

УДК 612.763:531/534:796.08

РАЗРАБОТКА МЕТОДИК ДИАГНОСТИКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ТЯЖЕЛОАТЛЕТОВ НА ОСНОВЕ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ, ДИНАМОМЕТРИЧЕСКИХ, НЕЙРОМИОГРАФИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИЖЕНИЯ

Нопин С.В., Корягина Ю.В., Тер-Акопов Г.Н., Абуталимова С.М.
ФГБУ «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр
Федерального медико-биологического агентства», г. Ессентуки, Россия

Ключевые слова: биомеханика движений спортсменов, тяжелоатлеты, функциональное состояние, опорно-двигательный аппарат, кинематика, динамика, тензодинамометрия, нейромиография.

Аннотация. Целью исследования явилась разработатка методики диагностики функционального состояния опорно-двигательного аппарата тяжелоатлетов на основе биомеханических, динамометрических и нейромиографических характеристик движения. С помощью разработанной методики и протоколов диагностики проведен анализ характеристик движений и функционального состояния опорно-двигательного аппарата тяжелоатлетов высокой квалификации мужского и женского пола. Результаты анализа выявили гендерные отличия показателей при выполнении тяжелоатлетического рывка и толчкового швунга, связанные с меньшими величинами отклонения спортивного снаряда от стартовой позиции у женщин, что связано с меньшими длинотными размерами тела и конечностей и большими показателями скорости движения снаряда у мужчин, что вызвано их 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 толчковый швунг 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, то есть их расслабление и наибольшая активность в одноименную фазу движения.

DEVELOPMENT METHODS FOR DIAGNOSING THE FUNCTIONAL STATE OF THE MUSCULOSKELETAL SYSTEM OF WEIGHTLIFTERS BASED ON BIOMECHANICAL, DYNAMOMETRIC AND NEUROMYOGRAPHIC CHARACTERISTICS OF MOVEMENT

Nopin S.V., Koryagina Yu.V., Ter-Akopov G.N., Abutalimova S.M.
FSBI «North Caucasus Federal Scientific and Clinical Center of the Federal
Medical and Biological Agency», Essentuki, Russia

Keywords: biomechanics of movements of athletes, weightlifters, functional state, musculoskeletal system, kinematics, dynamics, tensodynamometry, neuromyography.

Annotation. The aim of the study was to develop methods for diagnosing the functional state of the musculoskeletal system of weightlifters based on biomechanical, dynamometric and neuromyographic characteristics of movement. Using the developed methodology and diagnostic protocols, an analysis of the characteristics of the movements and the functional state of the musculoskeletal system of highly skilled male and female weightlifters was carried out. The results of the analysis revealed gender differences in performance when doing a weightlifting jerk and jerk shwung, associated with smaller values of deviation of the sports apparatus from the starting position in women, which is associated with smaller long body and limb sizes and large indicators of the velocity of the projectile in men, which is caused by their best speed and speed-power abilities. The rectum and biceps femoris experience the greatest electrical activity during the exercise of a weightlifting jerk from the studied muscles of the right leg, while the long peroneal muscle is characterized by slightly lower electrical activity. When performing a weightlifting exercise, the push is marked by a greater electrical tension by the rectus and biceps femoris. Virtually no tension in the calf muscle. For the manifestation of speed-power characteristics of the subsequent movement, the most favorable is the reduced initial electrical activity of the muscles, that is, their relaxation and the greatest activity in the same phase of movement.

Введение.

Биомеханический анализ движений человека, для решения задач оценки функционального состояния опорно-двигательного аппарата (ОДА), включает кинематические и кинетические исследования [8-10, 12-14]. Кинематика - это измерение движения, в процессе таких исследований показателями являются кинематические величины, используемые для описания движения (например, траектории, скорости и ускорения), в то время как кинетика - это изучение зависимости движения от вызвавших его причин. Кинетические измерения в значительной степени зависят от силы, действующей между опорой и опорной поверхностью. Кроме кинематических и кинетических данных, для полноты

картины, биомеханические исследования включают миографические данные [13].

Техника выполнения тяжелоатлетических упражнений характеризуется эффективностью и эргономичностью и определяется внешней структурой и возможностями опорно-двигательного аппарата (ОДА) [4,5]. Используемые методики контроля техники тяжелоатлетических упражнений, как правило, заключаются в видеоанализе, пофазовом анализе движений звеньев тела с получением данных кинематики и динамики [6,7]. Использование метода тензодинамометрии позволяет получить дополнительные мощностные характеристики выполняемых упражнений. Совместно эти методы при корректной обработке и интерпретации позволяют определить эффективность техники тяжелоатлетических упражнений.

Современные технологии биомеханики реализованы в системах, включающих одновременно видеоанализ, тензодинамометрический и стабилметрический анализ, нейромиографию (НМГ). Данные технологии позволяют проанализировать не только точность выполнения двигательных действий, но также активность и функциональное состояние нервно-мышечного и ОДА человека в период выполнения двигательных действий. Однако, подобные исследования практически не проводились для оценки эффективности и эргономичности техники выполнения тяжелоатлетических упражнений.

Проведение исследований с изучением данных, одновременно получаемых с использованием видеоанализа, тензодинамометрии, стабилметрии и нейромиографии позволит определять точность выполнения двигательных действий в соответствии с модельными характеристиками, определять наиболее эффективную и эргономичную технику выполнения упражнений у спортсменов разных весовых категорий, пола и морфологического типа. Быстрое получение информации позволяет отнести данный метод к методам экспресс-контроля за техникой выполнения тяжелоатлетических упражнений спортсменами высокой квалификации в процессе совершенствования их технической подготовки.

В связи с чем актуальным является диагностика и оптимизация функционального состояния ОДА и характеристик движения спортсменов тяжелоатлетов.

Цель исследования: разработать методику диагностики функционального состояния опорно-двигательного аппарата тяжелоатлетов на основе биомеханических, динамометрических и нейромиографических характеристик движения.

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, электронейромиографических) характеристик движения спортсменов в условиях среднегорья» (шифр «Движение-19»).

Методы и организация исследования.

В исследовании приняли участие 18 спортсменов тяжелоатлетов, возраст от 18 до 25 лет, квалификация от КМС до МСМК. Спортсмены являлись членами сборной команды России по тяжелой атлетике и учащимися Кисловодского техникума Олимпийского резерва. Работа проводилась в Центре медико-биологических технологий ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России в г. Кисловодске на горе Малое седло на высоте 1240 метров над уровнем моря в условиях учебно-тренировочных сборов спортсменов в ФГУП «Юг спорт». Все участники дали добровольное информированное согласие на участие в исследовании.

Разработка протоколов из групп математических операторов и тестирование проводились на системе BTS Motion System (BTS Bioengineering, Италия), включающей SMART-DX – оптикоэлектронную систему с тремя инфракрасными камерами (частота кадров 100 Гц) и двумя видеокамерами, беспроводную систему динамической электромиографической диагностики BTS FREEEMG 1000, включающую 8 ЭМГ датчиков (частота дискретизации 4 кГц, разрешение 16 бит), две цифровые напольные тензодинамометрические платформы размерами 60x40 см (частота дискретизации 100 Гц, разрешение 16 бит, нагрузка до 8000 Н). Обработка данных математическими операторами проводилась с помощью специализированного программного обеспечения BTS SMART Clinic.

Для составления протоколов и дальнейшей оценки функционального состояния опорно-двигательного аппарата тяжелоатлетов были выбраны тяжелоатлетические упражнения рывок и толчковый швунг.

Соревновательное упражнение в тяжелой атлетике – рывок двумя руками состоит из следующих основных фаз: стартовое положение, тяга, подрыв, подсед, вставание, заключительная фиксация снаряда над головой. Толчковый швунг (толчок) имеет следующий фазовый состав: стартовое положение, тяга, подрыв, подсед, вставание со штангой на груди,

стабилизация перед выталкиванием с груди, выталкивание, заключительная фиксация снаряда над головой.

Определение скорости движения штанги во время движения рассчитывалось системой по формуле:

$$V(t) = S'(t) \quad (1)$$

где $V(t)$ – векторное значение скорости маркера, м/с;

t – время, секунд;

$S(t)$ - трехмерные координаты маркера, м;

$S'(t)$ - первая производная по времени трехмерных координат маркера, м/с.

Вертикальная полезная мощность испытуемого приложенная к штанге во время движения рассчитывается по формуле:

$$P_u(t) = m_u \cdot (S_z''(t) + g) \cdot S_z'(t) \quad (2)$$

где $P_u(t)$ – скалярное значение вертикальной полезной мощности испытуемого приложенной к штанге во время движения;

m_u – масса штанги, кг;

$S_z''(t)$ - вторая производная по времени координат маркера по вертикальной оси z (вертикальное ускорение), скалярное значение, м/с²;

g – ускорение свободного падения (9.81 м/с²);

$S_z'(t)$ - первая производная координат маркера по вертикальной оси z (вертикальная скорость), скалярное значение, м/с.

Статистическая обработка проводилась с помощью программного обеспечения Statistica 13.0, сравнение данных проводилось с помощью непараметрического критерия Вилкоксона, для выявления взаимосвязей между показателями среднего по модулю значения величины электрического напряжения мышц с физическими характеристиками фаз движений при выполнении упражнений применялся коэффициент корреляции Спирмена.

Результаты исследований и их обсуждение.

Для программного обеспечения BTS SMART-Clinic были разработаны протоколы диагностики функционального состояния ОДА в виде групп математических операторов, включающие оценку динамических (биомеханических, тензодинамометрических, электронейромиографических) характеристик тяжелоатлетических движений рывок и толчковый швунг штанги. При анализе функционального состояния ОДА, показатели анализировались по всем фазам упражнений.

При тестировании спортсмена в упражнениях рывок и толчковый швунг перед выполнением движения и записью пробы необходимо выполнить следующие подготовительные операции: зона движения освобождена от посторонних блестящих объектов, светоотражающие маркеры должны быть приклеены к штанге или диску, датчики ЭМГ активированы, приклеены к ногам спортсмена и должны ждать команды о старте сбора данных, силовые платформы освобождены от посторонних предметов. После этого в программном обеспечении BTS SMART-Clinic можно создать новую пробу и запустить наблюдение (кнопка “Monitor”). В случае успешного запуска всех подсистем спортсмену необходимо встать на две силовые платформы (правую и левую) лицом к видеокамере. Далее запускается запись пробы путем нажатия кнопки “Capture” (захват). После этого спортсмен выполняет тяжелоатлетическое упражнение – рывок или толчковый швунг. После завершения движения останавливается запись пробы путем нажатия кнопки “Capture” (захват). Далее следует нажать кнопку “Save” (сохранить) для сохранения в памяти компьютера данных пробы.

Разработанные нами протоколы в виде групп математических операторов BTS SMART-Clinic позволили провести исследование функционального состояния ОДА тяжелоатлетов как по скоростно-силовым, пространственным, так и по нейромиографическим данным. Образцы итоговой обработки данных (печатные версии протоколов) в виде таблиц и рисунков представлены на рисунках 1-9.

В печатных формах протоколов упражнений рывок и толчковый швунг (рис.1-9), полученных после проведения тестирования представлены следующие характеристики:

Пространственные характеристики движения:

- TimeLength (s) – длительность фазы движения, секунд;
- MaxForw (cm) – максимальный вылет вперед штанги от атлета в фазе движения относительно ее исходного положения на старте (со знаком плюс), см;
- MaxBack (cm) – максимальное приближение штанги к атлету в фазе движения относительно ее исходного положения на старте (со знаком минус), см;
- LengthTrack (cm) – длина трека движения штанги в фазе движения, см;
- Delta3D (cm) – пространственное 3D перемещение по прямой штанги в фазе движения, см;
- DeltaY1D (cm) – 1D перемещение по вертикали по прямой штанги в фазе движения, см;

WEIGHTLIFTING SNATCH (RIVOK)

Athlet details

First name	ALEXEY
Last name	MAMONTOV
Birthday	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	Vstavan4	Finish5	Itogo1-5
TimeLength (s)	0.65	0.35	0.27	1.11	0.9	0.86	4.14
MaxForw (cm)		-1.768	-9.835	-3.031	12.886	18.766	-9.835
MaxBack (cm)		8.985	-2.878	13.251	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	-.15	-1.006
VYUp1DAMax (m/s)		2.405	2.77	1.006	1.153	0.15	2.77
Power							
PUp1YMax (BT)		2023.228	2179.011	175.318	592.169	31.038	2179.011
PUp1YMean1 (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
DiffGRFRL (%)	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

1

Рис. 1. Фрагмент итогового протокола упражнения рывок: цифровые показатели пространственных, скоростных, мощностных и силовых характеристик ОДА тяжелоатлетов



WEIGHTLIFTING SNATCH (RIVOK)

Athlet details

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



Electromyography

	Start0	Tyaga1	Podriv2	Podsed3	Vstavan4	Finish5	Itogo1-5
Right Foot							
Rectus femoris Mean (mV)	0.189	0.352	0.331	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
Left Foot							
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)	2.67	2.51	1.898	2.292	2.187	0.771	2.51
Gastrocnemius medialis Mean (mV)	0.052	0.339	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

2

Рис. 2. Фрагмент итогового протокола упражнения рывок: показатели электронейромиографии

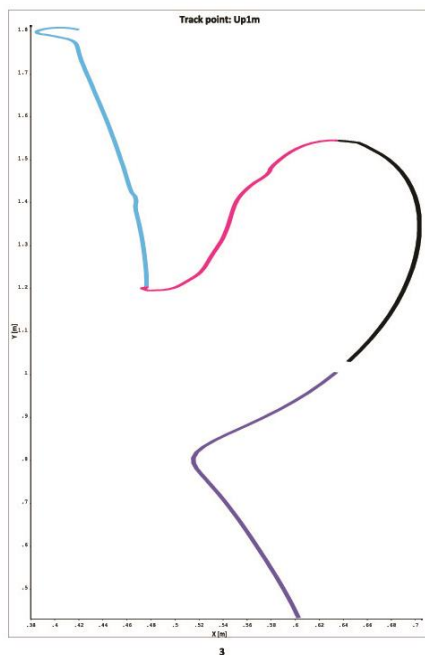


Рис. 3. Фрагмент итогового протокола упражнения рывок: траектория движения штанги в вертикальной плоскости

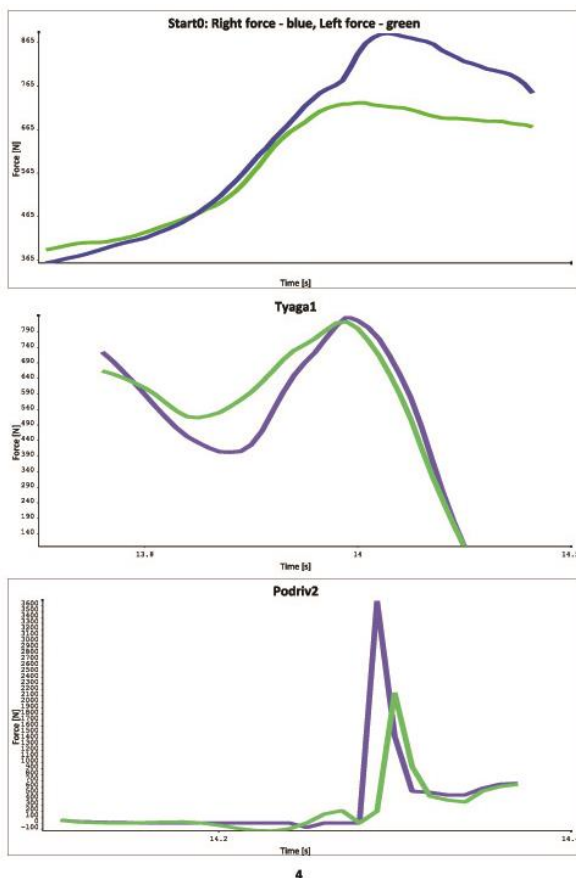
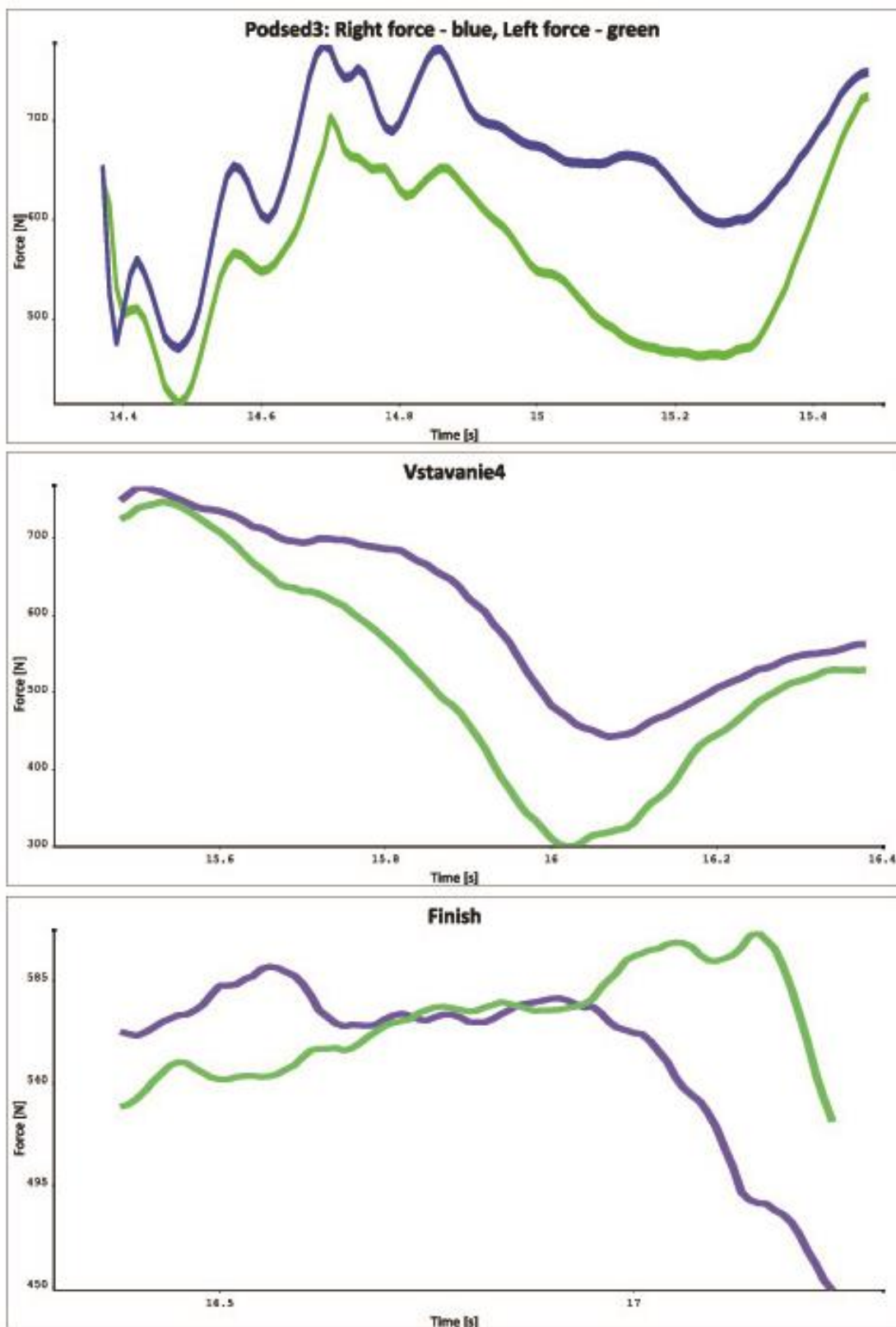
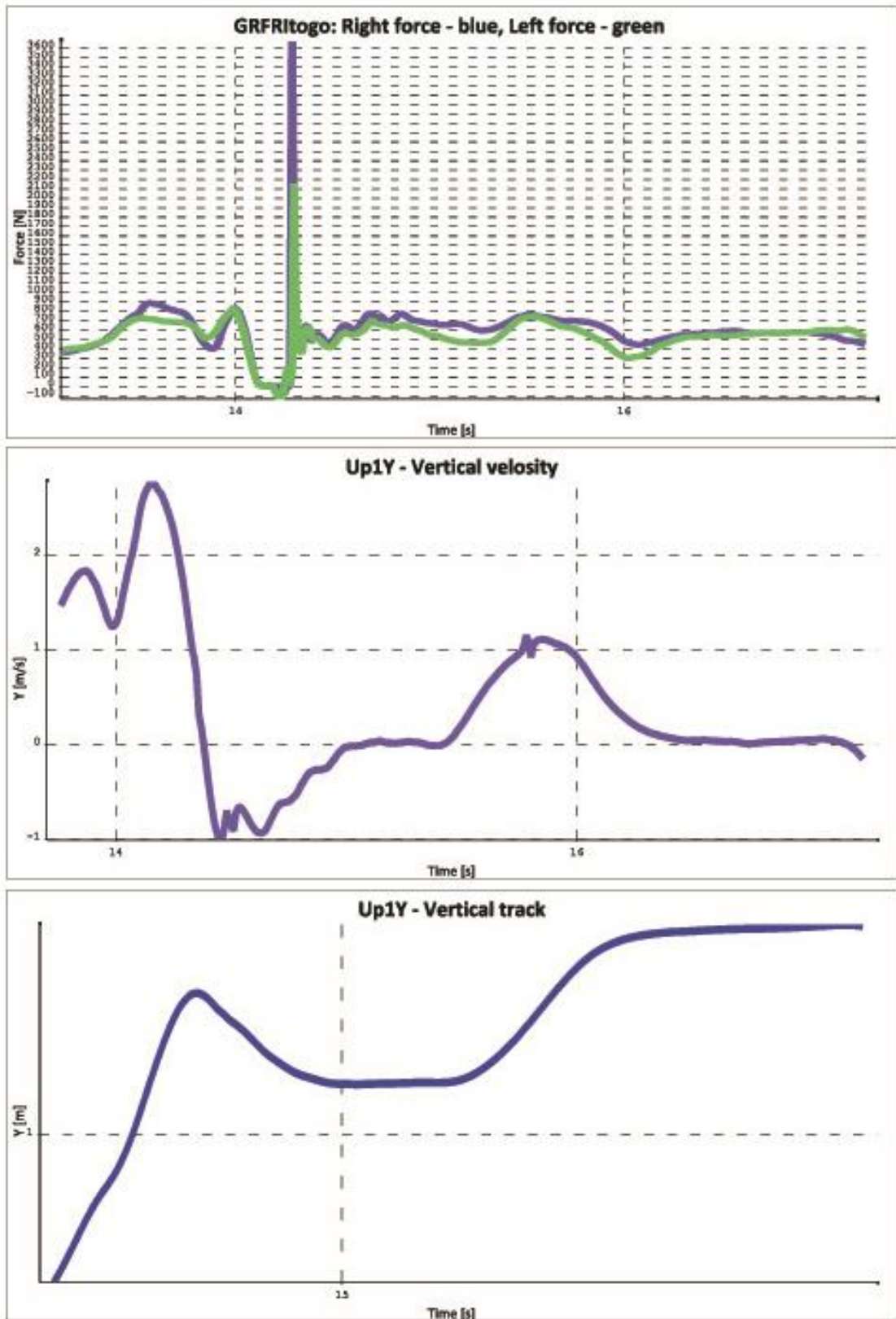


Рис. 4. Фрагмент итогового протокола упражнения рывок: графики изменения силы давления на опору правой и левой ногой в фазы старт, тяга, подрыв



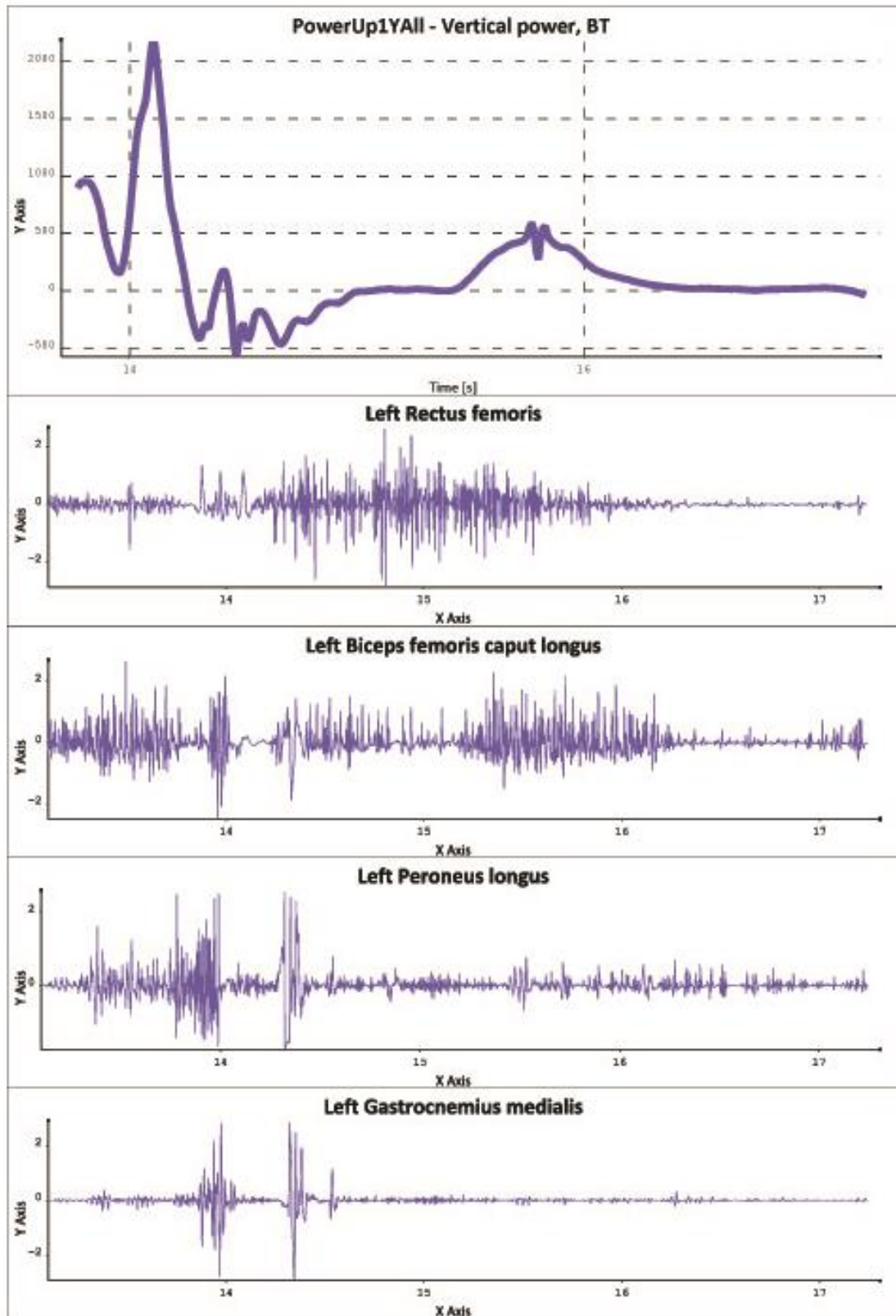
5

Рис. 5. Фрагмент итогового протокола упражнения рыбок: графики изменения силы давления на опору правой и левой ногой в фазы подсед, вставание, финиш



6

Рис. 6. Фрагмент итогового протокола упражнения рывок: общий график изменения силы давления на опору правой и левой ногой, вертикальной скорости и вертикальной траектории штанги



8

Рис. 7. Фрагмент итогового протокола упражнения рывок: график максимальной вертикальной полезной мощности тяжелоатлета и графики электрической активности мышц

Тяга1



Podriv2



Podsed3



Vstavanie4



Finish5



Finish6



Рис. 8. Фрагмент итогового протокола упражнения рывок: фотографии движения тяжелоатлета в фазы старт, тяга, подрыв, подсед, вставание, финиш

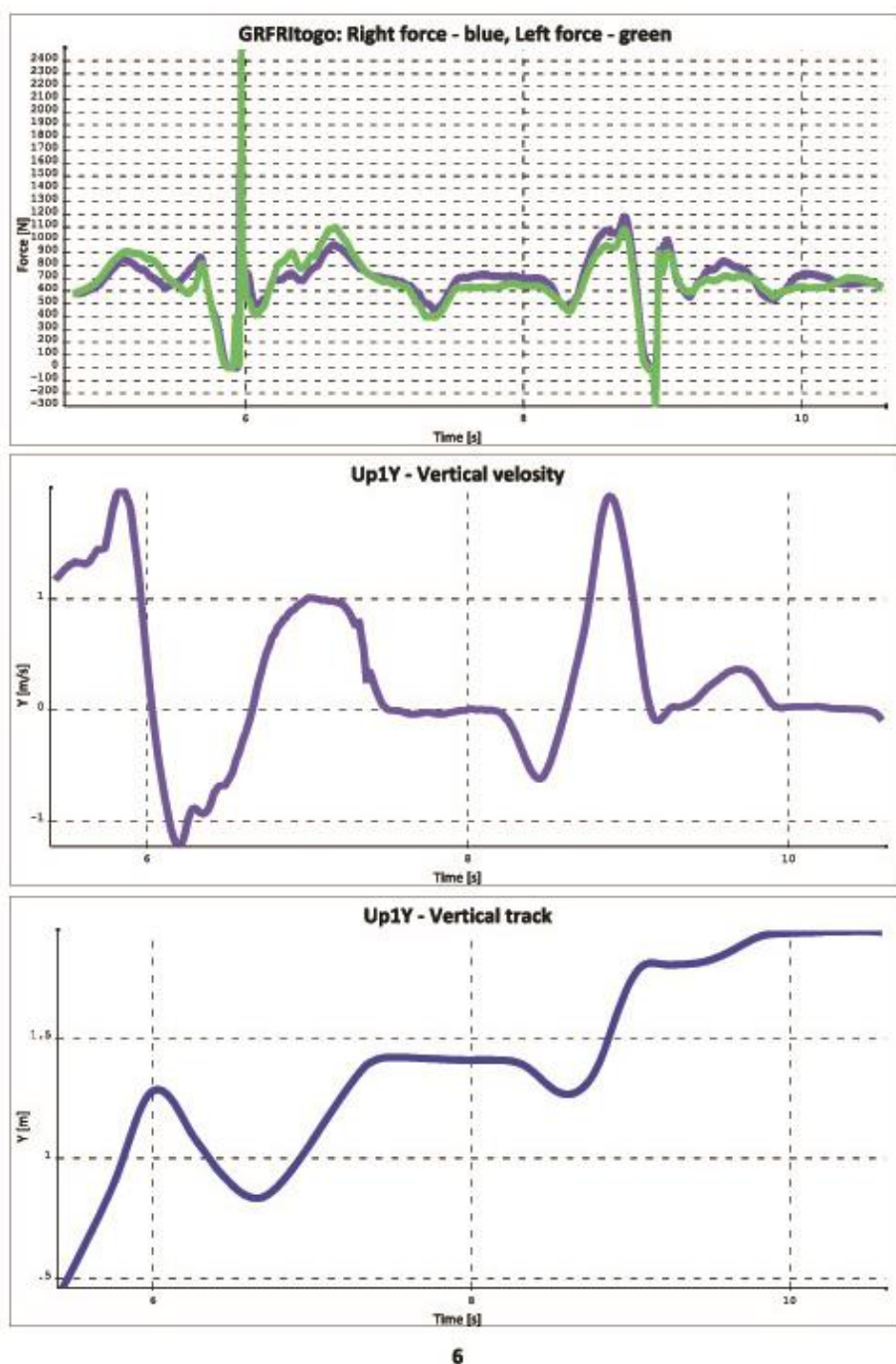


Рис. 9. Фрагмент протокола упражнения толчок с графиками изменения силы давления на опору правой и левой ног, вертикальной скорости и вертикальной траектории движения штанги

- $VY1DMax$ (m/s) – максимальная вертикальная скорость движения штанги в фазе движения, м/с;
- $VY1DMin$ (m/s) – минимальная вертикальная скорость движения штанги в фазе движения, м/с;
- $VYUp1DAMax$ (m/s) – максимальная абсолютная (по модулю) вертикальная скорость движения штанги в фазе движения, м/с;

- $P_{Up1YMax}$ (BT) – максимальная вертикальная полезная мощность тяжелоатлета в фазе движения, Вт;
 - $P_{Up1YMax}$ (BT) – средняя вертикальная полезная мощность тяжелоатлета в фазе движения, Вт;
 - $MinHeight$ (cm) – начальная вертикальная высота маркера прикрепленного к штанге, см;
 - $MaxHeight$ (cm) – максимальная вертикальная высота маркера прикрепленного к штанге, см;
 - $MaxHDelta$ (cm) – максимальное вертикальное перемещение маркера прикрепленного к штанге ($MaxHeight - MinHeight$), см;
 - $GRFLMean$ (kg) – средний вес, приходящийся на левую ногу в фазе движения, кг;
 - $GRFRMean$ (kg) – средний вес, приходящийся на правую ногу в фазе движения, кг;
 - $GRFLMean/GRF$ (%) – средняя доля веса, приходящаяся на левую ногу в фазе движения, %;
 - $GRFRMean/GRF$ (%) – средняя доля веса, приходящаяся на правую ногу в фазе движения, %;
 - $DiffGRFRL$ (%) – разница распределения веса между правой и левой ногой в фазе движения (модуль ($GRFLMean/GRF - GRFRMean/GRF$)), %.
- Электромиографические характеристики движения:
- Right Foot – правая нога;
 - Left Foot – левая нога;
 - Rectus femoris Mean (mV) - среднее по модулю значение величины электрической активности прямой мышцы бедра в фазе движения, мВ;
 - Rectus femoris SD (mV) - среднеквадратичное отклонение величины электрической активности прямой мышцы бедра в фазе движения, мВ;
 - Rectus femoris Max (mV) - максимальное значение величины электрической активности прямой мышцы бедра в фазе движения, мВ;
 - Biceps femoris caput longus Mean (mV) - среднее по модулю значение величины электрической активности двуглавой мышцы бедра в фазе движения, мВ;
 - Biceps femoris caput longus SD (mV) - среднеквадратичное отклонение величины электрической активности двуглавой мышцы бедра в фазе движения, мВ;
 - Biceps femoris caput longus Max (mV) - максимальное значение величины электрической активности двуглавой мышцы бедра в фазе движения, мВ;

- Peroneus longus Mean (mV) - среднее по модулю значение величины электрической активности длинной малоберцовой мышцы в фазе движения, мВ;
- Peroneus longus SD (mV) - среднеквадратичное отклонение величины электрической активности длинной малоберцовой мышцы в фазе движения, мВ;
- Peroneus longus Max (mV) - максимальное значение величины электрической активности длинной малоберцовой мышцы в фазе движения, мВ;
- Gastrocnemius medialis Mean (mV) - среднее по модулю значение величины электрической активности икроножной мышцы в фазе движения, мВ;
- Gastrocnemius medialis SD (mV) - среднеквадратичное отклонение величины электрической активности икроножной мышцы в фазе движения, мВ;
- Gastrocnemius medialis Max (mV) - максимальное значение величины электрической активности икроножной мышцы в фазе движения, мВ.

Описание рисунков и графиков:

- Track point: Up1m – траектория движения штанги в вертикальной плоскости (вид сбоку).

В результате исследования спортсмены и тренеры могут получить информацию о кинематике движения штанги, скоростно-силовых характеристиках и траектории движения, активности и включении мышц, участвующих в выполнении упражнений, особенностях мышечного дисбаланса.

Биомеханический и нейромиографический анализ работы ОДА спортсменов при выполнении тяжелоатлетического рывка

Разработанные протоколы позволили провести исследование функционального состояния ОДА тяжелоатлетов при выполнении ими соревновательного упражнения рывок и получить данные о пространственных характеристиках движения, параметрах максимального вылета вперед штанги от атлета в фазе движения относительно ее исходного положения на старте (обеспечение оптимальности траектории движения), максимального приближения штанги к атлету в фазе движения относительно ее исходного положения на старте, длины трека движения штанги в фазе движения, пространственном 3D перемещении по прямой штанги в фазе движения, 1D перемещении по вертикали по прямой штанги в фазе движения, максимальной вертикальной скорости движения штанги в фазе движения, минимальной

вертикальной скорости движения штанги в фазе движения, максимальной абсолютной (по модулю) вертикальной скорости движения штанги в фазе движения, максимальной вертикальной полезной мощности тяжелоатлета в фазе движения, средней вертикальной полезной мощности тяжелоатлета в фазе движения, среднем весе, приходящемся на левую ногу в фазе движения, среднем весе, приходящемся на правую ногу в фазе движения, средней доле веса, приходящегося на левую и правую ноги в фазе движения, разнице распределения веса между правой и левой ногой в фазе движения.

Сравнительный анализ характеристик состояния ОДА тяжелоатлетов мужского и женского пола при выполнении тяжелоатлетического рывка выявил достоверные различия характеристик движения:

- максимальный вылет вперед штанги от атлета в фазе движения тяга относительно ее исходного положения на старте был меньше (оптимальнее) у женщин $-0,42 \pm 0,18$ см ($P < 0,05$) по сравнению с мужчинами $-2,47 \pm 0,55$ см;

- длина трека движения штанги в 3 фазе движения подсед и в общем результате всех фаз больше у женщин $80,83 \pm 4,75$ см ($P < 0,05$) по сравнению с мужчинами $58,06 \pm 4,32$ 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 фазу движения подрыв больше у мужчин, а на правую ногу - у женщин ($P < 0,05$).

В целом биомеханический анализ показал отличия техники упражнений рывка у женщин по сравнению с мужчинами, в основном связанные с их меньшими антропометрическими размерами. У женщин выявлена асимметрия распределения давления во вторую фазу рывка, с большим акцентом на правую ногу. Из методов регистрации усилий мышц при выполнении спортивных движений выделяют механический и электрический, каждый из которых отражает различные стороны одного и того же процесса сокращения и может быть использован в качестве критерия оценки мышечных усилий. Характеристики этих усилий, по данным специалистов, можно достаточно объективно оценить по их электрической активности (электронейромиограмме). Во многих работах регистрировалось повышение электроактивности мышц при увеличении их усилия [1-3]. В изометрических мышечных сокращениях зависимость между электрической активностью мышцы и силой ее сокращения имеет линейный характер. Соотношение между электроактивностью и силой сокращения мышцы зависит от ряда факторов: функционального состояния мышцы, ее длины, типа сокращения.

Следовательно, регистрация 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 фазе подрыва и в 3 фазе подседа; максимальное значение ЭА левой ноги было наибольшим в 3 фазе подседа; максимальное и среднее значение было статистически достоверно выше у мужчин по сравнению с женщинами в 4 фазе вставание ($P < 0,05$). Двуглавая мышца бедра: наибольшие величины средней и максимальной ЭА правой ноги зарегистрированы в 1 фазе движения тяга и были достоверно больше у мужчин по сравнению с женщинами в 1 фазе движения тяга и во 2 фазе движения подрыв ($P < 0,05$). Длинная малоберцовая мышца: наибольший показатель ЭА правой ноги в 1 фазе движения тяга; показатели максимального значения ЭА длинной малоберцовой мышцы правой ноги больше у мужчин по сравнению с женщинами в 1 и 4 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 фазе движения тяга и 3 фазе движения подсед; у мужчин по сравнению с женщинами выше максимальное значение ЭА во 2 фазе движения подрыв ($P < 0,05$).

Следовательно, наибольшее напряжение ЭА при выполнении упражнения тяжелоатлетический рывок из исследованных мышц правой ноги испытывают прямая и двуглавая мышцы бедра, несколько меньшее - длинная малоберцовая мышца. Наибольшее электрическое напряжение прямой мышцы бедра наблюдается во 2 фазе подрыва и в 3 фазе подседа и двуглавой мышцы бедра в 1 фазе тяги.

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 фазах рывка взаимосвязана с физическими характеристиками движений в 1 и немного в 3 фазу. Наибольшая ЭА прямой мышцы бедра в 4 фазу рывка взаимосвязана с весом, приходящимся на левую и правую ногу в фазы рывка.

ЭА двуглавой мышцы бедра правой ноги в отличие от прямой мышцы коррелировала с физическими параметрами движения преимущественно в период 2 и 3 фазы – подрыва и подседа. ЭА в 3 фазу в большей степени взаимосвязана

с показателями вертикальной скорости в 1 и 2 фазу. То есть чем большие

физические усилия проявляет спортсмен в 1 и 3 фазу, тем больший вес он может поднять и большее напряжение прямой мышцы бедра он может развить в тяге, подседе и заключительной фазе.

Биомеханический и нейромиографический анализ работы ОДА тяжелоатлетов при выполнении упражнения толчковый швунг (толчок)

Выявлены следующие отличия характеристик тяжелоатлетов мужчин при выполнении толчкового швунга по сравнению с женщинами: мужчины отличались большей длительностью фаз движений; максимальный вылет вперед штанги от атлета в фазе движения тяга 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 фазе выталкивания (толчок) меньше у женщин $17,08 \pm 2,80$ см ($P < 0,05$) по сравнению с мужчинами $17,75 \pm 1,92$ 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 мужчинами $10,27 \pm 4,50$ см; величина пространственного 3D перемещения по прямой штанги в 5 фазе движения стабилизации перед выталкиванием штанги с груди меньше у женщин $6,86 \pm 1,84$ см ($P < 0,05$) по сравнению с мужчинами $8,82 \pm 4,79$ см; величина 1D перемещения штанги по вертикали по прямой в фазе движения в заключительной 7 фазе фиксации снаряда над головой меньше у мужчин ($P < 0,05$); максимальная вертикальная скорость движения штанги в 1 фазе движения тяга и в 4 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 женщинами $1,76 \pm 0,26$ м/с и $1,24 \pm 0,19$ м/с соответственно; минимальная вертикальная скорость движения штанги в 1 фазе движения тяга больше у мужчин ($P < 0,05$); максимальная абсолютная (по модулю) вертикальная скорость движения штанги в 4 фазе движения вставание (4 фаза) больше у мужчин $1,69 \pm 0,07$ м/с ($P < 0,05$) по сравнению с женщинами $1,25 \pm 0,19$ м/с.

В целом биомеханический анализ толчкового швунга показал меньшие величины отклонения спортивного снаряда от стартовой позиции тела у женщин, что связано с меньшими длинными размерами тела и конечностей, и большими показателями скорости движения снаряда у мужчин, что вызвано лучшими скоростными и скоростно-силовыми способностями.

ЭНМГ характеристики нижних конечностей спортсменов тяжелоатлетов при выполнении упражнения толчковый швунг показывают следующее. Прямая мышца бедра: среднее значение ЭА правой ноги было наибольшим во 2 фазе подрыва и в 3 фазе подседа; максимальное значение ЭА

правой ноги было наибольшим в 3 фазе подседа, 4 фазе вставание и 6 фазе выталкивание – толчок. Двуглавая мышца бедра: ЭА в целом меньше, чем у прямой мышцы бедра; наибольшие величины средней и максимальной ЭА были зарегистрированы в 3 фазе движения подсед и в 6 фазе выталкивание – толчок. Длинная малоберцовая мышца: низкие показатели среднего значения ЭА в целом; наиболее высокий показатель максимального значения ЭА зарегистрирован в 6 фазе. Анализ ЭА икроножной мышцы правой ноги показал низкий показатель среднего по модулю значения величины ЭА в целом. Высокий показатель максимального значения величины ЭА икроножной мышцы правой ноги зарегистрирован в 6 фазе движения – толчок.

Выявлены статистически значимые ($P < 0,05$) коэффициенты корреляции среднего значения ЭА прямой мышцы бедра правой ноги в нулевую фазу упражнения толчковый швунг с показателями максимальной вертикальной скорости в 1 и 2 фазе, максимальной абсолютной вертикальной скоростью в 1 и 2 фазе, максимальной вертикальной полезной мощностью тяжелоатлета в 1 и 2 фазе движения, средним весом, приходящимся на левую ногу в 5 и 6 фазах и на правую ногу во всех фазах.

Значение ЭА прямой мышцы бедра в 1 фазу коррелировало с показателем максимальной вертикальной полезной мощности тяжелоатлета во 2 фазу. Значение ЭА прямой мышцы бедра в 7 фазу толчка коррелировало с показателями минимальной вертикальной скорости движения штанги в 7 фазе движения. Значение ЭА прямой мышцы бедра во 2 фазу толчка коррелировало с показателями максимальной вертикальной скорости движения штанги во 2 фазе движения и максимальной абсолютной вертикальной скоростью движения штанги во 2 и 4 фазах движения, максимальной вертикальной полезной мощностью тяжелоатлета в 1 фазу толчка. Значение ЭА двуглавой мышцы бедра в третью фазу толчка коррелировало с показателем максимальной вертикальной полезной мощности тяжелоатлета в 7 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 тяжелоатлетического рывка и толчкового швунга у женщин по сравнению с мужчинами, связанные с меньшими величинами отклонения спортивного снаряда от стартовой позиции у женщин, что обусловлено меньшими

длинными размерами тела и конечностей и большими показателями скорости движения снаряда у мужчин, вызванными лучшими скоростными и скоростно-силовыми способностями.

Наибольшую ЭА при выполнении упражнения тяжелоатлетический рывок из исследованных мышц правой ноги испытывают прямая и двуглавая мышцы бедра, несколько меньшей ЭА характеризуется длинная малоберцовая мышца.

При выполнении тяжелоатлетического упражнения толчковый швунг отмечается большая ЭА прямой и двуглавой мышц бедра. Практически отсутствует напряжение в икроножной мышце. Для проявления скоростно-силовых характеристик последующего движения наиболее благоприятна сниженная начальная ЭА мышц, т.е. их расслабление и наибольшая активность в одноименную фазу 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 восстановлении двигательного динамического стереотипа после вынужденного пропуска тренировок, в том числе при прохождении программы реабилитации;
- определение отстающих звеньев функциональной готовности.

Список литературы

1. Беляев А.Г. Влияние магнитной стимуляции на силовые возможности скелетных мышц: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Смоленск, 2015. – 23 с.
2. Городничев Р.М. Спортивная электронейромиография / Р.М. Городничев, В.Н. Шляхтов // Великие Луки: ВЛГИФК, 2005. – 230 с.
3. Городничев Р.М. Физиология силы: монография / Р.М. Городничев, В.Н. Шляхтов // – М.: Спорт, 2016. – 232 с.
4. Дьяченко Н.А. Анализ техники выполнения классических упражнений в тяжелой атлетике на основе биомеханического контроля / Н.А. Дьяченко, П.И. Заев, В.Д. Зверев, А.Х. Талибов, О.С. Федяев // Ученые записки университета им. ПФ Лесгафта. – 2009. – №8. – С.46-50.
5. Сивохин И.П. Факторный анализ толчка штанги от груди элитных тяжелоатлетов в условиях соревнований / И.П. Сивохин, В.Ф. Скотников, М.С.

Хлыстов, А.И. Федоров // Человек. Спорт. Медицина. - 2016. - Т. 1, №1.- С.72-77.

6. Скотников В.Ф. Эффективность техники рывка и толчка у тяжелоатлетов высокой квалификации / В.Ф. Скотников, А.А. Шалманов, А.В. Панин // Теория и практика прикладных и экстремальных видов спорта. – 2013. – Т. 27, №2. – С. 41-47.

7. Шалманов А.А. Сравнительный анализ движения штанги в классических тяжелоатлетических упражнениях при подъеме субмаксимальных и максимальных весов / А.А. Шалманов, В.Ф. Скотников, А.П. Баюрин // Экстремальная деятельность. – 2015. – Т.34, №1. – С.38-45.

8. Ahmadi S.M. An Experimental Study on the Kinematics of a Skilled Service in Playing Tennis / S.M. Ahmadi, E. Shirzad, B. Sajadi, M. Cheraghi, K. Haghighi // ASME 2010 International Mechanical Engineering Congress and Exposition. – American Society of Mechanical Engineers, 2010. – P.565-568.

9. 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.

10. Lu T.W. Biomechanics of human movement and its clinical applications / T.W. Lu, C.F. Chang // The Kaohsiung journal of medical sciences. – 2012. – V.28. – P.13-25.

11. Kellis E. Muscle coactivation before and after the impact phase of running following isokinetic fatigue / E. Kellis, A. Zafeiridis, I.G. Amiridis // Journal of athletic training. – 2011. – V.46, №. 1. – P.11-19.

12. Knudson D. Fundamentals of biomechanics / D. Knudson // Springer Science & Business Media, 2007. – P.354.

13. Pronost N. Dynamics-based analysis and synthesis of human locomotion / N. Pronost, G. Dumont // The Visual Computer. – 2007. – V. 23, №7. – P.513-522.

14. Wang L., Hu W., Tan T. Recent developments in human motion analysis / L. Wang, W. Hu, T. Tan // Pattern recognition. – 2003. – V. 36, №.3. – P.585-601.

References

1. Belyaev A.G. Influence of magnetic stimulation on the power capabilities of skeletal muscles: author's abstract. ... Cand. Biol. nauk. – Smolensk, 2015. – 23 p.

2. Gorodnichev R.M. Sports electroneuromyography / R.M. Gorodnichev, V.N. Gentry // Velikie Luki: VLGAFK, 2005. – 230 p.

3. Gorodnichev R.M. Physiology of strength: monograph / R.M. Gorodnichev, V.N. Shlyakhtov // – M.: Sport, 2016. – 232 p.
4. Dyachenko N.A. Analysis of techniques for performing classical exercises in weightlifting based on biomechanical control / N.A. Dyachenko, P.I. Zaev, V.D. Zverev, A.H. Talibov, O.S. Fedyayev // Scientific notes of the PF Lesgaft University. – 2009. – №8. – P.46-50.
5. Sivokhin I. P. Factor Analysis of the push of the bar from the chest of elite weightlifters in competition conditions / I.P. Sivokhin, V.F. Skotnikov, M.S. Khlystov, A.I. Fedorov // Man. Sport. Medicine. – 2016. – Т. 1, №1. – P.72-77.
6. Skotnikov V.F. Efficiency equipment and clean and jerk in weightlifting high qualification / V.F. Skotnikov, A.A. Shalmanov, A. Panin // Theory and practice of applied and extreme sports. – 2013. – Т.27, №2. – P.41-47.
7. Shalmanov A.A. Comparative analysis of the movement of the rod in the classic weightlifting exercises when lifting submaximal and maximal weights / A.A. Shalmanov, V.F. Skotnikov, A.P. Bajurin // Extreme activities. – 2015. – Т. 34, № 1. – P.38-45.
8. Ahmadi S.M. An Experimental Study on the Kinematics of a Skilled Service in Playing Tennis / S.M. Ahmadi, E. Shirzad, B. Sajadi, M. Cheraghi, K. Haghghi // ASME 2010 International Mechanical Engineering Congress and Exposition. – American Society of Mechanical Engineers, 2010. – P.565-568.
9. 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.
10. Lu T.W. Biomechanics of human movement and its clinical applications / T.W. Lu, C.F. Chang // The Kaohsiung journal of medical sciences. – 2012. – V.28. – P.13-25.
11. Kellis E. Muscle coactivation before and after the impact phase of running following isokinetic fatigue / E. Kellis, A. Zafeiridis, I.G. Amiridis // Journal of athletic training. – 2011. – V.46, №. 1. – P.11-19.
12. Knudson D. Fundamentals of biomechanics / D. Knudson // Springer Science & Business Media, 2007. – P.354.
13. Pronost N. Dynamics-based analysis and synthesis of human locomotion / N. Pronost, G. Dumont // The Visual Computer. – 2007. – V. 23, №7. – P.513-522.
14. Wang L., Hu W., Tan T. Recent developments in human motion analysis / L. Wang, W. Hu, T. Tan // Pattern recognition. – 2003. – V. 36, №.3. – P.585-601.

Сведения об авторах: **Сергей Викторович Нопин** – к-т тех. наук, ведущий научный сотрудник центра медико-биологических технологий ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, e-mail: work800@yandex.ru; **Юлия Владиславовна Корягина** – профессор, д-р биол. наук, руководитель центра медико-биологических технологий ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, e-mail: nauka@skfmba.ru; **Гукас Николаевич Тер-Акопов** – к-т экон. наук, генеральный директор ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, e-mail: nauka@skfmba.ru; **Сабина Маликовна Абуталимова** – научный сотрудник центра медико-биологических технологий ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, e-mail: sabina190989@yandex.ru;