

ИМПУЛЬС СИЛЫ И КОЛИЧЕСТВО ДВИЖЕНИЯ СИСТЕМЫ «СПОРТСМЕН – ГИРЯ» КАК КРИТЕРИИ ТЕХНИКИ В УПРАЖНЕНИИ ГИРЕВОГО СПОРТА «РЫВОК»

Тихонов В.Ф.

ФГБОУ ВО Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, Чебоксары, e-mail: letterpa@mail.ru

В комплекс «Готов к труду и обороне» (ГТО) включено упражнение «рывок гири 16 кг». Совершенствование техники двигательных действий в этом упражнении требует определения критериев техники. Целью исследования является определение динамических критериев техники в упражнении «рывок». В исследовании принимали участие 9 студентов 18–20 лет на протяжении 3 месяцев учебных занятий. Движение системы «спортсмен – гиря» можно охарактеризовать такими динамическими мерами движения системы, как полный импульс силы (S, N^*c) и количество движения ($Q, кг^*m/c$), которые теоретически должны быть равны в данной системе. В работе проводилось измерение вертикальной реакции опоры ($R(t)_{vert}, N$) с помощью тензоплатформы, а также вертикальной составляющей ускорения туловища ($a(t)_{vert}, m/c^2$) с помощью акселерометра. Испытуемые выполняли упражнение в течение 1 мин в произвольном темпе, стоя на тензоплатформе. Акселерометр закреплялся на поясице у испытуемого. Для определения показателей S вычислялась площадь под графиком $R(t)_{vert}$ (интеграл, N^*c) за время каждого цикла упражнения. Для определения показателей Q вычислялась площадь под графиком $a(t)_{vert}$ (интеграл, $m/c^2*c = m/c$) за время каждого цикла упражнения, полученное значение умножалось на массу системы «спортсмен – гиря». Реальные значения Q оказались меньше значений S . Разность этих значений зависит от степени наклона туловища у испытуемого в различных фазах упражнения, поскольку проекция вектора $a(t)_{vert}$ на ось, связанную с позвоночником, будет меньше, чем при вертикальном положении этой оси. Было обнаружено, что в ходе выполнения упражнения значения S и Q уменьшаются до определенного оптимального значения. В тренировочной практике значения S и Q можно принять как индивидуальный динамический критерий техники в упражнении «рывок» для каждого испытуемого.

Ключевые слова: ГТО, гиревой спорт, критерии техники, тензоплатформа, акселерометр, импульс силы, количество движения.

THE IMPULSE OF FORCE AND THE MOMENTUM OF THE «ATHLETE – KETTLEBELL» SYSTEM AS THE CRITERIAS OF TECHNIQUE IN THE EXERCISE OF KETTLEBELL LIFTING «SNATCH»

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

The complex «Ready for Labor and Defense» (GTO) includes the exercise «snatch of a kettlebell 16 kg». Improving the technique of motor actions in this exercise requires the determination of the criteria of the technique. The aim of the research is to determine the dynamic criteria of technique in the «snatch» exercise. The study involved 9 students 18–20 years old during three months of training. The movement of the «athlete – kettlebell» system can be characterized by such dynamic measures of the system's movement as the total impulse of force (S, N^*s) and the momentum ($Q, kg^*m/s$), which theoretically should be equal in this system. In this work, the vertical reaction of the support ($R(t)_{vert}, N$) was measured using a force plate, as well as the vertical component of the torso acceleration ($a(t)_{vert}, m/s^2$) using an accelerometer. The subjects performed the exercise for one minute at an arbitrary pace while standing on a force plate. The accelerometer was attached to the subject's lower back. To determine the S indices, the area under the graph $R(t)_{vert}$ (integral, N^*s) was calculated during each exercise cycle. To determine the Q indices, the area under the graph $a(t)_{vert}$ (integral, $m/s^2*s = m/s$) was also calculated for the time of each exercise cycle, and the resulting value was multiplied by the mass of the «athlete – kettlebell» system. The real Q values turned out to be less than the S values. The difference of these values depends on the degree of inclination of the body in the subject in different phases of the exercise, because the projection of the vector $a(t)_{vert}$ onto the axis associated with the spine will be less than in the vertical position of this axis. It was found that during exercise, the S and Q values decrease to a certain optimal value. In training practice, the S and Q values can be taken as an individual dynamic criterion of technique in the «snatch» exercise for each subject.

Keywords: «GTO», kettlebell lifting, criterion of technique, force plate, accelerometer, impulse of force, momentum.

В Нормативы испытаний (тестов) Всероссийского физкультурно-спортивного комплекса «Готов к труду и обороне» (ГТО) включено упражнение «рывок гири 16 кг». Гиревой спорт в России популярен с незапамятных времен. Также упражнения с гирями и соревнования по гиревому спорту становятся популярными во всем мире [1, 2]. Термин «Гиревой спорт» в зарубежных странах используется в двух вариантах: «Kettlebell Sport (KS)» и «Girevoy Sport (GS)». Многие зарубежные профессионалы в области силовой и физической подготовки рекомендуют использовать упражнения с гирями в качестве эффективного средства для повышения мышечной силы, мощности и максимального потребления кислорода [2]. Цель некоторых зарубежных исследований в упражнениях гиревого спорта состоит в том, чтобы количественно оценить показатели кардиореспираторной и сердечно-сосудистой систем. В первую очередь при выполнении упражнения «рывок» в высоком темпе оцениваются потребление кислорода и частота сердечных сокращений. Эти показатели сравниваются, например, с общепринятыми показателями максимальной нагрузки на гребном эргометре [3]. Область других зарубежных исследований касается анализа модельных антропометрических особенностей, функции физиологических систем и опорно-двигательного аппарата в гиревом спорте [4]. В современном гиревом спорте увеличивается количество научных и методических исследований по совершенствованию как методов тренировки спортсменов-гиревиков [5, 6], так и техники двигательных действий в соревновательных упражнениях [7]. Однако в процессе подготовки к выполнению норм ГТО не спортсменов, а обычных здоровых людей большие объемы физической нагрузки и высокая интенсивность выполнения упражнений недопустимы. Процесс подготовки в упражнении «рывок гири 16 кг», на наш взгляд, должен быть направлен на обучение и получение навыка выполнения упражнения в течение всего контрольного времени выполнения упражнения – 4 мин. Для этого обучаемым людям необходимо путем многих повторений получить навык в рациональной технике упражнения «рывок». Контроль двигательных действий в упражнении требует определения критериев рациональной техники.

Целью исследования является исследование динамических мер движения системы, таких как импульс силы ($S_{\text{верт}}, N \cdot c$) и количество движения ($Q_{\text{верт}}, кг \cdot м/с$), в проекции на вертикальную ось в качестве критериев техники в упражнении «рывок».

Материал и методы исследования. В исследовании принимали участие 9 студентов 18–20 лет на протяжении 3 месяцев учебных занятий. В работе проводилось измерение вертикальной реакции опоры ($R(t)_{\text{верт}}, N$) с помощью тензоплатформы, а также вертикальной составляющей ускорения туловища ($a(t)_{\text{верт}}, м/с^2$) с помощью акселерометра. Испытуемые выполняли упражнение в течение 1 мин в произвольном темпе, стоя на тензоплатформе. Датчик акселерометра укреплялся на пояснице у испытуемого с помощью

эластичного пояса. Датчики подключались к универсальному регистратору сигналов на основе микропроцессора ATmega328. Сигналы $R(t)_{верт}$ и $a(t)_{верт}$ передавались на компьютер через Bluetooth. Вычисления и анализ полученных данных проводились с помощью программы Logger Pro 3. Для наглядного представления отдельные фазы движения спортсмена (рис. 1) были обозначены буквами латинского алфавита: а – фиксация, b – поворот туловища для выведения гири вперед, с – опускание гири, d – перехват дужки гири, e – амортизация, f – замах назад, g – замах вперед, h – подрыв, i – перехват дужки гири, j – остановка гири. В соответствии с указанными фазами движения были обозначены характерные зубцы $R(t)_{верт}$ и $a(t)_{верт}$ (рис. 2).

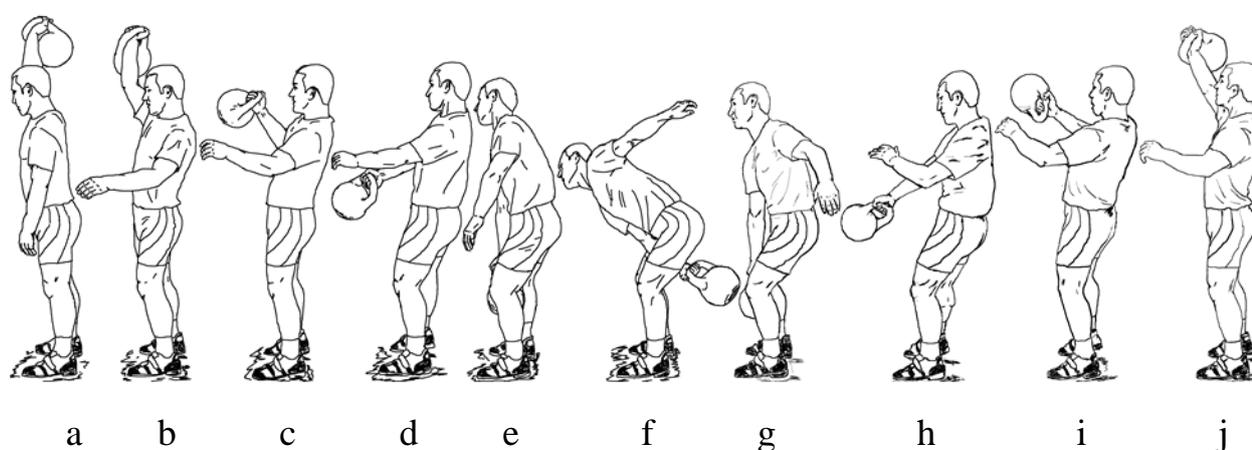


Рис. 1. Техника выполнения соревновательного упражнения «рывок» МСМК Д. Бенидзе (по видеосъемкам ЧР 2013 г.)

По графикам $R(t)_{верт}$ и $a(t)_{верт}$ у испытуемых выявлялись особенности техники выполнения упражнения (рис. 3). Движение системы «спортсмен – гиря» можно охарактеризовать такими динамическими мерами движения системы, как полный импульс силы ($S, N*c$) и количество движения ($Q, кг*m/c$), которые теоретически должны быть равны в данной системе. Для определения показателей « $S_{верт}$ » вычислялась площадь под графиком $R(t)_{верт}$ (интеграл, $N*c$) за время каждого цикла упражнения (рис. 4). Для определения показателей « $Q_{верт}$ » также вычислялась площадь под графиком $a(t)_{верт}$ (интеграл, $m/c^2*c = m/c$) за время каждого цикла упражнения, полученное значение умножалось на массу системы «спортсмен-гиря» (рис. 4).

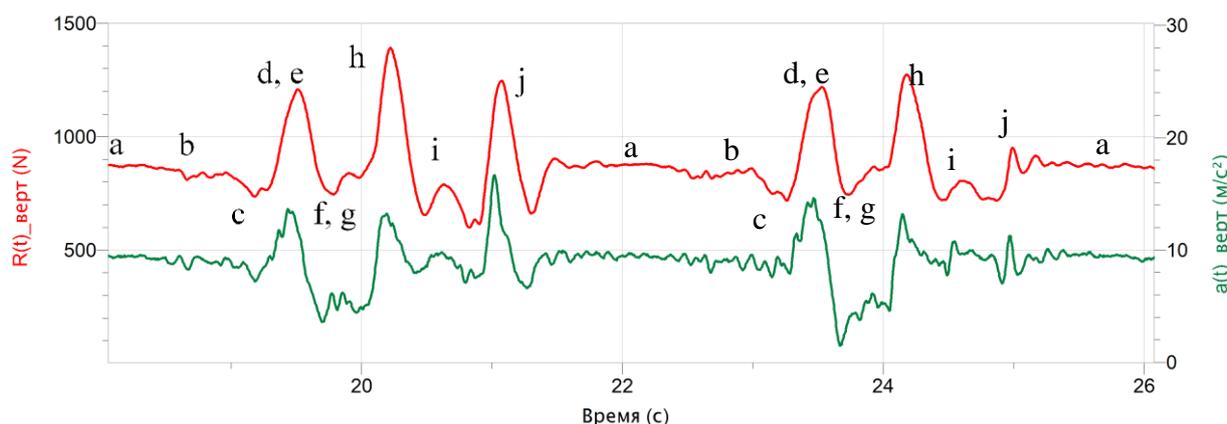


Рис. 2. Графики вертикальной составляющей реакции опоры $R(t)$ _верт и вертикальной составляющей движения туловища $a(t)$ _верт двух циклов упражнения «рывок»

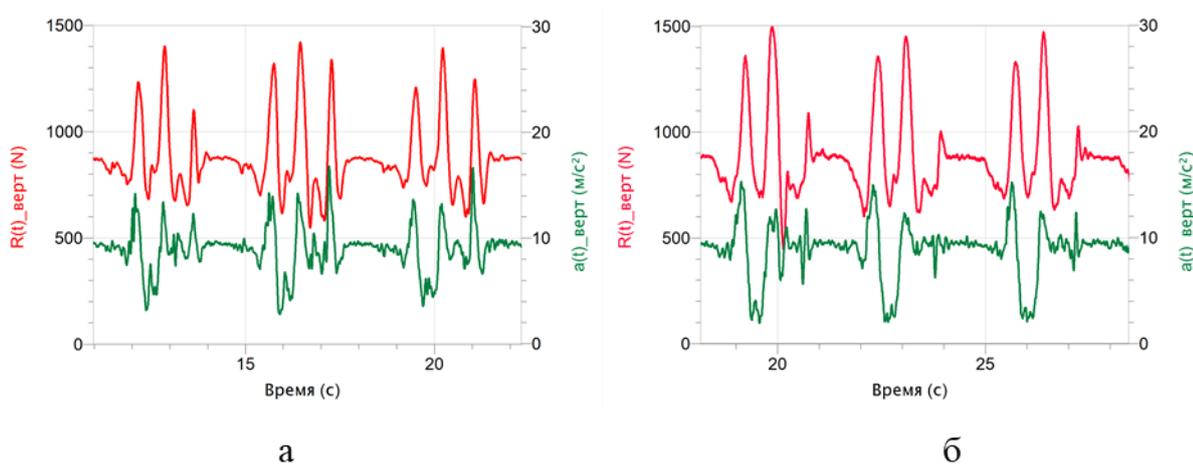


Рис. 3. Графики $R(t)$ _верт и $a(t)$ _верт трех циклов упражнения «рывок» студентов Б-ва (а) и Д-ва (б) с гирями 16 кг

Результаты исследования и их обсуждение. Обзор научной литературы показал, что составляющие реакции опоры при выполнении упражнения «рывок» на тензометрической платформе позволяет выявить характерные точки, которые соответствуют различным фазам двигательного действия [8, 9]. Следует отметить, что единого правила буквенного обозначения для отдельных фаз движения, а также их единого названия пока не существует. Например, нами принято, что на графиках $R(t)$ _верт и $a(t)$ _верт положению фиксации соответствует изолиния «а» (рис. 2). Таким образом, зубцы, которые находятся выше изолинии, являются положительными, а ниже изолинии – отрицательными. Положительные зубцы показывают приложение спортсменом усилия, а отрицательные – снятие усилия.

В литературе отмечается: «Полученные данные свидетельствуют о том, что тренировочный процесс начинающих спортсменов целесообразно строить в направлении повышения силы реакции опоры в момент выполнения подрыва. Вопросы, связанные с повышением значений силы реакции опоры в фазе торможения, как у высококвалифицированных спортсменов, так и у начинающих нуждаются в дополнительной разработке» [8, с. 68]. Однако в других источниках данные, полученные при исследовании биомеханики упражнения «рывок» на тензоплатформе показывают, что выполнение упражнения в течение 6 мин приводит к снижению пиков прилагаемых усилий [9].

Действительно, нами замечено, что в разных циклах упражнения у испытуемых амплитуды положительных и отрицательных зубцов не имеют одинаковых значений. Поэтому было принято решение оценивать не амплитуду усилий $R(t)_{\text{верт}}$, а сумму импульсов силы в системе «спортсмен – гиря» в каждом цикле упражнения. Также посредством метода акселерометрии оценивалось не амплитудное значения $a(t)_{\text{верт}}$, а вычисляемое количество движения за время каждого цикла упражнения.

«Полный импульс силы F за время t , или импульс силы S определяют по формуле» [10, с. 297]:

$$\vec{S} = \int_0^t \vec{F} dt . \quad (1)$$

Для системы «спортсмен – гиря» это выражение в проекции на вертикальную ось представляется в виде:

$$\overrightarrow{S}_{\text{верт}} = \sum \int_n^k \overrightarrow{R(t)}_{\text{верт}} dt . \quad (2)$$

«Количество движения системы Q можно выразить через массу системы M и скорость центра масс \vec{v}_c » [10, с. 296]:

$$\vec{Q} = M * \vec{v}_c . \quad (3)$$

В нашей работе для системы «спортсмен – гиря» это выражение в проекции на вертикальную ось представляется в виде:

$$\overrightarrow{Q}_{\text{верт}} = M * \sum \int_n^k \overrightarrow{a(t)}_{\text{верт}} dt . \quad (4)$$

Из курса высшей математики известно, что определенный интеграл от неотрицательной функции численно равен площади криволинейной трапеции, ограниченной сверху графиком функции, снизу – осью абсцисс, слева – вертикальной линией $X=X_1$, а справа – $X=X_2$.

Таким образом, на рисунке 4 площади, ограниченные снизу осью абсцисс, сверху – графиками $R(t)_{\text{верт}}$ и $a(t)_{\text{верт}}$, сбоку – прямыми $t = n$ и $t = k$ (n – начало, k – конец цикла),

равны суммам интегралов в правой части уравнений 2 и 4. Эти площади были вычислены с помощью программы Logger Pro 3.

На рисунке 2 показаны два цикла упражнения. В первом цикле графики $R(t)_{\text{верт}}$ и $a(t)_{\text{верт}}$ имеют три высоких зубца – e, h и j. Во втором цикле зубец j имеет незначительную положительную амплитуду. Появление высокого зубца j свидетельствует о том, что при остановке гири перед фиксацией происходит удар гирей по предплечью. Из-за слабых навыков выполнения упражнения у испытуемых удар по предплечью получается довольно ощутимым, и, чтобы компенсировать это удар, испытуемые делают небольшой подсед под гирю в фазе j. Вследствие таких избыточных движений увеличиваются значения $S_{\text{верт}}$ и $Q_{\text{верт}}$. На рисунке 3 представлены графики $R(t)_{\text{верт}}$ и $a(t)_{\text{верт}}$ трех циклов упражнения «рывок» студентов Б-ва (а) и Д-ва (б) с гирями 16 кг. В первом случае (рис. 3а) наблюдается избыточное количество положительных зубцов, которое устраняется по мере совершенствования навыка в выполнении упражнения (рис. 3б).

На рисунке 4 приведен пример уменьшения от цикла к циклу импульса силы (от 2531 до 2198 N*с) и скорости движения системы (от 24,81 до 21,36 м/с). Это указывает на улучшение техники выполнения упражнения, а также на повышение экономичности двигательного действия. Было обнаружено, что в ходе выполнения упражнения значения $S_{\text{верт}}$ и $Q_{\text{верт}}$ уменьшаются до определенного индивидуального оптимального значения.

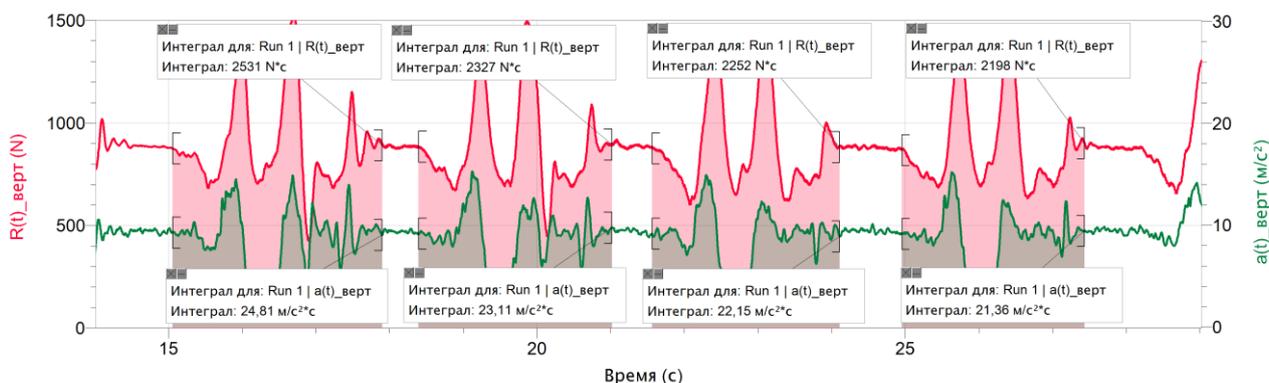


Рис. 4. Вычисление площади (интеграла) $R(t)_{\text{верт}}$ и $a(t)_{\text{верт}}$ для системы «спортсмен – гиря», где «Интеграл»: в верхнем ряду – импульс силы $R(t)_{\text{верт}}$, в нижнем ряду – скорость движения системы

Количество движения $Q_{\text{верт}}$, согласно (3), определялось умножением массы системы «спортсмен – гиря» на скорость движения системы. Согласно теореме импульсов для системы: «изменение количества движения системы за какое-либо время равно векторной сумме всех импульсов внешних сил, действующих на систему за то же время» [10, с. 299]. Однако реальные значения $Q_{\text{верт}}$ у всех испытуемых оказались меньше значений $S_{\text{верт}}$. Ниже в

таблице для примера из рисунка 4 представлены вычисления этой разности при массе системы «спортсмен – гиря» 89 кг. Разность этих значений зависит от степени наклона туловища у испытуемого в различных фазах упражнения, поскольку проекция вектора $a(t)_{\text{верт}}$ на ось, связанную с позвоночником, будет меньше, чем при вертикальном положении этой оси. Ошибка значений $Q_{\text{верт}}$ более 10% (табл.) указывает на то, что $Q_{\text{верт}}$ можно использовать только в случае индивидуальной оценки техники упражнения «рывок».

Различие амплитудных показателей $S_{\text{верт}}$ и $Q_{\text{верт}}$ системы «спортсмен – гиря»

Номера подъемов	I	II	III	IV
$\vec{v}_c, \text{ м/с}$	24,81	23,11	22,15	21,36
$Q_{\text{верт}} = M * \vec{v}_c,$ $\text{ кг} * \text{ м/с}$	2208,09	2056,79	1971,35	1901,04
$S_{\text{верт}}, \text{ N} * \text{ с}$	2531	2327	2252	2198
$S_{\text{верт}} - Q_{\text{верт}}$	322,91	270,21	280,65	296,96
Ошибка $Q_{\text{верт}},$ $\%$	12,8	11,6	12,5	13,5

Заключение

1. Применение тензоплатформы и акселерометра позволяет обнаружить избыточные движения в различных фазах упражнения «рывок» по форме и амплитуде зубцов графиков вертикальных составляющих усилия и ускорения туловища у испытуемого.
2. Данные $S_{\text{верт}}$, полученные с помощью тензоплатформы, позволяют более точно определить импульс силы в каждом цикле упражнения и количественно оценить экономичность двигательных действий.
3. Значения импульсов силы, полученные с использованием тензоплатформы и значения количества движения, вычисляемые из показателей акселерометра, можно принять как индивидуальные динамические критерии техники в упражнении «рывок» для каждого испытуемого при подготовке к сдаче норм ГТО в упражнении «рывок гири 16 кг».

Список литературы

1. Cotter S. Kettlebell Training. Human Kinetics, 2014. 213 p.
2. Vancini R.L., Andrade M.S., Rufo-Tavares W., Zimerer C., Nikolaidis P.T., de Lira C.A.B. Kettlebell Exercise as an Alternative to Improve Aerobic Power and Muscle Strength. J. Hum Kinet. 2019. Vol. 66. P. 5-6. DOI: 10.2478/hukin-2018-0062.

3. Chan M., Mac Innis M.J., Koch S., Mac Leod K.E., Lohse K.R., Gallo M.E., Sheel A.W., Koehle M.S. Cardiopulmonary Demand of 16-kg Kettlebell Snatches in Simulated Girevoy Sport. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2020. Vol. 34 (6). P. 1625-1633 DOI: 10.1519/JSC.0000000000002588.
4. Conti E., Ceravolo A.C., Cavatton A., Quarantelli M., Ilika O., Varalda C. Kettlebell Sport: endurance weight lifting. Description and analysis of the performance model. *Journal of Physical Education and Sport (JPES)*. 2020. Vol. 20 (5). Art 362. P. 2659-2664. [Электронный ресурс]. URL: <https://efsupit.ro/images/stories/septembrie2020/Art%20362.pdf> (дата обращения: 20.02.2021).
5. Воронков А.В., Беляев И.С., Дорохин А.Ю., Кандабар А.Н. Методика спортивной подготовки высококвалифицированных гиревиков // *Современные проблемы науки и образования*. 2017. № 5. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=26871> (дата обращения: 20.02.2021).
6. Ципин Л.Л., Кириллов С.А., Петров В.М., Беляев И.С. Современные тенденции методики тренировки в гиревом спорте // *Актуальные проблемы физической и специальной подготовки силовых структур*. 2017. № 2. С. 65-71.
7. Prontenko K., Klachko V., Bondarenko V., Prontenko V., Hutoryanskiy O., Bezpaliy S., Andreychuk V. Technical preparedness of sportsmen in the kettlebell sport, *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2017. Vol. 17 (1). Art 5. P. 28-33. [Электронный ресурс]. URL: <https://efsupit.ro/images/stories/01feb2017/art%205.pdf> (дата обращения: 20.02.2021).
8. Зухов А.С., Стрельников С.П. Особенности проявления силы реакции опоры при выполнении рывка гири высококвалифицированными и начинающими спортсменами // *Ученые записки университета Лесгафта*. 2017. № 4 (146). С. 68-71.
9. 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.
10. Никитин Н.Н. Курс теоретической механики: учеб. для машиностроит. и приборостроит. спец. вузов. 5-е изд., перераб и доп. М.: Высш. шк., 1990. 607 с.