed for diagnostics and testing of the musculoskeletal system (MSS) of weightlifters. We

used those protocols to determine the functional status of MSS of weightlifters by biomechanical and electromyographic characteristics. The study revealed differences in the functional status characteristics of the musculoskeletal system of male weightlifters performing the push exercise compared to women: women showed lower deviation values of the sports apparatus relative to the starting position, and men demonstrated higher velocity indicators of the sports apparatus. We identified the leg muscles experiencing the greatest load during weightlifting exercises: rectus femoris, biceps femoris, long peroneal muscle. We revealed the correlation between biomechanical characteristics of movements in various phases of weightlifting exercises and indicators of the electrical activity of the muscles providing these movements.

Conclusion. Gender differences in the functional indices of MSS during jerk and push exercises are as follows: women show lower deviation values of the sports apparatus relative to the starting position, and men demonstrate higher velocity indicators of the sports apparatus. Shorter body and limbs of women in the first case, and better speed and strength abilities of men in the second case can explain it. Reduced initial electrical activity of the muscles, i.e. their relaxation, and the greatest activity in the same movement phase are favorable for the manifestation of speed-power characteristics of the subsequent movement.

Keywords: biomechanics, video analysis, tensodynamometry, electroneuromyography, weightlifters, functional status, musculoskeletal system.

## ВВЕДЕНИЕ

В последнее время число и уровень исследований по биомеханике значительно выросли. Это связано, во-первых, с совершенствованием исследовательских возможностей (высокоскоростные видеокамеры, аппаратно-программные комплексы новых поколений, беспроводные датчики и др.), во-вторых, с возросшей заинтересованностью в биомеханических данных представителей многих специальностей: специалистов по роботостроению и манипуляторам, космической биологии и медицине, ортопедов и травматологов, нейрофизиологов, реабилитологов, специалистов в области физической культуры и спорта [4]. Исследования, в которых применяется биомеханическое моделирование, очень разнообразны: это исследование нейронных механизмов регуляции движений [6, 8, 10], выявление деформаций костей, вызванных динамическими напряжениями, в том числе при занятиях спортом [9,11], при создании интерфейсов взаимодействия человек-компьютер [5], совершенствовании техники движений в балете [12], для реабилитации пациентов с параличом нижних конечностей [7].

**Целью работы** явились разработка протокола диагностики и тестирование функционального состояния опорно-двигательного аппарата (ОДА) спортсменов-тяжелоатлетов. Представленное исследование выполнено в соответствии с государственным контрактом №129.014.19.14 ФГБУ СКФНКЦ ФМБА

России на выполнение прикладной научно-исследовательской работы по теме: «Разработка методик диагностики и моделей функционального состояния опорно-двигательного аппарата и динамических (биомеханических, тензодинамометрических, электромиографических) характеристик движения спортсменов в условиях среднегорья» (шифр «Движение-19»).

## МЕТОДЫ

### И ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследовании приняли участие спортсмены-тяжелоатлеты в возрасте от 18 до 25 лет, имеющие квалификацию от КМС до МСМК. Работа проводилась в Центре медико-биологических технологий ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России в г. Кисловодске на горе Малое седло на высоте 1240 м. в условиях учебно-тренировочных сборов спортсменов в ФГУП «Юг спорт».

Разработка протоколов и тестирование проводились на системе BTS Motion System (BTS Bioengineering, Италия), включающей SMART-DX – оптикоэлектронную систему с тремя инфракрасными камерами и двумя видеокамерами, беспроводную систему динамической электромиографической диагностики BTS FREEEMG 1000 – 8 ЭМГ датчиков, две сенсорные напольные тензодинамометрические платформы размером 60x40 см. Обработка данных математическими операторами проводилась с помощью специализированного программного обеспечения BTS SMART – Clinic.



**WEIGHTLIFTING SNATCH (RIVOK)**

**Athlet details**

First name	ALEXEY
Last name	MAMONTOV
Birthdate	14/5/2002
Sex	M
Body Weight (kg)	75.559
Total height (m)	1.71
Session date	27/08/2019
Mass Shtanga (kg)	40



	Start0	Tyaga1	Podriv2	Podsed3	Vstavani4	Finish5	Rogo1-5
TimeLength (s)	0.65	0.35	0.27	1.11	0.9	0.86	4.14
MaxFore (cm)	-1.768	-9.835	-1.031	12.886	18.766	-9.835	
MaxBack (cm)	8.985	-2.878	11.251	18.991	22.019	22.019	
LengthTrack (cm)	61.672	55.56	44.727	58.256	7.99	230.944	
Delta3D (cm)	58.698	54.003	37.547	57.491	2.779	139.652	
DeltaY1D (cm)	58.62	53.997	-33.945	57.159	2.587	138.418	
Velocity							
VY1DMax (m/s)	2.405	2.77	0.19	1.153	0.084	2.77	
VY1DMin (m/s)	1.249	0.19	-1.006	0.084	-1.15	-1.006	
VYUp1DAMax (m/s)	2.405	2.77	1.006	1.153	0.15	2.77	
Power							
FUp1YMax (BT)	2023.228	2179.011	175.318	592.569	31.038	2179.011	
FUp1YMean1 (BT)	839.511	479.021	-116.603	250.877	13.086	192.618	
Ground Forces							
GRFLMean (kg)	59.534	60.077	23.49	56.902	52.818	57.873	54.657
GRFRMean (kg)	65.106	57.116	33.896	66.656	61.596	56.459	60.213
GRFL/GRF (%)	47.764	51.264	40.933	46.053	46.164	50.619	47.581
GRFR/GRF (%)	52.236	48.736	59.067	53.947	53.836	49.381	52.419
DiffGRFL (%)	4.471	2.527	18.133	7.895	7.672	1.237	4.837

**Maximum moving of barbell**

MinHeight (cm)	MaxHeight (cm)	MaxHDelta (cm)
41.884	177.715	135.831

A / A

**WEIGHTLIFTING SNATCH (RIVOK)**

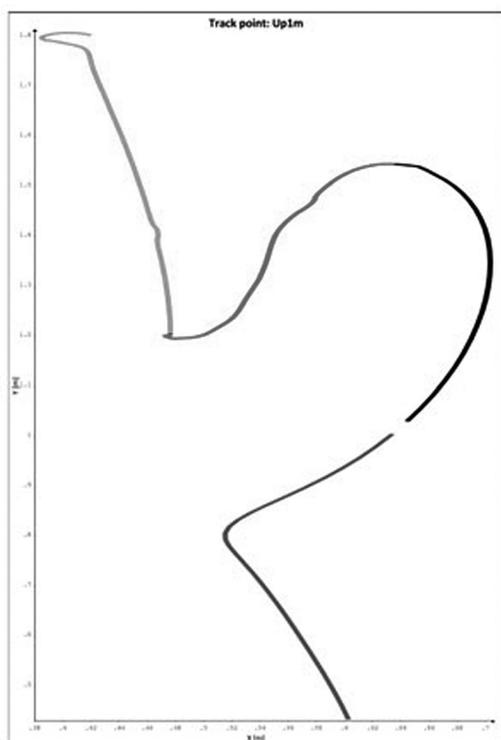
**Athlet details**

First name	ALEXEY
Last name	MAMONTOV
Birthdate	14/5/2002
Sex	M
Body Weight (kg)	75.559
Total height (m)	1.71
Session date	27/08/2019
Mass Shtanga (kg)	40

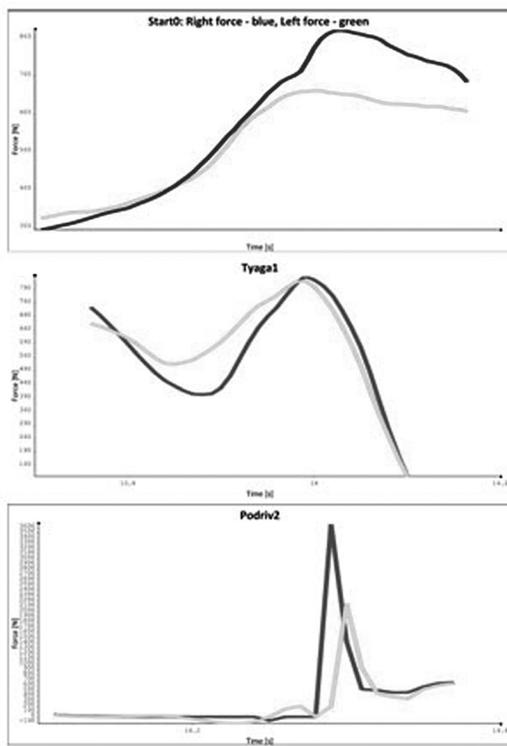


	Start0	Tyaga1	Podriv2	Podsed3	Vstavani4	Finish5	Rogo1-5
<b>Right Foot</b>							
Rectus femoris Mean (mV)	0.189	0.352	0.311	0.426	0.155	0.015	0.24
Rectus femoris SD (mV)	0.242	0.631	0.384	0.405	0.234	0.014	0.381
Rectus femoris Max (mV)	2.099	4.575	2.372	2.958	2.209	0.084	4.575
Biceps femoris caput longus Mean (mV)	0.241	0.277	0.356	0.113	0.118	0.036	0.13
Biceps femoris caput longus SD (mV)	0.261	0.323	0.592	0.135	0.136	0.042	0.238
Biceps femoris caput longus Max (mV)	1.506	2.252	3.845	1.15	1.036	0.307	3.845
Peroneus longus Mean (mV)	0.098	0.664	0.075	0.072	0.168	0.156	0.177
Peroneus longus SD (mV)	0.125	0.674	0.071	0.136	0.168	0.18	0.309
Peroneus longus Max (mV)	0.868	3.247	0.316	2.217	1.421	1.547	3.247
Gastrocnemius medialis Mean (mV)	0	0	0	0	0	0	0
Gastrocnemius medialis SD (mV)	0	0	0	0	0	0	0
Gastrocnemius medialis Max (mV)	0	0	0	0	0	0	0
<b>Left Foot</b>							
Rectus femoris Mean (mV)	0.13	0.239	0.272	0.455	0.146	0.029	0.235
Rectus femoris SD (mV)	0.133	0.27	0.299	0.439	0.182	0.038	0.335
Rectus femoris Max (mV)	1.586	1.371	1.944	2.885	1.77	0.358	2.885
Biceps femoris caput longus Mean (mV)	0.177	0.411	0.369	0.109	0.107	0.055	0.145
Biceps femoris caput longus SD (mV)	0.202	0.437	0.521	0.197	0.116	0.073	0.267
Biceps femoris caput longus Max (mV)	1.601	2.51	2.556	2.31	0.767	0.581	2.556
Peroneus longus Mean (mV)	0.383	0.332	0.29	0.243	0.322	0.07	0.233
Peroneus longus SD (mV)	0.329	0.443	0.373	0.266	0.301	0.103	0.298
Peroneus longus Max (mV)	2.47	2.51	1.898	2.292	2.187	0.771	2.51
Gastrocnemius medialis Mean (mV)	0.052	0.139	0.325	0.071	0.028	0.016	0.093
Gastrocnemius medialis SD (mV)	0.062	0.491	0.657	0.173	0.034	0.019	0.284
Gastrocnemius medialis Max (mV)	0.39	2.795	2.929	1.924	0.309	0.136	2.929

B / B



B / C



G / D

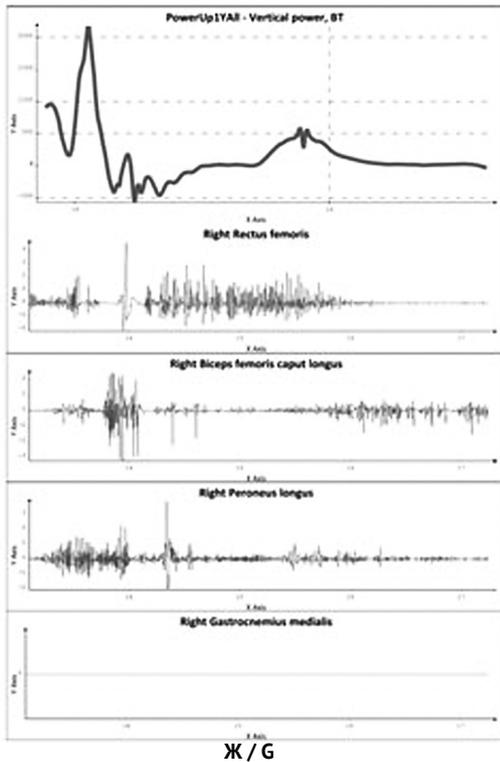
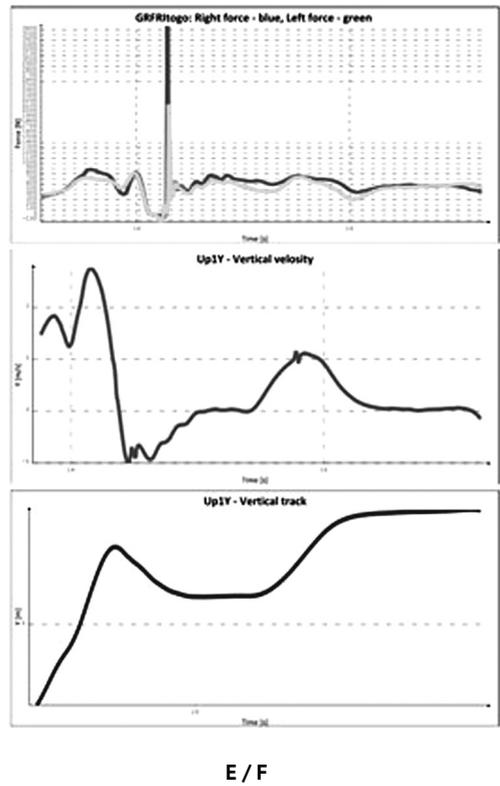
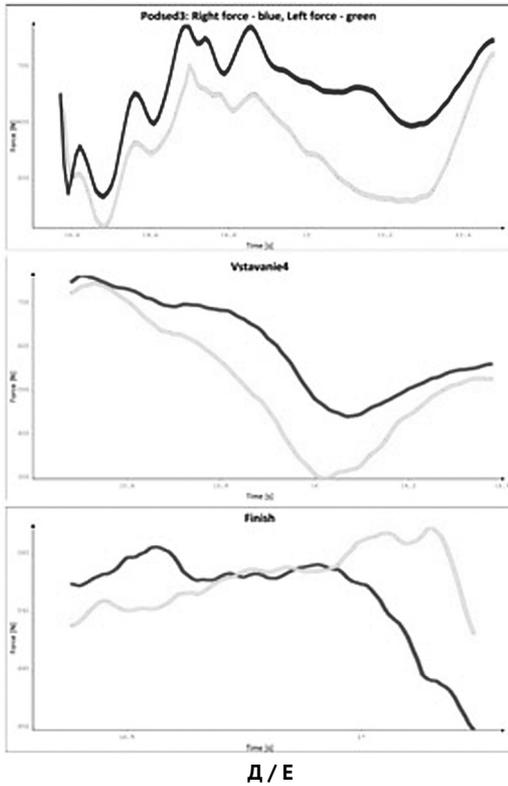


Рисунок 1 – Фрагмент итогового протокола “Рывок”  
Figure 1 – Fragment of the ‘Jerk’ exercise protocol

А – показатели пространственных, скоростных, мощностных и силовых характеристик, Б – показатели электромиографии, В – траектория движения штанги, Г, Д – графики изменения силы в разные фазы движения, Е – общий график изменения силы, вертикальной скорости и вертикальной траектории, Ж – график максимальной вертикальной полезной мощности тяжелоатлета и графики электрической активности мышц, З – движения тяжелоатлета в каждой фазе  
A-Indicators of spatial, speed, power and strength characteristics, B – electroneuromyography  
Indicators, C - bar path trajectory, D, E – graphs of changes in strength during various movement phases, F – general graph of changes in strength, vertical velocity and vertical trajectory, G – graph of maximal vertical power of a weightlifter and graphs of electrical activity of muscles, H – movements of a weightlifter in each phase

Статистическая обработка данных проводилась с помощью ПО Statistica 13.0, сравнение данных – с помощью непараметрического критерия Вилкоксона, для выявления взаимосвязей между показателями применялся коэффициент корреляции Спирмена.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

### Разработка протоколов тестирования спортсменов в соревновательных тяжелоатлетических упражнениях «рывок» и «толчок» на системе BTS motion system

Для программного обеспечения BTS SMART - Clinic разработаны протоколы диагностики функционального состояния опорно-двигательного аппарата, включающие оценку динамических (биомеханических, тензодинамометрических, электромиографических) характеристик соревновательных тяжелоатлетических движений рывок и тол-

чок штанги. При анализе функционального состояния ОДА показатели анализировались по всем фазам упражнений. Разработанные протоколы позволили провести исследование функционального состояния ОДА тяжелоатлетов как по скоростно-силовым, пространственным, так и по электромиографическим данным (рисунки 1, 2). В результате спортсмены и тренеры могут получить информацию о кинематике движения штанги, скоростно-силовых характеристиках и траектории движения, активности и включения мышц, участвующих в выполнении упражнений, особенностях мышечного дисбаланса.

### Биомеханический и электромиографический анализ работы ОДА спортсменов при выполнении тяжелоатлетического рывка

Сравнительный анализ характеристик состояния ОДА тяжелоатлетов мужского и женского

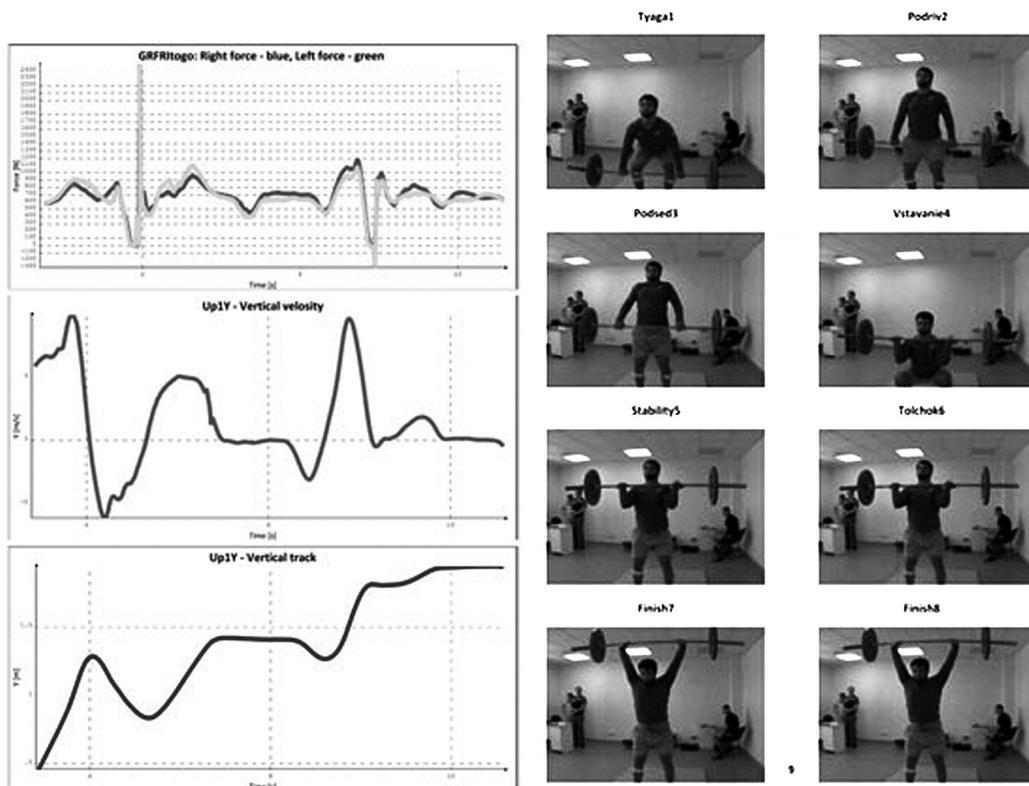


Рисунок 2 – Фрагмент протокола “Толчок” с графиками распределения веса на правую и левую ногу (Н), вертикальной скорости (м/с) и вертикальной траектории движения штанги (м)

Figure 2 – Fragment of the ‘Push’ exercise protocol with graphs of weight distribution on right and left legs (N), vertical velocity (m/s) and vertical bar path trajectory (m)

пола при выполнении тяжелоатлетического рывка выявил достоверные различия характеристик движения: максимальный вылет вперед штанги от атлета в фазе движения «тяги» относительно ее исходного положения на старте был меньше (оптимальнее) у женщин –  $-0,42 \pm 0,18$  см ( $P < 0,05$ ) по сравнению с таковым у мужчин –  $-2,47 \pm 0,55$  см; длина трека движения штанги в 3-й фазе движения «подседа» и в общем результате всех фаз больше у женщин –  $80,83 \pm 4,75$  см ( $P < 0,05$ ) по сравнению с таковой у мужчин –  $58,06 \pm 4,32$  см; величина пространственного 3D перемещения по прямой штанги в общем результате всех фаз меньше у женщин ( $P < 0,05$ )  $145,44 \pm 3,15$  см по сравнению с мужчинами  $162,86 \pm 4,07$  см; средняя доля веса, приходящаяся на левую ногу, во 2-й фазе движения «подрыв» больше у мужчин, а на правую ногу – у женщин ( $P < 0,05$ ). В целом асимметрия распределения веса с большим давлением на правую ногу более выражена у женщин.

По данным специалистов, регистрация (электромиограммы) ЭНМГ рабочих мышц может рассматриваться как наиболее доступный и объективный способ оценки проявляемых мышцами усилий [1-3]. В нашем исследовании данные электрической активности (ЭА) мышц при выполнении рывка показывают следующее. Прямая мышца бедра: среднее значение ЭА правой ноги было наибольшим во 2-й фазе подрыва и в 3-й фазе подседа; максимальное значение ЭА левой ноги было наибольшим в 3-й фазе подседа; максимальное и среднее значение было статистически достоверно выше у мужчин по сравнению с таковыми у женщин в 4-й фазе «вставание» ( $P < 0,05$ ). Двуглавая мышца бедра: наибольшие величины средней и максимальной ЭА правой ноги зарегистрированы в 1-й фазе движения «тяги» и были достоверно больше у мужчин по сравнению с таковыми у женщин в 1-й фазе движения «тяги» и во 2-й фазе движения «подрыв» ( $P < 0,05$ ). Длинная малоберцовая мышца: наибольший показатель ЭА правой ноги в 1-й фазе движения «тяги»; показатели максимального значения ЭА длинной малоберцовой мышцы правой ноги больше у мужчин по сравнению с показате-

лями женщин в 1 и 4-й фазах рывка ( $P < 0,05$ ). Икроножная мышца: отмечен в целом низкий показатель среднего значения ЭА по сравнению с другими мышцами; наиболее высокий показатель максимального значения ЭА зарегистрирован в 1-й фазе движения «тяги» и 3-й фазе движения «подседа»; у мужчин по сравнению с женщинами выше максимальное значение ЭА во 2-й фазе движения «подрыв» ( $P < 0,05$ ).

Проведенный корреляционный анализ среднего значения величины ЭА мышц с физическими характеристиками фаз движений показывает, что наибольшая ЭА прямой мышцы бедра в 1, 2 и 5-й фазах рывка взаимосвязана с физическими характеристиками движений в 1-й и немного в 3-й фазах. Наибольшая ЭА прямой мышцы бедра в 4-й фазе рывка взаимосвязана с весом, приходящимся на левую и правую ногу в фазах рывка.

ЭА двуглавой мышцы бедра правой ноги в отличие от прямой мышцы коррелировала с физическими параметрами движения преимущественно в период 2 и 3-й фазы – подрыва и подседа. ЭА в 3-й фазе в большей степени взаимосвязана с показателями вертикальной скорости в 1 и 2-й фазах. Т.е. чем большие физические усилия проявляет спортсмен в 1 и 3-й фазах, тем больший вес он может поднять и большее напряжение прямой мышцы бедра может развить в тяге, подседе и заключительной фазе.

#### **Биомеханический и электромиографический анализ работы опорно-двигательного аппарата спортсменов при выполнении тяжелоатлетического толчка**

Выявлены следующие отличия характеристик тяжелоатлетов-мужчин при выполнении толчка по сравнению с женщинами: мужчины отличались большей длительностью фаз движений; максимальный вылет вперед штанги от атлета в фазе движения «тяги» относительно ее исходного положения на старте был меньше (оптимальнее) у женщин –  $-1,65 \pm 0,83$  см ( $P < 0,05$ ) по сравнению с мужчинами (  $-4,13 \pm 0,89$  см); значение максимального приближения штанги к атлету в фазе движения относительно ее исходного положения на старте в 6-й фазе выталкивания

(толчок) меньше у женщин –  $17,08 \pm 2,80$  см ( $P < 0,05$ ) по сравнению со значениями мужчин –  $17,75 \pm 1,92$  см; длина трека движения штанги в фазе движения «заключительная фиксация снаряда над головой» меньше у женщин –  $8,68 \pm 1,56$  см ( $P < 0,05$ ) по сравнению с таковой у мужчин –  $10,27 \pm 4,50$  см; величина пространственного 3D перемещения по прямой штанги в 5-й фазе «стабилизация перед выталкиванием штанги с груди» меньше у женщин –  $6,86 \pm 1,84$  см ( $P < 0,05$ ) по сравнению с показателями мужчин –  $8,82 \pm 4,79$  см; величина 1D перемещения штанги по вертикали по прямой в заключительной 7-й фазе «фиксация снаряда над головой» меньше у мужчин ( $P < 0,05$ ); максимальная вертикальная скорость движения штанги в 1-й фазе движения тяга и в 4-й фазе «вставание» больше у мужчин –  $2,23 \pm 0,13$  м/с и  $1,68 \pm 0,06$  м/с ( $P < 0,05$ ) по сравнению с данными женщин –  $1,76 \pm 0,26$  м/с и  $1,24 \pm 0,19$  м/с соответственно; минимальная вертикальная скорость движения штанги в 1-й фазе движения «тяга» больше у мужчин ( $P < 0,05$ ); максимальная абсолютная (по модулю) вертикальная скорость движения штанги в 4-й фазе движения «вставание» (4-я фаза) больше у мужчин –  $1,69 \pm 0,07$  м/с ( $P < 0,05$ ) по сравнению с таковой у женщин –  $1,25 \pm 0,19$  м/с.

ЭНМГ-характеристики нижних конечностей спортсменов-тяжелоатлетов при выполнении упражнения «толчок» показывают следующее. Прямая мышца бедра: среднее значение ЭА правой ноги было наибольшим во 2-й фазе подрыва и в 3-й фазе подседа; максимальное значение ЭА правой ноги было наибольшим в 3-й фазе подседа, 4-й фазе «вставание» и 6-й фазе выталкивания – толчок. Двуглавая мышца бедра: ЭА в целом меньше, чем у прямой мышцы бедра; наибольшие величины средней и максимальной ЭА были зарегистрированы в 3-й фазе движения «подседа» и в 6-й фазе выталкивания – толчок. Длинная малоберцовая мышца: низкие показатели среднего значения ЭА в целом; наиболее высокий показатель максимального значения ЭА зарегистрирован в 6-й фазе.

Выявлены статистически значимые ( $P < 0,05$ ) коэффициенты корреляции среднего значе-

ния ЭА прямой мышцы бедра правой ноги в нулевую фазу толчка с показателями максимальной вертикальной скорости в 1 и 2-й фазах, максимальной абсолютной вертикальной скоростью в 1 и 2-й фазах, максимальной вертикальной полезной мощностью тяжелоатлета в 1 и 2-й фазах движения, средним весом, приходящимся на левую ногу в 5 и 6-й фазах и на правую ногу во всех фазах. Значение ЭА прямой мышцы бедра в 1-й фазе коррелировало с показателем максимальной вертикальной полезной мощности тяжелоатлета во 2-й фазе. Значение ЭА прямой мышцы бедра в седьмой фазе коррелировало с показателями минимальной вертикальной скорости движения штанги в этой же фазе. Значение ЭА прямой мышцы бедра во второй фазе толчка коррелировало с показателями максимальной вертикальной скорости движения штанги во 2-й фазе движения и максимальной абсолютной вертикальной скоростью движения штанги во 2 и 4-й фазах движения, максимальной вертикальной полезной мощностью тяжелоатлета в 1-й фазе толчка. Значение ЭА двуглавой мышцы бедра в третьей фазе толчка коррелировало с показателем максимальной вертикальной полезной мощности тяжелоатлета в 7-й фазе движения. Наибольшая ЭА двуглавой мышцы, обеспечивающей движение в одноименную фазу толчка – вставание, положительно сказывается на физических характеристиках движения, чрезмерная ЭА мышцы в предшествующие фазы – отрицательно.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Биомеханический анализ тяжелоатлетических упражнений показал отличия функциональных показателей ОДА при выполнении тяжелоатлетических упражнений «рывок» и «толчок» у женщин по сравнению с мужчинами, связанные с меньшими величинами отклонения спортивного снаряда от стартовой позиции у женщин, что обусловлено меньшими длинотными размерами тела и конечностей, и большими показателями скорости движения снаряда у мужчин, что вызвано лучшими скоростными и скоростно-силовыми способностями.

Наибольшую электрическую активность при выполнении упражнения «тяжелоатлетический рывок» из исследованных мышц правой ноги испытывают прямая и двуглавая мышцы бедра, несколько меньшей электрической активностью характеризуется длинная малоберцовая мышца. При выполнении тяжелоатлетического упражнения «голчок» отмечается большее электрическое напряжение прямой и двуглавой мышц бедра. Практически отсутствует напряжение в икроножной мышце. Для проявления скоростно-силовых характеристик последующего движения наиболее благоприятна сниженная начальная электрическая активность мышц, т.е. их расслабление, и наибольшая активность в одноименной фазе движения.

На основе результатов работы были определены основные направления использования данной диагностической технологии: разработка оптимальных биомеханических и эргономичных режимов функционирования опорно-двигательного аппарата; профилактика изнашивания ОДА и предотвращение усталостных травм и повреждений при интенсивных физических нагрузках; диагностика функционального состояния ОДА при реабилитации и восстановление двигательного динамического стереотипа после вынужденного пропуска тренировок, в том числе при прохождении программы реабилитации; определение отстающих звеньев функциональной готовности.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Городничев, Р. М. Спортивная элекронейромиография / Р. М. Городничев, В. Н. Шляхтов. – Великие Луки : ВЛГИФК, 2005. – 230 с.
- 2 Городничев, Р. М. Физиология силы: монография / Р. М. Городничев, В. Н. Шляхтов. – М. : Спорт, 2016. – 232 с.
- 3 Беляев, А. Г. Влияние магнитной стимуляции на силовые возможности скелетных мышц : автореф. дис. ... канд. биол. наук / А. Г. Беляев. – Смоленск, 2015. – 23 с.
- 4 Ambrósio J. A. C. Developments in biomechanics of human motion for health and sports / J. A. C. Ambrósio, J.M.C.S. Abrantes // A Portrait of State-of-the-Art Research at the Technical University of Lisbon. – Springer, Dordrecht, 2007. – P. 531-553.
- 5 Bachynskiy M. Is motion capture-based biomechanical simulation valid for HCI studies?: study and implications / M. Bachynskiy, A. Oulasvirta, G. Palmas, T. Weinkauff // Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. – ACM, 2014. – P. 3215-3224.
- 6 Cignetti F. Gravity Cues Embedded in the Kinematics of Human Motion Are Detected in Form-from-Motion Areas of the Visual System and in Motor-Related Areas / F. Cignetti, P.-Y. Chabeauti, J. Menant, J.-L. J. Anton, C. Schmitz, M. Vaugoyeau, C. Assaiante // Frontiers in psychology. – 2017. – Т. 8. – P. 1396.

#### REFERENCES

- 1 Gorodnichev R.M., Shliakhtov V.N. Sportivnaia elekroniomiografiia [Sports electroneuromyography]. Velikie Luki:VLGIFK, 2005. – 230 p.
- 2 Gorodnichev R.M., Shliakhtov V.N. Fiziologiya sily: monografiia [Physiology of strength: monograph] / R. M. Gorodnichev, V. N. Shlyakhtov. – Moscow: Sport, 2016. – 232 p.
- 3 Belyaev A. G. Vliianie magnitnoi stimulatsii na silovye vozmozhnosti skeletnykh myshts: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk [Influence of magnetic stimulation on the power capabilities of skeletal muscles: abstr. dis. ...

- 7 Chauhan R. B. FES-Aid Walking for Paraplegic Patient by Using Musculoskeletal Modeling Software and Matlab / R. B. Chauhan, J. B. Vyas // International Journal of Engineering Trends and Technology. – 2013. – Т. 4. – №. 4. – P. 618-620.
- 8 Edwards D. H. Neuromechanical simulation / D. H. Edwards //Frontiers in behavioral neuroscience. – 2010. – Т. 4. – P. 40.
- 9 Garcia J. M. Bone remodelling simulation: a tool for implant design / J. M. Garcia, M. Doblaré, J. Cegonino // Computational materials science. – 2002. – Т. 25, №. 1-2. – P. 100-114.
- 10 McKay J. L. Optimization of muscle activity for task-level goals predicts complex changes in limb forces across biomechanical contexts / J. L. McKay, L. H. Ting //PLoS computational biology. – 2012. – Т. 8, №. 4. – P. e1002465.
- 11 Nazer Al R. Analysis of dynamic strains in tibia during human locomotion based on flexible multibody approach integrated with magnetic resonance imaging technique / R. Al Nazer, A. Klodowski, T. Rantalainen, A. Heinonen, H. Sievänen, A. Mikkola // Multibody System Dynamics. – 2008. – Т. 20, №. 4. – P. 287-306.
- 12 Vastola R. Motion Analysis Technologies for Biomechanical Gait and Postural Analysis in Ballet / R. Vastola, S. Coppola, M. Sibilio // Journal of Sports Science. – 2016. – Т. 4. – P. 241-246.

Cand. Biol. Sciences]. Smolensk, 2015. – 23 p.

- 4 Ambrósio J. A. C., Abrantes J.M.C.S. Developments in biomechanics of human motion for health and sports. A Portrait of State-of-the-Art Research at the Technical University of Lisbon. Springer, Dordrecht, 2007. pp. 531-553.
- 5 Bachynskiy M., Oulasvirta A., Palmas G., Weinkauff T. Is motion capture-based biomechanical simulation valid for HCI studies?: study and implications. Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM, 2014. pp. 3215-3224.
- 6 Cignetti F., Chabeauti P.-Y., Menant J., Anton J.-L. J. J.,

- Schmitz C., Vaugoyeau M., Assaiante C. Gravity Cues Embedded in the Kinematics of Human Motion Are Detected in Form-from-Motion Areas of the Visual System and in Motor-Related Areas. *Frontiers in psychology*. 2017. V. 8. pp. 1396.
- 7 Chauhan R. B., Vyas J. B. FES-Aid Walking for Paraplegic Patient by Using Musculoskeletal Modeling Software and Matlab / R. B. Chauhan. *International Journal of Engineering Trends and Technology*. 2013. V. 4. No. 4. pp. 618-620.
- 8 Edwards, D. H. Neuromechanical simulation. *Frontiers in behavioral neuroscience*. 2010. V. 4. pp. 40.
- 9 Garcia J. M., Doblaré M., Cegonino J. Bone remodelling simulation: a tool for implant design. *Computational materials science*. 2002. V. 25. No. 1-2. pp. 100-114.
- 10 McKay J. L. Optimization of muscle activity for task-level goals predicts complex changes in limb forces across biomechanical contexts / J. L. McKay, L. H. Ting // *PLoS computational biology*. – 2012. – Vol. 8. – №. 4. – P. e1002465.
- 11 Nazer Al R., Klodowski A., Rantalainen T., Heinonen A., Sievänen H., Mikkola A. Analysis of dynamic strains in tibia during human locomotion based on flexible multibody approach integrated with magnetic resonance imaging technique. *Multibody System Dynamics*. 2008. V. 20. No. 4. pp. 287-306.
- 12 Vastola R., Coppola S., Sibilio M. Motion Analysis Technologies for Biomechanical Gait and Postural Analysis in Ballet. *Journal of Sports Science*. 2016. V. 4. pp. 241-246.

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:**

Корягина Юлия Владиславовна (Koryagina Yuliya Vladislavovna) – доктор биологических наук, профессор; руководитель центра медико-биологических технологий; Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства, 457601, Ставропольский край, г. Ессентуки, ул. Советская, 24; e-mail: nauka@skfmba.ru, ORCID: 0000-0001-5468-0636.

Нопин Сергей Викторович (Nopin Sergey Viktorovich) – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник центра медико-биологических технологий Федерального государственного бюджетного учреждения «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства», 457601, Ставропольский край, г. Ессентуки, ул. Советская, 24; e-mail: work800@yandex.ru; ORCID ID 0000-0001-9406-4504;

Тер-Акопов Гукас Николаевич (Ter-Akopov Gukas Nikolaevich) – кандидат экономических наук, генеральный директор; Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства, 457601, Ставропольский край, г. Ессентуки, ул. Советская, 24; e-mail: sk@fmbamail.ru; ORCID: 0000-0002-7432-8987.

**ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ**

Корягина, Ю.В. Биомеханический и электромиографический анализ работы опорно-двигательного аппарата спортсменов при выполнении тяжелоатлетических упражнений / Ю.В. Корягина, С.В. Нопин, Г.Н. Тер-Акопов // *Наука и спорт: современные тенденции*. – 2020. – Т. 8, № 2. – С. 58-66. DOI: 10.36028/2308-8826-2020-8-2-58-66

**FOR CITATION**

Koriagina Iu.V., Nopin S.V., Ter-Akopov G.N. Biomechanical and electromyographic analysis of the musculoskeletal activity of athletes during weightlifting exercises. *Science and sport: current trends*, 2020, vol. 8, no. 2, pp. 58-66 (in Russ.) DOI: 10.36028/2308-8826-2020-8-2-58-66