



БИОМЕХАНИКА В СПОРТЕ

Научная статья

<https://doi.org/10.62105/2949-6349-2026-3-3-e202613>

УДК 612.763

Оценка некоторых характеристик двигательных действий упражнения «толчок двух гирь по длинному циклу» на основании биомеханического контроля

Н.В. Гришаев^{1,2} ✉

¹ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

² Всероссийская федерация гиревого спорта, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

✉ niksport80@mail.ru

Аннотация

Актуальность. Гиревой спорт в настоящее время является малоизученным видом спорта. Вместе с тем многолетний анализ протоколов официальных всероссийских и международных соревнований свидетельствует о неуклонном увеличении числа занимающихся и росте спортивных результатов во всех весовых категориях. Анализ научных публикаций, посвящённых изучению гиревого спорта и в частности изучению упражнения «толчок двух гирь по длинному циклу», выявляет незначительное количество исследований. Слабо изучены кинематические характеристики двигательных действий в различных фазах соревновательного упражнения, что и определяет актуальность исследования.

Цель исследования – оценка кинематических характеристик угла сгибания коленного сустава при выполнении упражнения «толчок двух гирь по длинному циклу», сравнительный анализ значений угла в ключевых фазах цикла у спортсменов различного уровня спортивной подготовленности и весовых категорий, а также оценка динамики угла по мере накопления утомления в ходе соревновательного выступления.

Методы. Обследовано 132 спортсмена (средний возраст $24,6 \pm 3,8$ года, стаж занятий $7,2 \pm 2,9$ года). Для проведения исследования применялись методы биомеханического контроля двигательных действий, включающие видеосъёмку соревновательного упражнения в ходе выступления на официальных соревнованиях и последующий анализ видеоизображения при помощи программы KINOVEA. Анализировались углы сгибания коленных суставов во всех десяти двигательных фазах цикла. Для каждого спортсмена обработано по пять полных циклов. Систематическая погрешность метода составила $0,5^\circ$.

Результаты. По результатам исследования определён фазовый состав упражнения, проанализированы углы сгибания коленных суставов в различных двигательных фазах. Установлены статистически значимые различия значений угла сгибания коленных суставов в фазе подседа между спортсменами различного уровня подготовленности ($N=18,7$; $p<0,001$) и весовых категорий ($N=12,8$; $p<0,01$). Выявлена динамика увеличения глубины подседа по мере развития утомления к концу соревновательного времени ($p<0,05$). Работа ног играет определяющую роль при выполнении соревновательного упражнения,



а значения углов сгибания коленных суставов определяют рациональность техники его выполнения. В фазе подседа угол сгибания может достигать 110° – 130° в зависимости от весоростовых характеристик спортсмена; при последующем вставании ноги выпрямляются, и угол составляет 170° – 180° , обеспечивая краткосрочное расслабление мышц бедра. Изменение угла сгибания коленных суставов происходит в динамичном режиме и характеризуется многократностью повторения. В этой связи совершаемая двигательная ошибка – чрезмерное сгибание коленных суставов в фазе подседа или недостаточное выпрямление ног при фиксации гирь – увеличивает энергетическую стоимость толчка гирь.

Заключение. Анализ таких кинематических характеристик, как угол сгибания коленного сустава и время изменения угла, показывает, что они являются достаточно информативными показателями и могут быть применены в качестве маркеров биомеханического контроля спортивной подготовки. Выявленные количественные закономерности могут служить основой для автоматического распознавания фаз движения и классификации технических ошибок при разработке автоматизированных систем поддержки тренировочного процесса.

Ключевые слова: биомеханика, кинематика двигательных действий, толчок двух гирь по длинному циклу, фазовый состав, гиревой спорт

BIOMECHANICS IN SPORT

Research article

<https://doi.org/10.62105/2949-6349-2026-3-3-e202613>

UDC 612.763

Assessment of some characteristics of the motor actions of the exercise “pushing two weights in a long cycle” based on biomechanical control

N.V. Grishaev^{1,2} ✉

¹ VUNC Navy “Naval Academy”, St. Petersburg, Russian Federation

² All-Russian Kettlebell Sport Federation, St. Petersburg, Russian Federation

✉ niksport80@mail.ru

Abstract

Relevance. Kettlebell lifting is a relatively new sport that has not been extensively studied. However, a long-term analysis of official national and international competition records indicates a steady increase in the number of participants and improvement in athletic performance across all weight categories. Analysis of scientific literature on kettlebell lifting, particularly the exercise “pushing two weights in a long cycle”, reveals a limited number of studies on this topic. The kinematic features of motor actions during various stages of a competitive lift have not been well-researched, which highlights the importance of further investigation.

The aim of the study was to evaluate the kinematic characteristics of the knee joint flexion angle during a pushing two-weight exercise in a long cycle, to compare angle values in key phases of the cycle among athletes of different levels of athletic fitness and weight categories, and to assess angle dynamics as fatigue accumulates during competitive performance.



Methods. 132 athletes (average age 24.6 ± 3.8 years; training experience 7.2 ± 2.9 years) were examined. To conduct the study, we used methods of biomechanical analysis of motor actions, including video recording of competitive exercises during official competitions and subsequent analysis of the video using the KINOVEA program. We analyzed the angles of knee joint flexion in all 10 motor phases of the cycle. For each athlete, we processed five full cycles. The systematic error of the method was 0.5 degrees.

Results. Based on the findings of the study, the phase composition of the exercise was identified, and the angles of knee joint bending in various motor phases were analyzed. Statistically significant differences were found in the values of knee joint flexion angle during the squat phase among athletes of different fitness levels ($H=18.7$; $p<0.001$) and weight categories ($H=12.8$; $p<0.01$). The dynamics of increasing squat depth as fatigue develops towards the end of competition time ($p<0.05$) was also revealed. Footwork is crucial for the performance of competitive exercises, and the values of bending angles of knee joints determine the rationality of technique for its execution. During the squat phase, the angle of knee bending can range from 110° – 130° , depending on the weight and speed characteristics of the athlete. Upon standing, the legs are straightened, forming an angle of 170° – 180° . This provides short-term relaxation for the thigh muscles. The angle of flexion at the knee joints changes dynamically, with multiple repetitions occurring. Excessive bending of the knees or insufficient straightening of the legs during the squatting phase can increase the energy cost of lifting weights.

Conclusion. The analysis of kinematic characteristics such as the angle of knee flexion and the time it takes to change the angle shows that they are informative indicators and can be used as markers for biomechanical control in athletic training. These quantitative patterns can be used to automatically recognize movement phases and classify technical errors, which can help in the development of automated training support systems.

Keywords: biomechanics, kinematics of motor actions, pushing two weights in a long cycle, phase composition, kettlebell lifting

Введение

Специфика упражнения «толчок двух гирь по длинному циклу» характеризуется высокой энергетической стоимостью каждого подъёма гирь и высоким уровнем технической подготовленности. В свою очередь, рациональность многократно повторяемых двигательных действий обеспечивается оптимальными значениями кинематических характеристик. К числу таких характеристик относятся углы сгибания суставов (тазобедренного, коленного, голеностопного), углы наклона (отклонения) туловища, высота подъёма гири и амплитуда её движения в различных фазах рывка и толчка по длинному циклу, продолжительность отдельных двигательных фаз, а также скорость и ускорение гири в различных двигательных фазах.

Выполняя толчок двух гирь по длинному циклу, спортсмен задействует все группы мышц [1], но при этом работа мышц ног играет ключевое значение как при выталкивании, так и при замахе гирь. Отсюда следует, что значение угла и время сгибания коленных суставов могут представлять определённый интерес при оценке кинематических характеристик совершаемых двигательных действий. Однако в настоящее время биомеханика дисциплины «толчок двух гирь по длинному циклу» является малоизученной. В наукометрических базах данных встречается незначительное количество научных исследований данной дисциплины.



Так, В. Ф. Тихонов в своих исследованиях техники выполнения упражнения «толчок двух гирь по длинному циклу» применяет методы тензодинамометрии и акселерометрии [2], выявляет особенности формирования произвольных дыхательных циклов при выполнении упражнения [3], при этом недостаточно изучены угловые характеристики сгибания коленных суставов.

Учитывая возрастающее число спортсменов, участвующих в дисциплине «толчок двух гирь по длинному циклу», как показывают протоколы официальных соревнований [4], а также систематический рост спортивных результатов [5], изучение кинематических характеристик двигательных действий является актуальным и своевременным.

Целью исследования является анализ угла сгибания коленных суставов в различных двигательных фазах как одной из наиболее информативных кинематических характеристик двигательных действий.

В соответствии с целью исследования сформулированы следующие исследовательские вопросы:

- 1) Различаются ли значения угла сгибания коленных суставов в ключевых фазах цикла у спортсменов различного уровня спортивной подготовленности?
- 2) Различаются ли значения угла сгибания коленных суставов в ключевых фазах цикла у спортсменов различных весовых категорий?
- 3) Изменяются ли значения угла сгибания коленных суставов в пределах одной попытки по мере накопления утомления (сравнение первой и последней минуты соревновательного времени)?
- 4) Существует ли взаимосвязь между угловыми параметрами движений и соревновательным результатом (количество подъёмов, темп выполнения, импульс силы)?

На основании анализа научной литературы выдвинуты следующие проверяемые гипотезы:

- 1) Спортсмены более высокой квалификации характеризуются меньшей глубиной подседа и более выраженным выпрямлением коленных суставов в фазах выталкивания и фиксации по сравнению со спортсменами более низкой квалификации.
- 2) Спортсмены лёгких весовых категорий выполняют более глубокий подсед в фазе 6 по сравнению со спортсменами тяжёлых весовых категорий.
- 3) По мере накопления утомления в конце соревновательного времени глубина подседа увеличивается, а полнота выпрямления коленных суставов снижается.
- 4) Значения угла сгибания коленных суставов в фазе подседа отрицательно коррелируют с соревновательным результатом и импульсом силы.

Методами исследования являются биомеханический контроль технической подготовленности спортсменов, включающий видеосъёмку выполнения соревновательного упражнения и последующий анализ кинематических характеристик двигательных действий. В исследовании приняли участие 132 спортсмена, из них 8 заслуженных мастеров спорта, 28 мастеров спорта России международного класса, 34 мастера спорта России, 41 кандидат в мастера спорта и 21 спортсмен 1-го и 2-го спортивного разряда.

Видеосъёмка проводилась в ходе выступления спортсменов в официальных соревнованиях уровня чемпионата и Кубка России, Кубков Вооружённых Сил Российской Федерации и чемпионатов субъектов Российской Федерации (чемпионат Санкт-Петербурга) по гиревому спорту. Для видеосъёмки применена видеокамера SONY ALPHA A7C, в режиме замедления частота кадров составила 120 кадров в секунду при разрешении 720p. Точка съёмки находилась сбоку от спортсмена на высоте центра масс и на удалении от него на 5 метров, при смешанном освещении: естественный солнечный свет и штатное



электрическое освещение спортивного зала, что соответствует техническим условиям для проведения видеосъёмки [6].

Анализ видеосъёмки с определением цифровых показателей кинематических характеристик двигательных действий проведён в программе KINOVEA версии 2025.2.0.0, получившей широкое применение в различных видах спорта и отражённой в работах С. В. Серова, Ф. Е. Захарова, А. А. Сагидуллина, И. А. Рубиновой, М. А. Самсонова, Л. Л. Ципина, К. В. Чернухина, Ю. Н. Котова, И. В. Петрачевой, К. Б. Ясина [7, 8, 9, 10, 11].

Характеристика выборки. Средний возраст обследованных спортсменов составил $24,6 \pm 3,8$ года (от 18 до 38 лет), средний стаж занятий гиревым спортом – $7,2 \pm 2,9$ года (от 2 до 15 лет). Распределение спортсменов по уровню спортивной квалификации представлено в таблице 1, по весовым категориям – в таблице 2.

Таблица 1: Распределение обследованных спортсменов по уровню спортивной квалификации
 Table 1: Distribution of the examined athletes by sports qualification level

Квалификация	Количество чел.	Доля, %
Заслуженный мастер спорта	8	6,1
Мастер спорта России международного класса	28	21,2
Мастер спорта России	34	25,8
Кандидат в мастера спорта	41	31,1
1-й и 2-й спортивный разряд	21	15,9
Всего	132	100

Таблица 2: Распределение обследованных спортсменов по весовым категориям
 Table 2: Distribution of the examined athletes by weight categories

Весовая категория, кг	Количество чел.	Доля, %
до 63	18	13,6
68	22	16,7
73	26	19,7
78	21	15,9
85	20	15,2
95	15	11,4
свыше 95	10	7,6
Всего	132	100

Процедура измерения. Разметка контрольных точек (тазобедренный, коленный, голеностопный суставы) выполнялась в программе KINOVEA вручную на каждом десятом кадре видеозаписи с последующей линейной интерполяцией промежуточных значений. Угол сгибания коленного сустава определялся как угол между линиями «тазобедренный сустав – коленный сустав» и «коленный сустав – голеностопный сустав». Для каждого спортсмена анализировалось по пять полных циклов упражнения (по одному циклу из начала, середины и конца соревновательного времени, а также два дополнительных цикла из середины попытки), всего было проанализировано 660 полных циклов. Систематическая погрешность метода, определённая по результатам повторной разметки контрольных точек



на 30 случайно отобранных кадрах, составила $\pm 0,5^\circ$; внутриоператорская надёжность повторной разметки характеризовалась коэффициентом внутриклассовой корреляции $ICC=0,98$ (95% ДИ 0,96–0,99). Оценка надёжности результатов между двумя независимыми операторами на 20 случайно отобранных циклах показала $ICC=0,95$ (95% ДИ 0,92–0,97).

Статистический анализ. Проверка нормальности распределения была выполнена с помощью критерия Шапиро–Уилка. Поскольку распределение значений угла в ряде фаз отличалось от нормального, для сравнения групп использовался непараметрический критерий Краскела–Уоллиса (H) с последующими попарными сравнениями по критерию Данна, для оценки динамики углов в пределах попытки – критерий Уилкоксона для связанных выборок, для оценки взаимосвязи угловых параметров с соревновательным результатом – коэффициент ранговой корреляции Спирмена (r_s). Статистически значимыми считались различия при $p < 0,05$. Обработка данных была выполнена в программе STATISTICA 12.0.

Полученные в результате исследования результаты могут быть применены в системе педагогического контроля спортивной подготовки, что в свою очередь, по мнению П. Ф. Ежова, способствует повышению эффективности управления тренировочным процессом [12]. В совокупности с контролем функциональной подготовки, анализ биомеханических характеристик может быть применим в качестве элемента комплексного контроля спортивной подготовки [13, 14, 15].

Результаты исследования

В результате обработки видеозаписей разработана фазовая структура упражнения и предложены наименования отдельных двигательных фаз (рис. 1). Для всей выборки спортсменов (660 проанализированных циклов) получены количественные значения угла сгибания коленного сустава во всех десяти фазах цикла.

Средние значения угла сгибания коленного сустава в ключевых фазах цикла у спортсменов различного уровня спортивной подготовленности представлены в таблице 3. Рассматривали три группы спортсменов: высококвалифицированные (заслуженные мастера спорта и мастера спорта международного класса, $n=36$), квалифицированные (мастера спорта России, $n=34$) и менее квалифицированные (кандидаты в мастера спорта и спортсмены 1–2 разрядов, $n=62$).

Таблица 3: Средние значения угла сгибания коленного сустава (градусы, $M \pm SD$) в ключевых фазах цикла у спортсменов различного уровня подготовленности
Table 3: Mean values of the knee joint flexion angle (degrees, $M \pm SD$) in key phases of the cycle in athletes of different fitness levels

Фаза цикла	Высококвал.	Квалифицир.	Менее квал.	N	p
Фаза 2 (подсед)	118,5 $\pm$ 6,2	124,3 $\pm$ 7,1	131,2 $\pm$ 8,4	18,7	<0,001
Фаза 4 (подсед под гири)	116,8 $\pm$ 5,9	122,1 $\pm$ 6,8	128,4 $\pm$ 7,9	15,3	<0,001
Фаза 6 (сброс на грудь)	121,4 $\pm$ 7,3	126,8 $\pm$ 8,2	133,5 $\pm$ 9,1	14,2	<0,01
Фаза 9 (заброс, нижняя точка)	143,2 $\pm$ 6,8	138,5 $\pm$ 7,2	132,1 $\pm$ 7,8	11,6	<0,01

Установлены статистически значимые различия между группами по всем анализируемым фазам (критерий Краскела–Уоллиса). Попарные сравнения (критерий Данна) показали, что во всех ключевых фазах выталкивания (фазы 2 и 4) спортсмены более



высокой квалификации характеризуются меньшей глубиной подседа ($p < 0,01$), тогда как в фазе заброса (фаза 9) у них, напротив, зафиксирован больший угол сгибания в нижней точке, отражающий более глубокое прокачивание ($p < 0,05$).

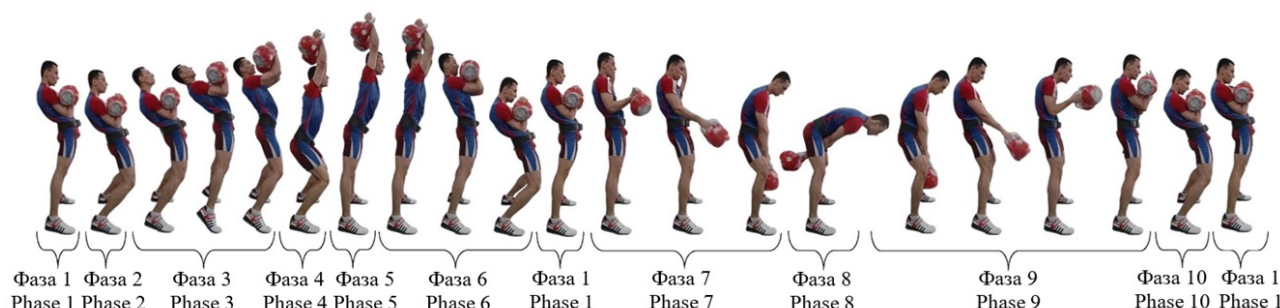


Рис. 1: Фазовый состав толчка двух гирь по длинному циклу
Fig. 1: Phase composition of kettlebell push over a long cycle

Примечание: фаза 1 – удержание гирь в положении на груди; фаза 2 – подсед, колени сгибаются, таз перемещается вперёд и вниз; фаза 3 – выталкивание, движение тазом вверх, с последующим уходом в полуприсед и выпрямлением рук; фаза 4 – вставание из подседа, выпрямление ног, гири над головой, руки выпрямлены; фаза 5 – фиксация, отсутствие движений спортсмена при положении гирь над головой, руки и ноги выпрямлены; фаза 6 – сброс гирь на грудь, движение гирь вниз на грудь и амортизирующий подсед после постановки гирь на грудь; фаза 7 – сброс гирь в замах, гири движутся вперёд и вниз, колени незначительно сгибаются; фаза 8 – замах, туловище наклонено вперёд, гири отведены назад, колени выпрямлены; фаза 9 – заброс, движение гирь вверх для постановки на грудь; фаза 10 – постановка гирь на грудь с амортизирующим подседом.

Note: Phase 1 – holding the kettlebells against the chest; Phase 2 – squat: the knees bend, the pelvis moves forward and down; Phase 3 – push-off: moving the pelvis up, followed by lowering into a half-squat and straightening the arms; Phase 4 – rising from the squat: straightening the legs, kettlebells above the head, arms straightened; Phase 5 – fixation: no movement of the athlete with the kettlebells above the head, arms and legs straightened; Phase 6 – dropping the kettlebells to the chest: moving the kettlebells down and a shock-absorbing squat after placing them on the chest; Phase 7 – dropping the kettlebells into the swing: the kettlebells move forward and down, the knees bend slightly; Phase 8 – swing: the torso is tilted forward, the kettlebells are pulled back, the knees are straightened; Phase 9 – clean: the kettlebells move up to be placed on the chest; Phase 10 – placing the kettlebells on the chest with a shock-absorbing squat.

Значения угла сгибания коленных суставов в фазе 6 (сброс гирь на грудь) коррелируют с весоростовыми характеристиками спортсмена: у спортсменов лёгких весовых категорий (до 63 кг) среднее значение угла в фазе 6 составило $128,6 \pm 8,1^\circ$, у спортсменов средних весовых категорий (73–85 кг) – $125,4 \pm 7,6^\circ$, у спортсменов тяжёлых весовых категорий (свыше 95 кг) – $119,2 \pm 6,9^\circ$ ($H=12,8$; $p < 0,01$). Таким образом, чем меньше собственный вес спортсмена, тем глубже был подсед в фазе сброса гирь.

Анализ динамики угла сгибания коленного сустава в пределах соревновательной попытки показал, что по мере накопления утомления глубина подседа в фазе 2 увеличивается: в первую минуту соревновательного времени среднее значение угла составило $126,4 \pm 7,8^\circ$, в последнюю минуту – $131,9 \pm 8,6^\circ$ (критерий Уилкоксона, $p < 0,05$). Одновременно снижалась полнота выпрямления коленных суставов в фазе 5 (фиксация): угол уменьшался со $177,1 \pm 2,3^\circ$ в начале попытки до $172,8 \pm 3,1^\circ$ в её конце ($p < 0,05$).



Результаты корреляционного анализа взаимосвязи угловых параметров с соревновательным результатом представлены в таблице 4.

Таблица 4: Корреляция угла сгибания коленного сустава в фазе 2 с показателями соревновательного результата

Table 4: Correlation of the knee joint flexion angle in Phase 2 with competitive performance indicators

Показатель	r_s	p	Интерпретация
Количество подъёмов	-0,52	<0,001	умеренная отрицательная
Темп выполнения, подъёмов/мин	-0,47	<0,001	умеренная отрицательная
Импульс силы, кгм/с	-0,44	<0,001	умеренная отрицательная
Время выталкивания, мс	0,51	<0,001	умеренная положительная

Выявленные корреляции свидетельствуют о том, что меньшая глубина подседа в фазе выталкивания сопряжена с более высоким соревновательным результатом, большим темпом выполнения и большим значением импульса силы. Примеры индивидуальных графиков изменения угла сгибания коленного сустава у спортсменов различного уровня подготовленности и весовых категорий представлены на рисунках 2–12.

Обсуждение результатов исследования

Установленные различия значений угла сгибания коленного сустава в фазах выталкивания между спортсменами различного уровня подготовленности согласуются с данными В. Ф. Тихонова [2, 3] о значимости кинематических характеристик при оценке техники выполнения упражнения «толчок двух гирь по длинному циклу» и дополняют их количественными значениями угловых параметров. Меньшая глубина подседа у спортсменов более высокой квалификации в фазах 2 и 4, по-видимому, отражает более рациональную организацию двигательных действий: сокращение пути перемещения центра масс гирь снижает энергетическую стоимость подъёма и позволяет поддерживать более высокий темп выполнения упражнения, что согласуется с представленным далее соотношением для импульса силы (формула 1). Полученная умеренная отрицательная корреляция угла в фазе подседа с количеством подъёмов и импульсом силы (r_s от -0,44 до -0,52; $p < 0,001$) подтверждает данную интерпретацию.

Выявленная зависимость глубины подседа в фазе 6 от весовой категории спортсмена объясняется необходимостью компенсации компрессионной нагрузки на позвоночник при постановке гирь на грудь: спортсмены лёгких весовых категорий, у которых собственная масса незначительно превышает массу двух снарядов, вынуждены выполнять более глубокий амортизирующий подсед. Аналогичные закономерности отмечены в исследованиях техники тяжелоатлетических упражнений [13], где глубина подседа также рассматривается как индивидуальный технический параметр, зависящий от антропометрических характеристик.

Обнаруженная динамика увеличения глубины подседа по мере накопления утомления (в конце соревновательного времени угол в фазе 2 увеличился в среднем на 5,5°; $p < 0,05$) имеет важное практическое значение: она указывает на снижение эффективности работы мышц ног при накоплении утомления и может служить ранним маркером ухудшения



техники выполнения упражнения. Снижение полноты выпрямления коленных суставов в фазе фиксации (со $177,1^\circ$ до $172,8^\circ$; $p < 0,05$) свидетельствует о нарастании утомления мышц-разгибателей бедра и согласуется с данными о кумулятивном эффекте двигательных ошибок при многократном повторении циклического упражнения [1, 12].

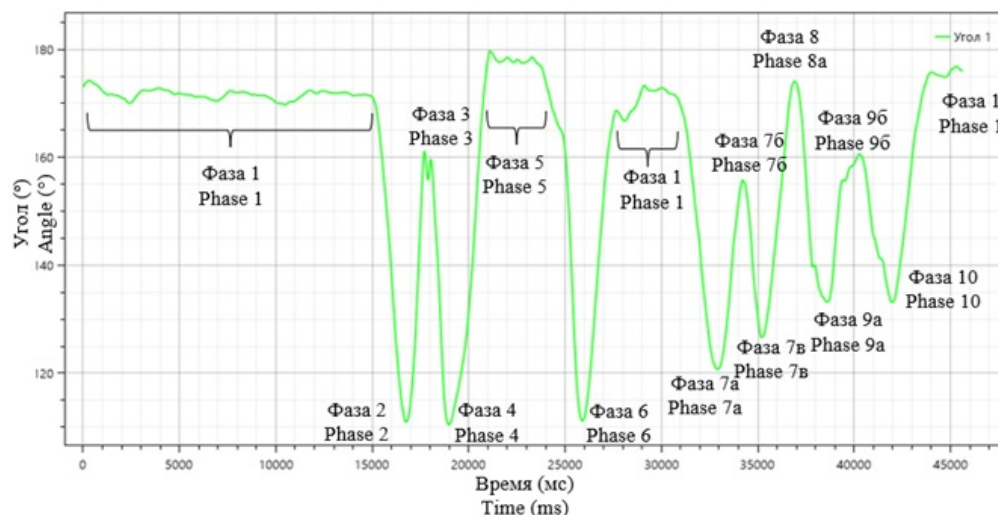


Рис. 2: Динамика изменения угла сгибания коленного сустава при выполнении спортсменом толчка гирь по длинному циклу

Fig. 2: The dynamics of changes in the angle of flexion of the knee joint when an athlete pushes weights over a long cycle



Рис. 3: Значение угла сгибания коленного сустава в фазе 1

Fig. 3: The value of the knee joint flexion angle in Phase 1

При проведении исследования внимание уделялось не только значению угла сгибания коленного сустава в отдельных фазах или положениях, но и времени изменения



угла у спортсменов различного уровня подготовленности и весовых категорий. На рис. 2 представлен график изменения угла сгибания коленных суставов при выполнении полного цикла толчка двух гирь 32 кг по длинному циклу в исполнении кандидата в мастера спорта весовой категории 73 кг. Фаза 1 является исходным положением, которое спортсмен принимает перед выталкиванием гирь.

Положение коленного сустава в фазе 1 показано на рис. 3. Продолжительность фазы 1 в зависимости от уровня подготовленности спортсмена составляет от нескольких миллисекунд до десятков секунд. В соответствии с представленным выше графиком на рис. 2 продолжительность фазы 1 составляет 15000 мс, что соответствует 15 сек. По итогам наблюдения за выполнением упражнения высококвалифицированными спортсменами оптимальное значение угла коленного сустава в данной фазе составляет $175^{\circ} \pm 4,2^{\circ}$. Следовательно, если спортсмен, удерживая гири на груди, значительно сгибает коленные суставы и значение угла становится меньше среднегруппового, то это приводит к перенапряжению прямой и медиальной широкой мышцы бедра. Данная ошибка не является грубой, однако имеет кумулятивный эффект и при многократном повторении снижает эффективность работы ног при выталкивании гирь в фазе 3.



Рис. 4: Углы сгибания коленных суставов в фазах 2 и 3. Слева: фаза 2 – подсед с гирями на груди; справа: фаза 3 – выталкивание

Fig. 4: Knee joint flexion angles in Phases 2 and 3. Left: Phase 2 – squatting with the kettlebells on the chest; Right: Phase 3 – push-off

Выполняя толчок двух гирь, спортсмен переходит к следующей двигательной фазе – фазе 2 – и совершает подсед, сгибая коленные суставы; при этом угол сгибания обеспечивает энергичное выталкивание гирь в фазе 3. Углы сгибания коленных суставов в фазах 2 и 3 представлены на рис. 4.

Значение угла сгибания коленного сустава в фазе 2 различается в зависимости от уровня спортивной подготовленности и весовой категории спортсмена, что соответствует результатам ранее проведенных исследований [16]. Вместе с тем продолжительность



выпрямления ног при переходе из фазы 2 в фазу 3 соответствует времени выталкивания гири (рис. 4) у спортсменов различного уровня подготовленности.

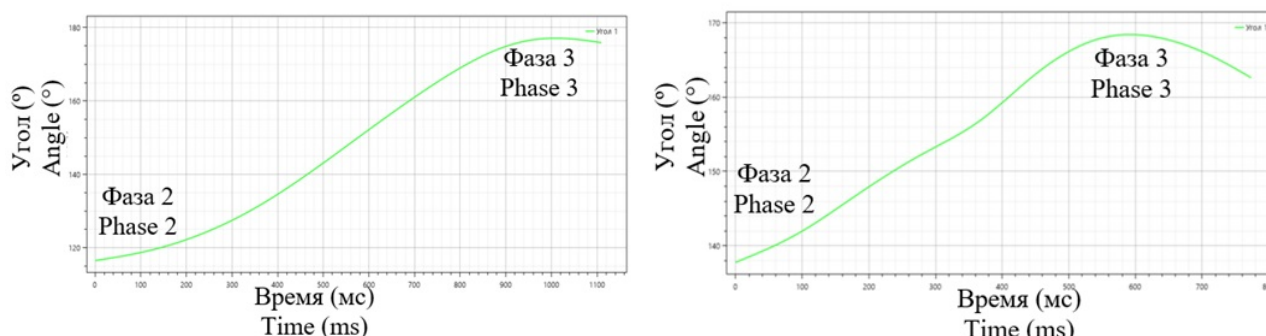


Рис. 5: Динамика изменения значения угла коленного сустава в фазах 2 и 3 у спортсменов различного уровня подготовленности. Слева – уровень подготовки «кандидат в мастера спорта»; справа – уровень подготовки «заслуженный мастер спорта»

Fig. 5: Dynamics of changes in the knee joint angle in Phases 2 and 3 in athletes of different qualification levels. Left: Candidate Master of Sports level; Right: Honoured Master of Sports level

Так, для кандидата в мастера спорта время выталкивания составляет 1000 мс, что соответствует 1 сек, а для заслуженного мастера спорта – 580 мс, что соответствует 0,58 сек (рис. 5). Таким образом, принимая во внимание, что масса снаряда и расстояние, на которое перемещается снаряд, являются величинами постоянными, чем меньше время подъема, тем выше значение импульса силы:

$$P = \frac{m \cdot s}{t}, \text{ кгм/с} \quad (1)$$

где m – вес гири, s – расстояние, на которое выполняется подъем гири (м), t – время, затрачиваемое на подъем гири.

Исследования показывают, что чем выше уровень спортивной подготовленности спортсмена, тем импульс силы больше. Для высококвалифицированных спортсменов среднее значение импульса составляет $84,4 \pm 3,4$ кгм/с. Дополнительным критерием, характеризующим уровень подготовленности, является сохранение значения импульса силы на протяжении всего соревновательного времени.

Вместе с тем, чем выше значение импульса силы, тем меньше угол сгибания коленных суставов в фазе 4, и спортсмен не совершает глубокий «подсед под гири», так что время вставания с гирями до полного выпрямления коленных суставов в фазе 5 сокращается. Углы сгибания коленных суставов в фазах 4 и 5 представлены на рис. 6.

Согласованные действия спортсмена в фазах 2, 3, 4 и 5 имеют решающее значение, так как недостаточное либо чрезмерное сгибание коленных суставов приводит к дополнительному силовому взаимодействию на снаряд и переутомлению.

В фазе 6 спортсмен выполняет сброс гири на грудь и последующий амортизирующий подсед с целью компенсации компрессионной нагрузки на позвоночник. Угол сгибания коленных суставов коррелирует с весоростовыми характеристиками спортсмена: чем меньше собственный вес спортсмена, тем глубже он выполняет подсед. Угол сгибания коленных суставов в фазе 6 в исполнении спортсменов различных весовых категорий представлен на рис. 7.



Рис. 6: Углы сгибания коленных суставов в фазах 4 и 5. Слева: фаза 4 – подсед под гири; справа: фаза 5 – фиксация
Fig. 6: Knee joint flexion angles in Phases 4 and 5. Left: Phase 4 – squatting under the kettlebells; Right: Phase 5 – fixation



Рис. 7: Углы сгибания коленных суставов в фазе 6 спортсменами различных весовых категорий. Слева: весовая категория спортсмена 63 кг; справа: весовая категория спортсмена свыше 95 кг
Fig. 7: Knee joint flexion angles in Phase 6 in athletes of different weight categories. Left: athlete of the 63 kg weight category; Right: athlete of the over 95 kg weight category



Рис. 8: Значение угла сгибания коленного сустава в фазе 1 перед сбросом гирь в замахах
Fig. 8: Knee joint flexion angle in Phase 1 before dropping the kettlebells into the swing

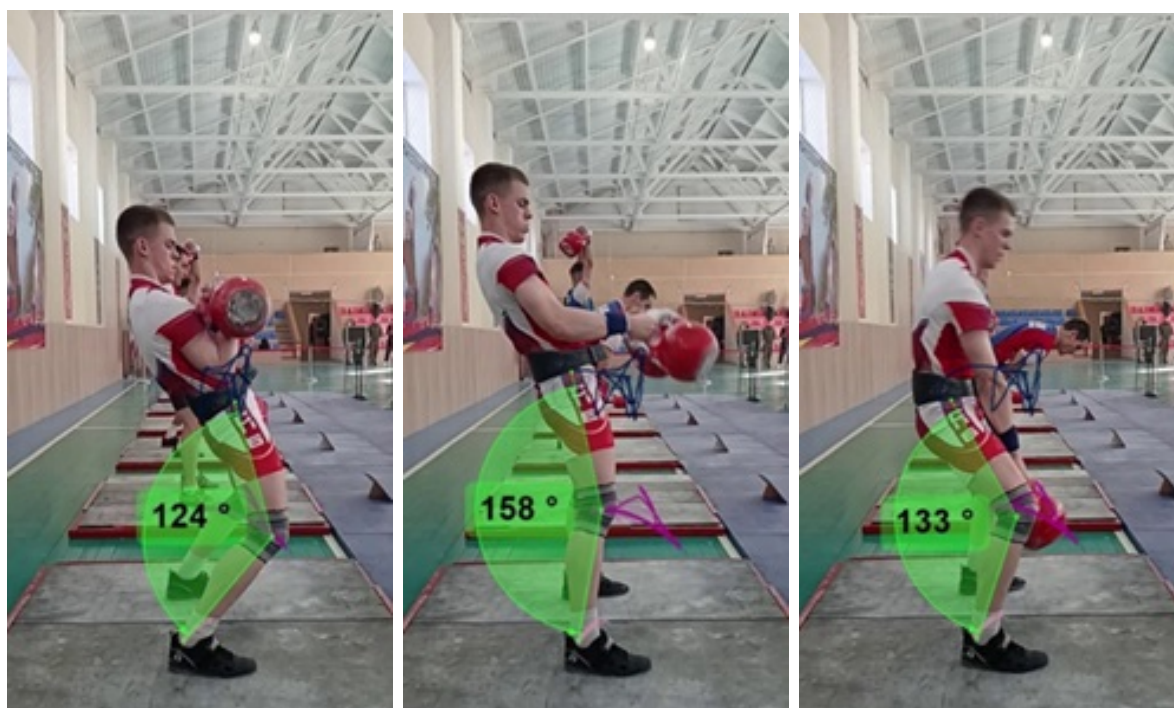


Рис. 9: Динамика изменения угла сгибания коленного сустава в фазе 7. Слева: фаза 7а – сброс гирь (подсед); в центре: фаза 7б – сброс гирь; справа: фаза 7в – сброс гирь (прокачивание)
Fig. 9: Dynamics of knee joint flexion angle change in Phase 7. Left: Phase 7a – weight loss (squat); Center: Phase 7b – weight reset; Right: Phase 7b – weight relief (pumping)



После сброса гирь на грудь спортсмен выпрямляет коленные суставы и принимает исходное положение для последующего сброса гирь вниз (фаза 1). Остановка движения частей тела в данной фазе не является обязательной, но при этом спортсмен может зафиксировать положение тела для кратковременного отдыха перед сбросом гирь вниз. Увеличение времени удержания гирь на груди способствует снижению темпа выполнения упражнения; в свою очередь, темп связан с уровнем подготовленности спортсмена. В этой связи важно удерживать гири с выпрямленными коленными суставами. Угол сгибания коленных суставов в фазе 1 перед сбросом гирь в замахах представлен на рис. 8.

При выполнении последующего сброса гирь вниз (фаза 7) спортсмен выполняет движение, в котором задействованы ноги и туловище, так как гири движутся не вертикально вниз, а по сложной траектории (рис. 9). В начале фазы для снижения центра масс гирь спортсмен выполняет незначительный подсед (рис. 9 слева) и тем самым снижает значение потенциальной энергии в начале прокачивания. В нижней точке подседа спортсмен отталкивает гири от груди вперёд-вниз и энергично выпрямляет коленные суставы (рис. 9 в центре) с целью плавного выпрямления локтевых суставов и исключения ударной нагрузки на предплечье и кисти рук. Прокачивая гири, спортсмен опять сгибает коленные суставы, при этом максимальное значение угла сгибания достигается в нижней точке прокачивания (рис. 9 справа).



Рис. 10: Угол сгибания коленного сустава в фазе 8. Слева: фаза 8 – замах; справа: фаза 8 – замах на фоне усталости

Fig. 10: Knee joint flexion angle in Phase 8. Left: Phase 8 – swing; Right: Phase 8 – swing under fatigue

Следует отметить, что значение угла может зависеть от нескольких условий, таких как уровень спортивной подготовленности, весовая категория и степень накапливаемой усталости. Спортсмены более тяжёлых весовых категорий не допускают глубокого подседа



в нижней точке фазы 7. Также неглубокий подсед совершают и высококвалифицированные спортсмены, однако по мере накопления усталости угол сгибания коленного сустава может увеличиваться. В таком случае в следующей фазе 8 коленные суставы выпрямляются не полностью (рис. 10, справа).

Согнутые колени вызывают перенапряжение мышц ног, а в отдельных случаях способствуют сокращению амплитуды отведения гирь назад, и тем самым точка максимального отведения гирь приближается к нижней точке прокачивания, так что спортсмен вынужден прикладывать большее усилие для заброса гирь на грудь в фазе 9. Совершая заброс, спортсмен выполняет энергичное выпрямление ног, придавая импульс гирям и направляя их движение вперёд и вверх; значения углов сгибания коленных суставов представлены на рис. 11.

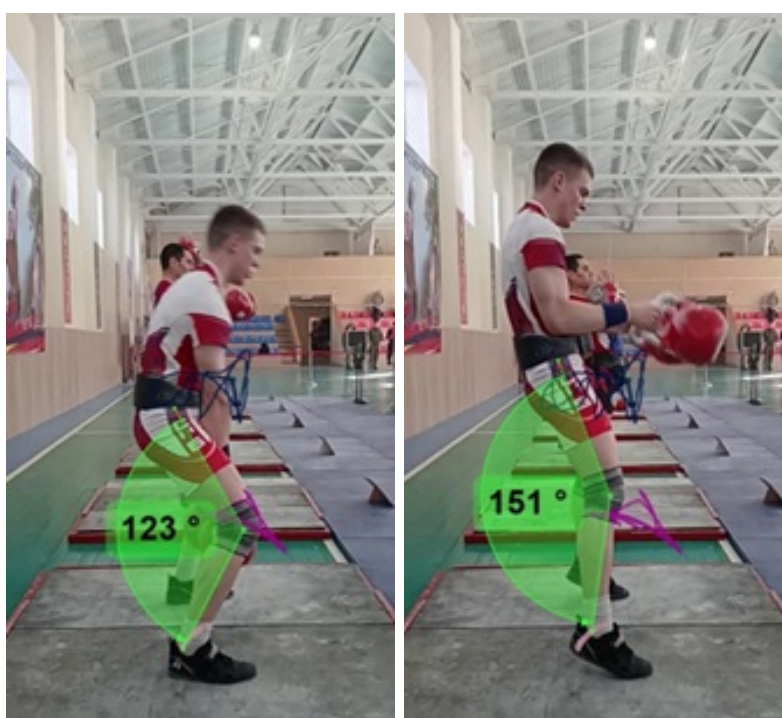


Рис. 11: Изменение угла сгибания коленного сустава в фазе 9. Слева: фаза 9а – заброс (прокачивание); справа: фаза 9б – заброс (подрыв)

Fig. 11: Changing the angle of flexion of the knee joint in Phase 9. Left: Phase 9a – casting (pumping); Right: Phase 9b – casting (detonation)

Угол сгибания коленных суставов в нижней точке фазы 9 (прокачивание) имеет важное значение (рис. 11 слева) и коррелирует с уровнем подготовленности спортсменов и весовой категорией. При этом излишнее сгибание коленных суставов является следствием более глубокого приседа перед забросом и проявлением нерациональной работы ног. Недостаточный угол сгибания приводит к снижению импульса силы при забросе и, как следствие, к приложению дополнительных усилий двуглавых мышц плеча и мышц спины. Помимо значения угла сгибания коленных суставов дополнительным критерием оценки эффективности выполнения заброса гирь на грудь является значение импульса силы в конечном положении заброса гирь (рис. 11 справа): чем выше уровень спортивной подготовленности, тем выше значение импульса силы. При этом основное усилие осуществляется посредством энергичного выпрямления спортсменом коленных суставов; гири



направляются вверх по дуге, вытянутой в вертикальной плоскости.

В конечной точке траектории движение гирь останавливается, и спортсмен выполняет подсед (рис. 12 слева). Глубина подседа обеспечивает постановку гирь на грудь без дополнительных усилий руками. Угол сгибания коленных суставов различается в зависимости от уровня спортивной подготовленности спортсмена и весовой категории. У спортсменов тяжёлых весовых категорий значение угла сгибания коленных суставов меньше, чем у спортсменов лёгких весовых категорий (рис. 12 справа).

Различие значений углов сгибания коленных суставов в данной фазе позволяет выявить отличительные особенности техники выполнения упражнения спортсменами разных весовых категорий. Гиревики тяжёлых весовых категорий выполняют заброс, используя преимущество собственного веса, что позволяет минимизировать амплитуду движений, но при этом поднимать гири на большую высоту. Представители лёгких весовых категорий, у которых собственный вес равен либо незначительно превышает вес двух снарядов, вынуждены формировать такие технические приёмы, которые позволяют минимизировать прикладываемое к снаряду усилие и более рационально использовать энергию движущегося снаряда.



Рис. 12: Угол сгибания коленных суставов в фазе 10 в исполнении спортсменов различных весовых категорий. Слева: весовая категория спортсмена 73 кг; справа: весовая категория спортсмена свыше 95 кг

Fig. 12: Knee joint flexion angles in Phase 10 in athletes of different weight categories. Left: athlete of the 73 kg weight category; Right: athlete of the over 95 kg weight category

В соответствии с полученными временными характеристиками в исполнении кандидата в мастера спорта (рис. 2) продолжительность одного цикла толчка по длинному циклу составляет 11000 мс, что соответствует 11 секундам, или 5 подъёмам в минуту. Вместе с тем следует отметить, что для спортсменов тяжёлых весовых категорий и высокого уровня спортивной подготовленности темп выполнения упражнения может составлять 10–11 подъёмов в минуту.



Выводы

Значение угла сгибания коленных суставов является информативной кинематической характеристикой, позволяющей анализировать двигательные действия, совершаемые спортсменом в ходе выполнения соревновательного упражнения. Время изменения угла сгибания коленного сустава в различных двигательных фазах характеризует скоростные показатели отдельных двигательных действий и упражнения в целом, что в свою очередь имеет решающее значение при определении ритмо-темповых характеристик выполнения циклического упражнения. Предлагаемые критерии оценки кинематических характеристик двигательных действий с применением программы KINOVEA являются эффективным инструментом биомеханического контроля технической подготовки гиревиков на всех этапах спортивной подготовки, а также для определения модельных характеристик спортсменов различных весовых категорий.

Заключение

Теоретическая значимость исследования состоит в расширении представлений о кинематической структуре соревновательного упражнения «толчок двух гирь по длинному циклу»: получены количественные характеристики угла сгибания коленного сустава во всех десяти фазах цикла, установлены статистически значимые различия угловых параметров между спортсменами различного уровня подготовленности (N от 11,6 до 18,7; $p < 0,01$) и весовых категорий ($N = 12,8$; $p < 0,01$), выявлена динамика изменения углов по мере накопления утомления в пределах соревновательной попытки ($p < 0,05$), а также установлена корреляция угловых параметров с соревновательным результатом, темпом выполнения и импульсом силы (r_s от $-0,44$ до $-0,52$; $p < 0,001$). Полученные данные дополняют результаты ранее проведённых исследований [2, 3, 13] количественными значениями угловых характеристик и могут быть использованы при построении модельных характеристик техники выполнения упражнения.

Практическая значимость исследования заключается в возможности применения установленных закономерностей в системе педагогического контроля спортивной подготовки [12] и при разработке автоматизированных систем поддержки тренировочного процесса. На основании выявленных паттернов изменения угла сгибания коленного сустава в пределах цикла возможна разработка алгоритма автоматического распознавания фаз движения: характерные минимумы и максимумы угловой кривой в фазах подседа, выталкивания, фиксации и сброса позволяют выделять границы фаз без ручной разметки, что существенно сокращает трудоёмкость анализа.

Полученные количественные критерии (значения угла в ключевых фазах, скорость его изменения, динамика по мере утомления) могут быть положены в основу классификатора технических ошибок: превышение пороговых значений глубины подседа в фазе 2, недостаточное выпрямление коленных суставов в фазе 5 и увеличение глубины подседа в конце попытки могут автоматически идентифицироваться как признаки нерациональной техники, нарастающего утомления либо повышенного риска травматизации коленного сустава.

В перспективе полученные результаты могут быть встроены в автоматические системы поддержки тренировки, функционирующие на основе анализа видеозаписи в режиме реального времени: алгоритм распознавания фаз и классификатор технических ошибок позволят тренеру получать оперативную объективную информацию о кинематических ха-



рактических двигательных действий спортсмена непосредственно в ходе тренировочного занятия, что повысит эффективность управления тренировочным процессом.

Список литературы / References

1. Виноградов Г.П., Виноградов И.Г. Атлетизм: теория и методика, технология спортивной тренировки: учебник по направлению подготовки 49.03.01 - Физическая культура (квалификация "Бакалавр"). Москва: Спорт, 2017. 406 с. EDN YMGFOD

Vinogradov G.P., Vinogradov I.G. Athleticism: Theory, Methodology and Technology of Sports Training: Textbook for the Field of Study 49.03.01 - Physical Education (Bachelor's Degree), Moscow: Sport, 2017, 406 p. (in Russ.)

2. Тихонов В.Ф. Биомеханический анализ критериев техники упражнения гиревого спорта "толчок двух гирь по длинному циклу" // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 5. С. 226–231. EDN PERVLL

Tikhonov V.F. Biomechanical analysis of criteria for the technique of kettlebell lifting exercises "pushing two weights in a long cycle" // Modern Science-Intensive Technologies. 2021, (5), pp. 226–231 (in Russ.)

3. Тихонов В.Ф. Особенности формирования дыхательных циклов в упражнении гиревого спорта "толчок двух гирь по длинному циклу" // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 6-1. С. 203-208. EDN PRDFYA

Tikhonov V.F. Features of the formation of respiratory cycles in the kettlebell lifting exercise "pushing two weights in a long cycle" // Modern Science-Intensive Technologies. 2021, (6-1), pp. 203–208 (in Russ.)

4. Официальный сайт Всероссийской федерации гиревого спорта. URL: <https://vfgs.ru/docs/protokoly/>

Official website of the All-Russian Kettlebell Sport Federation. URL: <https://vfgs.ru/docs/protokoly/> (in Russ.)

5. Гришаев Н.В., Талибов А.Х. К вопросу о формировании спортивных дисциплин гиревого спорта // Спорт, человек, здоровье : материалы XII Международного научного конгресса, посвященного 300-летию юбилею Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург, 16–18 апреля 2025 года. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет, 2025. С. 259–260. EDN EHYKAV

Grishaev N.V., Talibov A.Kh. On the formation of sports disciplines of kettlebell lifting // Sport, Man, Health : Proceedings of the XII International Scientific Congress dedicated to the 300th anniversary of St. Petersburg State University, St. Petersburg, April 16-18, 2025. Saint Petersburg: Saint Petersburg State University, 2025, pp. 259–260. (in Russ.)

6. Самсонов М.А. Рекомендации по методике видеосъёмки для корректной обработки характеристик спортивных движений человека с использованием программы Kinovea // Труды кафедры биомеханики университета им. П.Ф. Лесгафта. 2023. № 17. С. 46–54. EDN MDZBSJ

Samsonov M.A. Recommendations on the methodology of video recording for the correct processing of the characteristics of human sports movements using the Kinovea program. *Proceedings of the Department of Biomechanics at the P.F. Lesgaft University*, 2023, (17), pp. 46–54. (in Russ.)

7. Ципин Л.Л., Захаров Ф.Е., Самсонов М.А., Чернухин К.В. Кинематические характеристики движения легкоатлетов-спринтеров при различных вариантах выхода со старта // Успехи гуманитарных наук. 2024. № 11. С. 195–201. EDN UGWQNB

Tsipin L.L., Zakharov F.E., Samsonov M.A., Chernukhin K.V. Kinematic Characteristics of Sprint



Athletes' Movement in Different Starting Positions. *Advances in the Humanities*, 2024, (11), pp. 195–201. (in Russ.)

8. Котов Ю.Н., Петрачева И.В., Ясин К.Б. Контроль технической подготовленности гандболистов на основе анализа угловых параметров техники выполнения бросков в прыжке // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2022. № 3 (205). С. 216–222. EDN SOQMLW

Kotov Yu.N., Petracheva I.V., Yasin K.B. Control of technical preparedness of handball players based on the analysis of angular parameters of the technique of performing throws in a jump. *Uchenye Zapiski Universiteta im. P.F. Lesgafta*, 2022, 3 (205), pp. 216–222. (in Russ.)

9. Лавшук Д.А. Количественный биомеханический анализ технических действий спортсменов с использованием компьютерной программы Kinovea // Физическая культура, спорт, здоровый образ жизни в XXI веке : сборник научных статей Международной научно-практической конференции, Могилев, 17–18 декабря 2020 года. 2021. С. 88–91. EDN LMYYYQA

Lavshuk D.A. Quantitative biomechanical analysis of athletes' technical actions using the Kinovea computer program. In: *Physical Culture, Sports, and a Healthy Lifestyle in the 21st Century: Collection of scientific articles from the International Scientific and Practical Conference, Mogilev, December 17-18, 2020*. Mogilev, 2021, pp. 88–91. (in Russ.)

10. Серов С.В. Использование программы KINOVEA в курсе "Спортивная биомеханика" // Труды кафедры биомеханики университета им. П.Ф. Лесгафта. 2022. № 16. С. 56–60. EDN XSOSGR

Serov S.V. Using the KINOVEA program in the course "Sports Biomechanics". *Proceedings of the Department of Biomechanics at the Lesgaft National State University of Physical Education, Sport and Health*, 2022, (16), pp. 56–60. (in Russ.)

11. Серов С.В., Захаров Ф.Е., Сагидуллин А.А., Рубинова И.А., Самсонов М.А. Сравнение значений ускорения звена спортсмена, полученных с помощью системы Delsys Trigno и программы Kinovea // Труды кафедры биомеханики университета им. П.Ф. Лесгафта. 2024. № 18. С. 59–64. EDN CUHLBL

Serov S.V., Zakharov F.E., Sagidullin A.A., Rubinova I.A., Samsonov M.A. Comparison of the values of the athlete's link acceleration obtained using the Delsys Trigno system and the Kinovea program. *Proceedings of the Department of Biomechanics at the Lesgaft National State University of Physical Education, Sport and Health*, 2024, (18), pp. 59–64. (in Russ.)

12. Ежов П.Ф., Зайцев А.А. Педагогический контроль как основа управления подготовкой квалифицированных спортсменов // Современные тенденции развития науки и технологий. 2015. № 7-5. С. 124–127. EDN UZIMDL

Ezhov P.F., Zaitsev A.A. Pedagogical control as a basis for managing the training of qualified athletes. *Modern Trends in the Development of Science and Technology*, 2015, (7-5), pp. 124–127. (in Russ.)

13. Дьяченко Н.А., Заев П.И., Зверев В.Д., Талибов А.Х., Федяев О.С. Анализ техники выполнения классических упражнений в тяжелой атлетике на основе биомеханического контроля // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2009. № 8(54). С. 46–50. EDN KXGOTH

Dyachenko N.A., Zaev P.I., Zverev V.D., Talibov A.Kh., Fedyaev O.S. Analysis of the Technique of Performing Classical Exercises in Weightlifting Based on Biomechanical Control. *Uchenye Zapiski Universiteta im. P.F. Lesgafta*, 2009, 8 (54), pp. 46–50 (in Russ.)

14. Виноградов Г.П., Талибов А.Х., Зверев В.Д., Сурков А.Н. Вопрос организации текущего контроля тренировочного процесса в гиревом спорте // Научно-педагогические школы Университета. 2020. № 5. С. 78–89. EDN JOELBC

Vinogradov G.P., Talibov A.Kh., Zverev V.D., Surkov A.N. The issue of organizing current control of the training process in kettlebell sport. *Scientific and Pedagogical Schools of the University*, 2020, (5), pp. 78–89. (in Russ.)

15. Талибов А.Х. Индивидуализация тренировочной нагрузки тяжелоатлетов высокой квалификации на основе комплексного контроля : учебное пособие. Санкт-Петербург, 2010. 76 с. EDN



VNQEVJ

Talibov A.Kh. Individualization of Training Load for Highly Qualified Weightlifters Based on Comprehensive Control: A Study Guide. St. Petersburg, 2010, 76 p. (in Russ.)

16. Гришаев Н.В. Комплексный контроль в системе спортивной подготовки высококвалифицированных спортсменов-гиревиков : диссертация на соискание ученой степени кандидата педагогических наук / Гришаев Николай Валерьевич. Санкт-Петербург, 2023. 215 с. EDN OHJAMR

Grishaev N.V. Comprehensive Control in the System of Sports Training for Highly Qualified Kettlebell Lifters: PhD thesis for the Degree of Candidate of Pedagogical Sciences / Grishaev Nikolai Valerievich. St. Petersburg, 2023, 215 p. (in Russ.)

Информация об авторе / Information about the author

Гришаев Николай Валерьевич – кандидат педагогических наук, Военный учебно-научный центр Военно-Морского Флота «Военно-морская академия им. Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова» (197045, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, Ушаковская набережная, д. 17/1) / *Nikolay Grishaev* – Candidate of Pedagogical Sciences, Military Training and Scientific Center of the Navy “Naval Academy named after Admiral of the Fleet of the Soviet Union N.G. Kuznetsov” (17/1 Ushakovskaya Embankment, St. Petersburg, 197045, Russian Federation); niksport80@mail.ru; ORCID: 0000-0003-4091-1944.

Цитирование / Citation

Гришаев Н.В. Оценка некоторых характеристик двигательных действий упражнения «толчок двух гирь по длинному циклу» на основании биомеханического контроля // Российский журнал информационных технологий в спорте. 2026. Т. 3, № 3. e202613. <https://doi.org/10.62105/2949-6349-2026-3-3-e202613> EDN IAZZGM

Grishaev N.V. Assessment of some characteristics of the motor actions of the exercise “pushing two weights in a long cycle” based on biomechanical control. *Russian Journal of Information Technology in Sports*, 2026, 3(3), e202613. (in Russ.) <https://doi.org/10.62105/2949-6349-2026-3-3-e202613> EDN IAZZGM

Получено/Received: 06.07.2026

Одобрено/Accepted: 10.09.2026

Опубликовано/Published: 19.09.2026

Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 International
This work is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International

