

УДК 796.012.46

БИОМЕХАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КРИТЕРИЕВ ТЕХНИКИ УПРАЖНЕНИЯ ГИРЕВОГО СПОРТА «ТОЛЧОК ДВУХ ГИРЬ ПО ДЛИННОМУ ЦИКЛУ»**Тихонов В.Ф.***ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»,
Чебоксары, e-mail: letterpa@mail.ru*

На современном этапе развития гиревого спорта в условиях пандемии широко применяется дистанционный метод обучения и тренировки спортсменов. Недостатком этого метода являются трудности создания у обучаемых спортсменов динамического стереотипа двигательных действий в упражнениях с гирями. Недостатки видеоматериалов и словесного воздействия для точного представления двигательного образа вызывают необходимость использования недорогих специальных электронных устройств. Целью работы является биомеханический анализ критериев техники упражнения гиревого спорта «толчок двух гирь по длинному циклу» (ДЦ). На основе видеоматериалов всероссийских и международных соревнований, измерений биомеханических показателей тензодинамометрии, акселерометрии и гониометрии у ведущих спортсменов-гиревиков России ($n = 27$) были определены некоторые критерии техники указанного упражнения. Были проведены комплексный анализ техники ДЦ на основе материалов видеосъемки, показателей вертикальной реакции опоры ($R(t)_{vert}$), вертикальной составляющей ускорения туловища ($a(t)_{vert}$), а также регистрации угла сгибания коленного сустава ($\alpha(t)_{kj}$). Качество техники выполнения упражнения оценивалось по следующим критериям: 1) в подседе снижение $R(t)_{vert}$ до 0 Н; 2) оптимальные значения импульса силы в фазах начала «сброса» гирь от груди вниз; 3) снижение $R(t)_{vert}$ в конце фазы «замаха», перед маятниковым движением гирь вперед; 4) высота «заброса» гирь на грудь. Результаты исследования показали возможность оценки техники упражнения по первому, второму и четвертому критериям с помощью акселерометра (смартфона со встроенным инерционным датчиком). Однако техника упражнения по третьему критерию может быть оценена только с помощью тензоплатформы.

Ключевые слова: гиревой спорт, упражнение «длинный цикл», тензоплатформа, акселерометрия, критерии техники

BIOMECHANICAL ANALYSIS OF THE CRITERIA FOR THE TECHNIQUE OF THE KETTLEBELL LIFTS «JERK OF TWO KETTLEBELLS ON A LONG CYCLE»**Tikhonov V.F.***Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Chuvash State University named after I.N. Ulyanov», Cheboksary, e-mail: letterpa@mail.ru*

At the present stage of the development of kettlebell lifting in the context of the pandemic, the remote method of athletes studying and training is widely used. The disadvantage of this method is the difficulty of creating a dynamic stereotype of motor actions in exercises with kettlebells in trained athletes. The disadvantages of video materials and verbal influence for the accurate representation of the motor image cause the need to use inexpensive special electronic devices. The aim of the work is a biomechanical analysis of the criteria for the technique of the kettlebell lifts «jerk of two kettlebells on a long cycle» (LC). On the basis of video materials of all-Russian and international competitions, measurements of biomechanical parameters of tensodynamometry, accelerometry and goniometry in the leading kettlebell lifters of Russia ($n = 27$), some technique criteria of this exercise were determined. A comprehensive analysis of the LC technique was carried out on the basis of video footage, indicators of the ground reaction force ($R(t)_{vert}$), the vertical component of the acceleration of the trunk ($a(t)_{vert}$), as well as the registration of the angle of flexion of the knee joint ($\alpha(t)_{kj}$). The quality of the exercise technique was evaluated according to the following criteria: 1) in the «Second dip» the decrease in $R(t)_{vert}$ to 0 N; 2) the optimal values of the force pulse in the phases of the beginning of the «Drop into swing» the kettlebells from the chest; 3) the decrease in $R(t)_{vert}$ at the end of the «Back swing Max» phase, before the pendulum movement of the kettlebells forward; 4) the height of «Clean» kettlebells on the chest. The results of the study showed the possibility of evaluating the exercise technique according to the first, second and fourth criteria using an accelerometer (a smartphone with a built-in inertial sensor). However, the technique of the exercise according to the third criterion can only be evaluated using the force platform.

Keywords: kettlebell lifting, competitive exercise «long cycle», force platform, accelerometry, technique criteria

Процесс обучения спортивным соревновательным упражнениям и тренировкам в них всегда связывается с характерной кинематикой и динамикой двигательных действий, которая отражается в технике двигательных действий в этих упражнениях [1, 2]. Во всех учебниках по биомеханике указывается на необходимость создания у спортсменов динамического двигательного стереотипа, характерного для того или иного

упражнения. Однако для наглядного представления кинематики и динамики двигательных действий требуются измерения пространственно-временных показателей, показателей силы, ускорения [3, 4]. Упражнения гиревого спорта, согласно правилам соревнований, выполняются в течение 10 минут, и циклы упражнения отличаются стабильностью кинематики и динамики движений [5]. В упражнении «толчок двух

гирь по длинному циклу» (ДЦ) каждый цикл упражнения повторяется несколько десятков раз (в зависимости от весовой категории более 60–100 раз). В отличие от двоеборья (упражнения «толчок» и «рывок»), ДЦ является отдельным соревновательным упражнением, что подчеркивает необходимость серьезной физической, технической и функциональной подготовки спортсменов-гиревиков. В настоящее время в России и во многих зарубежных странах широко распространен метод дистанционного обучения и тренировки спортсменов-гиревиков. Например, известный зарубежный спортсмен Erik Hofman-Bang делится через Интернет своими видеофрагментами упражнения. Однако из видеофрагментов упражнения трудно извлечь информацию о динамике двигательных действий спортсмена. Более полное представление об уровне техники этого же спортсмена складывается из совместного анализа показателей вертикальной составляющей реакции опоры ($R(t)_{\text{верт}}$) и расчетных показателей ускорения и силы (по видеозаписи), возникающей в кинематических звеньях и при движении самой гири [6]. Следует отметить, что современные технологии позволяют непосредственно измерять ускорение кинематических звеньев и движения туловища и с высокой точностью получать временные и ритмические показатели двигательных действий. В случае преимущественно вертикальных движений туловища метод тензодинамометрии можно заменить методом акселерометрии [7, 8]. В тренировочной деятельности еще более простым и доступным методом для измерения ускорения и угловых перемещений туловища и кинематических звеньев является применение смартфона со встроенным инерционным датчиком [9]. Для этого необходимо установить одну из доступных программ, например Physics Toolbox Accelerometer.

Целью исследования является биомеханический анализ критериев техники упражнения гиревого спорта «толчок двух гирь по длинному циклу» с использованием методов тензодинамометрии, акселерометрии и видеосъемки.

Материалы и методы исследования

В исследовании приняли участие 27 ведущих спортсменов-гиревиков мастеров спорта (МС), мастеров спорта России международного класса (МСМК), а также 5 кандидатов в мастера спорта (КМС) различных весовых категорий. На основе видеоматериалов всероссийских и международных соревнований, измерений биомеханических показателей тензодинамометрии, акселерометрии и гониометрии были определены некоторые критерии техники указанного упражнения. Видеосъемки проводились с помощью цифровой видеокамеры со скоростью съемки 25 кадров/с. На тензоплатформе регистрировались сигналы вертикальной составляющей реакции опоры ($R(t)_{\text{верт}}$). С помощью акселерометра, закрепленного на пояснице испытуемого, регистрировались сигналы вертикальной составляющей ускорения туловища ($a(t)_{\text{верт}}$) во время выполнения упражнения. Для регистрации угла сгибания коленного сустава ($\alpha(t)_{\text{кс}}$) использовался гониометр. Указанные сигналы регистрировались с частотой 2 Гц. В начале исследования были проведены синхронные измерения показателей $R(t)_{\text{верт}}$ и $\alpha(t)_{\text{кс}}$ (рис. 1).

По примеру обозначения зубцов на электрокардиограмме пиковые изменения значений $R(t)_{\text{верт}}$ и интервалов между ними во времени обозначены буквами латинского алфавита a, b, c, ...o. Следует отметить, что общепринятого порядка обозначения зубцов и интервалов на графиках $R(t)_{\text{верт}}$, $a(t)_{\text{верт}}$ и $\alpha(t)_{\text{кс}}$ в гиревом спорте пока нет.

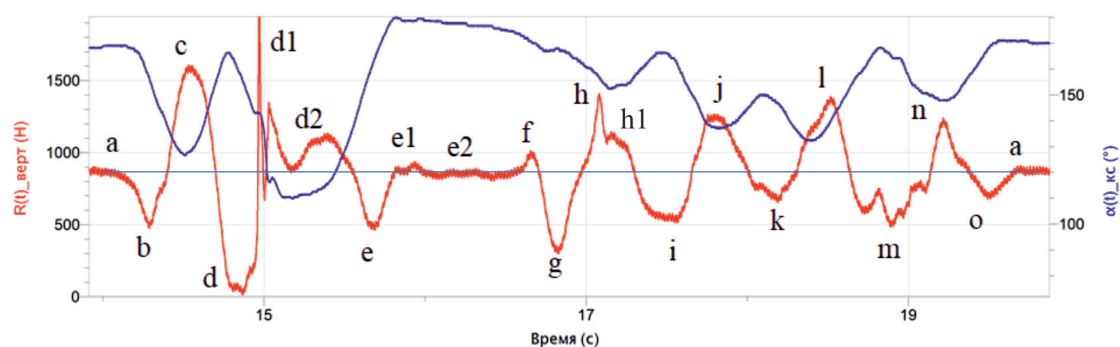


Рис. 1. Синхронные измерения показателей вертикальной составляющей реакции опоры $R(t)_{\text{верт}}$ и угла сгибания коленного сустава $\alpha(t)_{\text{кс}}$ в упражнении «толчок двух гирь по длинному циклу» МС С-ва

На рис. 1 представлены результаты выполнения упражнения МС С-вым, масса тела спортсмена 64 кг, масса 2 гирь – 24 кг. На уровне линии, проведенной через интервалы «а» – «е2» – «а» начала и конца одного цикла упражнения (рис. 1), $R(t)_{\text{верт}}$ равна весу системы «спортсмен – гири». Вес системы «спортсмен – гири» в статических позах «а», «е2», «а» равняется $R(t)_{\text{верт}} = (64 \text{ кг} + 24 \text{ кг}) * 9,8 \text{ м/с}^2 = 862,4 \text{ Н}$ (Ньютон). Однако динамический вес системы «спортсмен – гири» изменяется вследствие спада и нарастания усилий во время упражнения, например от 0 Н (зубец «d») до 2000 Н (зубец «d1») (рис. 1).

По видеозаписям выступлений на соревнованиях одного из сильнейших в России и мире спортсмена-гиревика С. Меркулина были изготовлены видеограммы техники упражнения ДЦ (рис. 2). Углы $\alpha(t)_{\text{кс}}$ на рис. 1 сопоставляли с углами в коленном суставе на рис. 2, при этом отдельные видеок cadры подписывали буквами, соответствующими буквам на рис. 1.

Основными материалами исследования являются графики синхронных показателей $R(t)_{\text{верт}}$ и $a(t)_{\text{верт}}$ (рис. 3А, 3В, 3С) и фрагменты видеосъемок (рис. 4А, 4В), полученные при выполнении упражнения спортсменами-гиревиками различной квалификации. Качество техники выполнения упражнения оценивалось по следующим критериям: 1) в начале подседа снижение $R(t)_{\text{верт}}$ до 0 Н (зубец «d»); 2) оптимальные значения импульса силы в фазах начала «сброса» гирь от груди вниз (зубец «h1»

на рис. 3А); 3) снижение $R(t)_{\text{верт}}$ в конце фазы «замаха», перед маятниковым движением гирь вперед (зубец «k»); 4) изменение высоты «заброса» гирь на грудь на интервале «m» – «n».

Результаты исследования и их обсуждение

В доступной научной литературе и в интернет-ресурсах был найден всего один источник о динамических показателях в упражнении ДЦ, где приводится график вертикальной реакции опоры [6].

На рис. 3 представлены графики синхронных показателей $R(t)_{\text{верт}}$ и $a(t)_{\text{верт}}$ при выполнении упражнения КМС И-вым, масса тела спортсмена 80 кг, масса 2 гирь – 24 кг. Вес системы «спортсмен – гири» в статических позах «а», «е2», «а» равняется $R(t)_{\text{верт}} = (80 \text{ кг} + 24 \text{ кг}) * 9,8 \text{ м/с}^2 = 1019,2 \text{ Н}$ (Ньютон).

Первый критерий техники отражает способность гиревика, быстро выпрямляя руки в локтевых суставах, «уйти» на оптимальную глубину подседа. У спортсменов высокой квалификации динамический вес системы «спортсмен – гири» в этой фазе равен нулю (амплитуда зубца «d» равна нулю, рис. 1). Однако новички и некоторые спортсмены КМС подсед выполняют замедленно, с небольшой глубиной. Такой способ требует избыточного напряжения рук и даже нарушения правил – жима гирь руками. В нашем примере (рис. 3А, 3В, 3С) показано отсутствие у испытуемого навыка выполнения подседа.

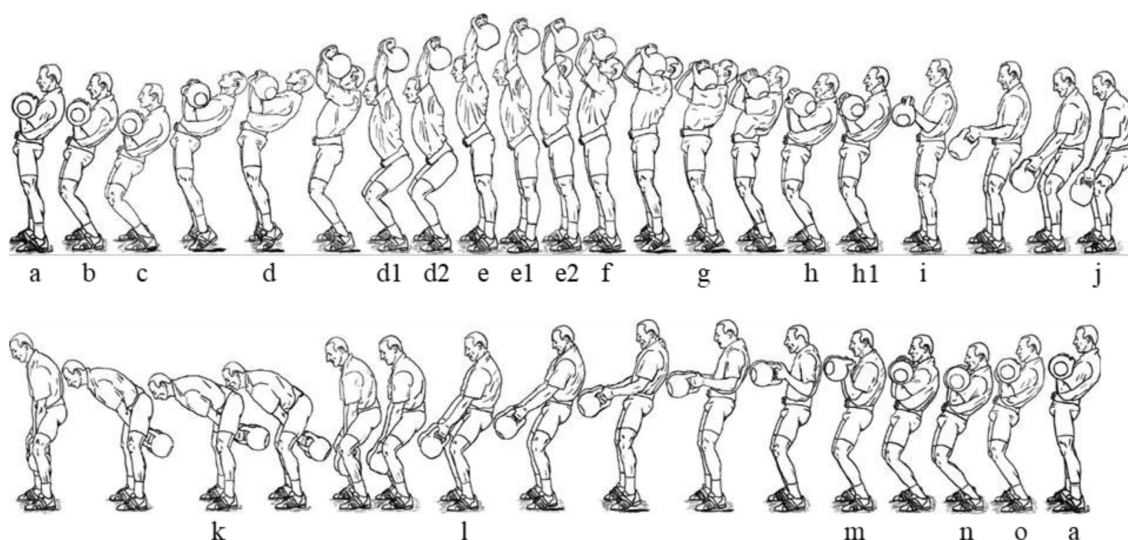


Рис. 2. Видеограммы техники упражнения «толчок двух гирь по длинному циклу» ЗМС С.В. Меркулина

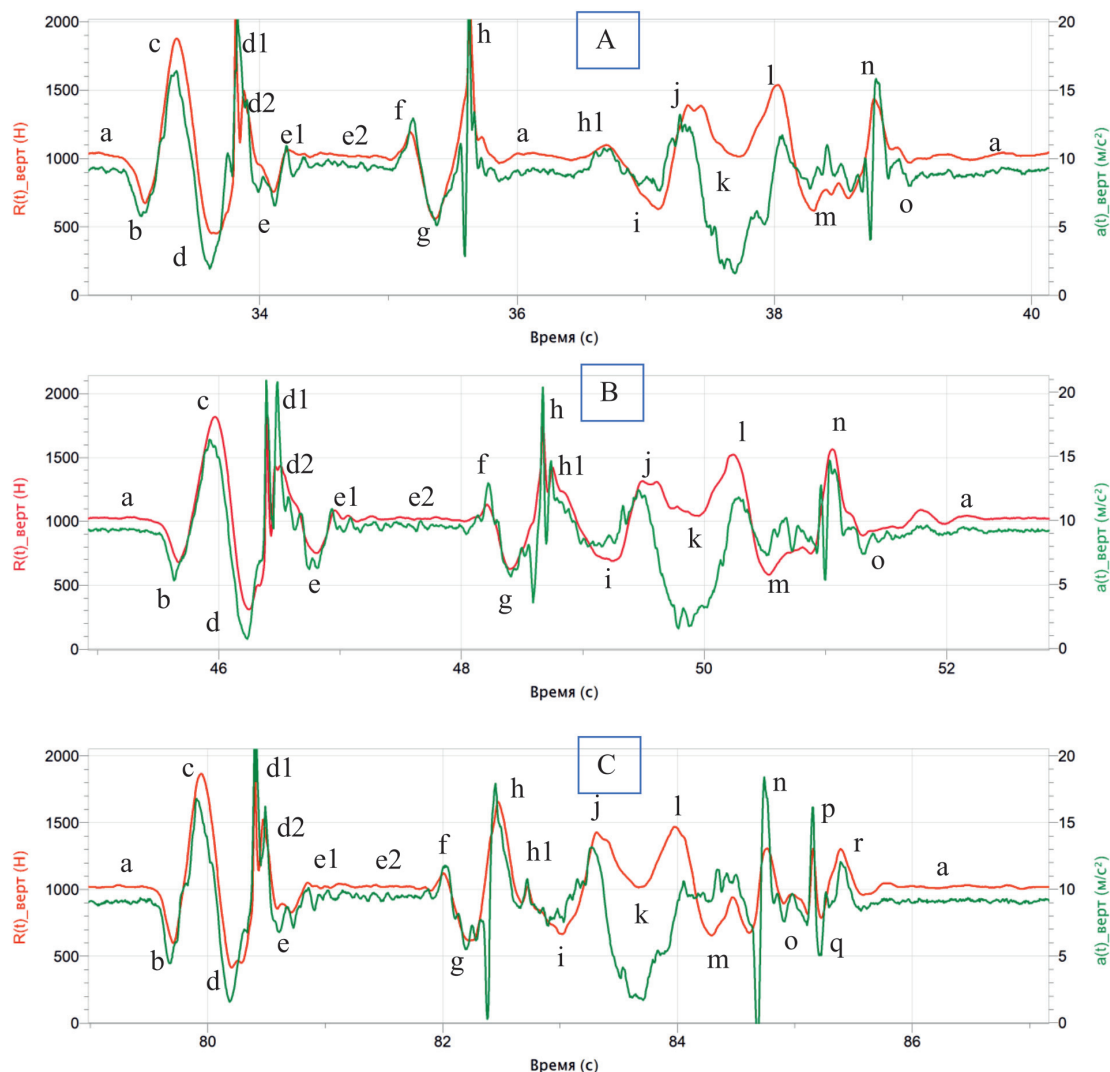


Рис. 3. Синхронные измерения показателей вертикальной составляющей реакции опоры $R(t)$ и вертикальной составляющей ускорения туловища $a(t)$ в упражнении ДЦ КМС II-ва (масса атлета – 80 кг, масса 2 гири – 24 кг): А – с остановкой в статической позе «а» после опускания гири на грудь; В – без остановки в статической позе «а» после опускания гири на грудь; С – с избыточными движениями после «заброса» гири на грудь «р», «q», «r»

Второй критерий отражает способность спортсмена выполнить «сброс» гири в «замах» без избыточных затрат силы в начале фазы движения гири в направлении «от спортсмена вниз». Трудность заключается в сложной координации движения гири вперед и компенсаторного движения тела спортсмена назад. Например, из графика вертикальной реакции опоры Erik Hofman-Bang [6] следует, что испытуемый перед «сбросом» гири в замахе отталкивает гири от себя. Именно на такое движение указывают амплитуда вертикальной составляющей реакции опоры (75% от $R(t)$ верт) и ее продолжительность – зубец «Drop into swing» [6]. Импульс этой силы можно опре-

делить исходя из произведения $F(t) \cdot \Delta t$, т.е. по площади, ограниченной функцией реакции опоры и временным интервалом начала и конца действия силы [8]. Даже визуально импульс этой силы по своему значению сопоставим с импульсами силы при амортизации движения гири вниз (зубец «Back swing Apex») и при подрыве гири вверх после замаха (зубец «Front swing Apex») [6]. На рисунке 3А после задержки спортсмена в статическом положении «а» также имеется зубец «h1» (25% от $R(t)$ верт), который, как и в предыдущем примере, снижает экономичность движений. В других случаях (рис. 1, 3В и 3С) зубцы «h», «h1», «i» плавно переходят друг в друга.

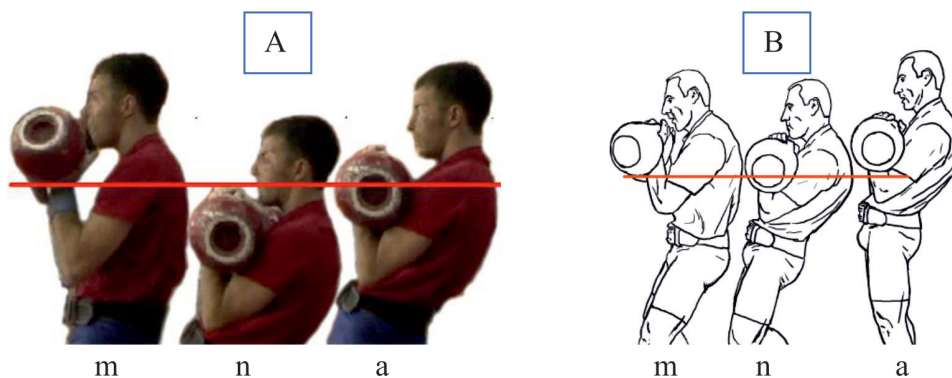


Рис. 4. Изменение высоты «заброса» гирь на грудь на интервале $t - a$ у спортсменов различной квалификации: А – МС Б-ов, В – ЗМС С.В. Меркулин

Третий критерий отражает наличие фазы свободного движения (полета) гирь в конце фазы «замаха» перед маятниковым движением гирь вперед. При этом зубец «к» будет снижаться ниже уровня линии веса системы «спортсмен – гири» (рис. 1). Уменьшение веса системы указывает на уменьшение веса отдельных частей этой системы, в том числе веса гирь на подвесе рук. При этом возможно на какое-то мгновение выключение напряжения мышц кистей и рук. На рис. 1 этот интервал времени равен 0,322 мс, а снижение зубца «к» – до 670 Н. Выше было показано вычисление статического веса системы «спортсмен – гири» – 862,4 Н. В конце «замаха» движение частей тела спортсмена останавливается, движение (начало падения) совершает только гиря. Следовательно, разность статического и динамического веса системы показывает, насколько уменьшился вес гирь в руках спортсмена (как на подвесе), – 192,4 Н. Вычисляя вес гирь в Ньютонах ($24 \text{ кг} \cdot 9,8 \text{ м/с}^2 = 235,2 \text{ Н}$), можно узнать разность изменения веса гирь на подвесе, т.е. в руках спортсмена ($235,2 - 192,4 = 42,8 \text{ Н}$). Эта величина равняется 4,4 кг (поскольку $42,8 \text{ Н} / 9,8 \text{ м/с}^2 = 4,4 \text{ кг}$) вместо 24 кг! Но у спортсменов низкой квалификации снижения зубца «к» ниже линии статического веса системы «спортсмен – гири» часто не наблюдается (рис. 3). Следовательно, после амортизации движения гирь вниз, после зубца «к», напряжение мышц кистей и рук у испытуемого снижается незначительно.

Четвертый критерий позволяет оценить эффективность «заброса» гирь на грудь. На рис. 4 показано изменение высоты «заброса» гирь на грудь на интервале « t » – « a » у спортсменов различной квалификации. В данном двигательном действии избыточные движения в вертикальном направлении снижают его эффективность (та-

блица). Известна формула потенциальной энергии $E_{\text{пот}} = m \cdot g \cdot H$, где m – масса тела (кг), g – ускорение свободного падения (м/с^2), H – высота (м).

Изменение высоты «заброса» гирь на грудь

Высота перемещения гирь	H « m » (см)	H « n » (см)	H « a » (см)
Б-ов	0	$-26 \pm 0,25$	$-2 \pm 0,25$
Меркулин	0	$-8 \pm 0,25$	$+2 \pm 0,25$

В качестве коэффициента эффективности в нашем исследовании можно принять высоту H для кадра « n ». Тогда «заброс» С.В. Меркулина будет эффективнее в 3,25 раза, чем у Б-ва ($26 \text{ см} / 8 \text{ см} = 3,25$).

Заключение

Графики $R(t)_{\text{верт}}$ и $a(t)_{\text{верт}}$ (рис. 1, 3) показывают почти полное соответствие формы характерных зубцов по амплитуде и во времени, кроме зубца «к», амплитуда которого зависит от угла наклона туловища вперед. Следовательно, для оценки качества техники двигательных действий в упражнении ДЦ по первому и второму критерию можно использовать недорогой акселерометр или смартфон с установленной соответствующей программой. «Уход» под гири в фазе приседа и сброс тяжелых гирь (64 кг) с груди в «замах» являются координационно сложными движениями и требуют применения специальных методов обучения. При нерациональной технике для сброса гирь от груди в «замах» может быть приложена сила, превышающая $R(t)_{\text{верт}}$ на величину от 25% до 75%, что значительно снижает экономичность двигательного действия. Было определено, что вес гирь на подвесе (в руках) в зависимости от квалификации спортсмена изменяется от значения статического веса гирь

до 0 Н. Однако оценка техники по третьему критерию представляется возможной только с помощью тензоплатформы. Четвертый критерий эффективности «заброса» гирь на грудь вычисляется с помощью определения разности высоты вертикального перемещения гирь в самой высокой точке полета гирь вверх после подрыва (кадр «m») и в конце фазы амортизации (кадр «n»). Высоту перемещения гирь можно определить по видеофрагментам данного двигательного действия. При рациональных двигательных действиях в упражнении ДЦ эффективность «заброса» может быть повышена более чем в 3 раза.

Список литературы

1. Ципин Л.Л., Кириллов С.А., Петров В.М., Беляев И.С. Современные тенденции методики и тренировки в гиревом спорте // Актуальные проблемы физической и специальной подготовки силовых структур. 2017. № 2. С. 65–71.
2. Ростовцев В.Л., Грушин А.А. Критерии, оценка и коррекция технического мастерства спортсменов в современных представлениях и технологиях // Вестник спортивной науки. 2020. № 6. С. 24–28.
3. Ципин Л.Л. Анализ статических положений при выполнении упражнений в гиревом спорте // Российский журнал биомеханики. 2017. № 2. С. 178–187.
4. Ross J.A., Keogh J.W.L., Wilson C.J., Lorenzen C. External kinetics of the kettlebell snatch in amateur lifters. Peer J. 2017. 5:e3111. DOI: 10.7717/peerj.3111.
5. Ципин Л.Л. К вопросу о стереотипности двигательных действий спортсменов // Труды кафедры биомеханики университета имени П.Ф. Лесгафта. 2018. № 1 (12). С. 44–47.
6. Hofman-Bang E., Salewski M., Adler A.T. Video tracking and force platform measurements of the kettlebell lifts long cycle and snatch. SN Appl. Sci. 2021. V. 3. Article 239. DOI: 10.1007/s42452-021-04220-4.
7. Тихонов В.Ф. Применение тензоплатформы и акселерометра в гиревом спорте при исследовании техники упражнения «толчок» // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 2. С. 214–218. DOI: 10.17513/snt.38521.
8. Тихонов В.Ф. Импульс силы и количество движения системы «спортсмен-гиря», как критерии техники в упражнении гиревого спорта «рывок» // Современные проблемы науки и образования. 2021. № 2. [Электронный ресурс]. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=30598> (дата обращения: 19.05.2021). DOI: 10.17513/spno.30598.
9. Мавлиев Ф.А., Пьянзин А.И., Альбшлави М.М., Кудяшев Н.Х., Зотова Ф.Р. Метрологическая оценка тренировочных и соревновательных упражнений тяжелоатлетов // Человек. Спорт. Медицина. 2020. Т. 20. № 4. С. 111–119. DOI: 10.14529/hsm200413.