

УДК 796.012.46

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕНЗОПЛАТФОРМЫ И АКСЕЛЕРОМЕТРА В ГИРЕВОМ СПОРТЕ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ТЕХНИКИ УПРАЖНЕНИЯ «ТОЛЧОК»

Тихонов В.Ф.

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

Применение стационарных тензоплатформ вызывает целый ряд затруднений при их использовании в исследованиях биомеханики двигательных действий спортсменов. Наиболее перспективным представляется метод регистрации динамических показателей движения спортсмена путем применения акселерометров (датчиков ускорения). Проведено сравнительное исследование методов тензодинамометрии и акселерометрии в упражнении гиревого спорта «толчок». Целью работы является определение степени соответствия друг другу показателей вертикальной реакции опоры ($R(t)_{\text{верт}}$) и вертикальной составляющей ускорения туловища ($a(t)_{\text{верт}}$) во время выполнения упражнения. Спортсмены-гиревики I спортивного разряда ($n = 5$) и кандидаты в мастера спорта ($n = 6$) выполняли толчок одной гири 16 кг в течение 60 с. Регистрация сигналов $R(t)_{\text{верт}}$ и $a(t)_{\text{верт}}$ проводилась синхронно. Для общего применения в исследовании упражнения «толчок» предлагается буквенное обозначение зубцов на графиках $R(t)_{\text{верт}}$ и $a(t)_{\text{верт}}$, которые соответствуют характерным моментам движений спортсмена-гиревика. Уравнением регрессии определялась взаимосвязь полученных показателей. В результате исследования определился линейный характер зависимости $a(t)_{\text{верт}}$ от $R(t)_{\text{верт}}$ ($r = 0,805$). Наблюдается синхронность зубцов обоих сигналов. Однако следует отметить некоторое снижение амплитудных показателей силы ($F(t) = a(t)_{\text{верт}} * M$) при их определении методом акселерометрии. Применение в тренировочной практике акселерометров для регистрации вертикальных перемещений спортсмена во время выполнения физических упражнений является более доступным и менее затратным способом, чем применение стационарной тензоплатформы. Однако совместное применение указанных методов повышает качество исследования техники двигательных действий.

Ключевые слова: гиревой спорт, соревновательное упражнение «толчок», тензоплатформа, акселерометрия, реакция опоры, ускоренные движения туловища

APPLICATION OF THE FORCE PLATE AND ACCELEROMETER IN KETTLEBELL SPORTS WHEN RESEARCHING THE «JERK» EXERCISE TECHNIQUE

Tikhonov V.F.

Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, Cheboksary, e-mail: letterpa@mail.ru

The use of stationary strain-gauge platforms causes a number of difficulties when using them in studies of the biomechanics of motor actions of athletes. The most promising method seems to be the method of registration of dynamic indicators of an athlete's movement by using accelerometers (acceleration sensors). A comparative study of the methods of tensodynamometry and accelerometry in the exercise of kettlebell lifting «jerk» is carried out. The aim of the study is to determine the degree of correspondence between the indicators of the vertical support response ($R(t)_{\text{vert}}$) and the vertical component of the trunk acceleration ($a(t)_{\text{vert}}$) during the exercise. Kettlebell lifters of the 1st sports rank ($n = 5$) and candidates for the master of sports ($n = 6$) performed a jerk of one 16 kg kettlebell for 60 seconds. The signals $R(t)_{\text{vert}}$ and $a(t)_{\text{vert}}$ was recorded synchronously. For general use in the study of the exercise «jerk», the letter designation of the teeth on the graphs $R(t)_{\text{vert}}$ and $a(t)_{\text{vert}}$ is proposed, which correspond to the characteristic moments of the movements of the athlete-kettlebell lifter. The relationship between the obtained indicators was determined by the regression equation. As a result of the study, the linear nature of the dependence $a(t)_{\text{vert}}$ on $R(t)_{\text{vert}}$ ($r = 0.805$, $p < 0,05$) was determined. Synchronization of the teeth of both signals is observed. However, a slight decrease in the amplitude indicators of force ($F(t) = a(t)_{\text{vert}} * M$) should be noted when they are determined by the accelerometry method. The use of accelerometers in training practice to register the vertical movements of an athlete during physical exercises is a more accessible and less costly method than the use of a stationary strain gauge platform. However, the quality of the study of the technique of motor actions increases in the combined application of the above methods.

Keywords: kettlebell lifting, competitive exercise «jerk», force plate, accelerometry, support reaction, accelerated body movement

Популярность гиревого спорта особенно возросла в минувшем десятилетии. Это отражается в результатах научных исследований как в нашей стране [1, 2], так и во всем мире [3, 4]. Однако существующие методики тренировки гиревиков основаны на эмпирических данных, на личном опыте спортсменов и тренеров. На сайте Всероссийской федерации гиревого спорта можно ознакомиться с рекордными результатами российских спортсменов, которых

они достигли без серьезных научных познаний. Однако научные исследования необходимы для того, чтобы обнаружить незаметные для многих «ноу хау» (know how – знаю как). Именно эти «мелочи» помогают повысить эффективность и экономичность двигательных действий. Направление для повышения результативности в спорте показывает наука биомеханика. Для изучения механических характеристик движения человека проводятся измерения времени,

скоростей, ускорений и сил. Кажется, всё просто – бери приборы и измеряй. К сожалению, в настоящее время отечественная промышленность приборов для применения в спортивной практике не выпускает. Зарубежные аналоги таких приборов из-за их стоимости недоступны не только для тренеров и спортсменов, но и для научных организаций. Из курса истории биомеханики известны приборы для циклографической съемки Н.А. Бернштейна, спидографы, динамометры для спортивных снарядов, динамографические площадки В.М. Абалакова. Следуя их примеру, нами были изготовлены тензоплатформы и комплексы для измерения ускорения кинематических звеньев человека [5]. Однако применение стационарных тензоплатформ вызывает целый ряд затруднений при их использовании в исследованиях биомеханики двигательных действий спортсменов. Наиболее перспективным представляется метод регистрации динамических показателей движения спортсмена путем применения акселерометров (датчиков ускорения) [6–8]. В этой работе проведено сравнительное исследование методов тензодинамометрии и акселерометрии в упражнении гиревого спорта «толчок».

Цель исследования: определение степени сопряженности показателей вертикальной реакции опоры ($R(t)_{\text{верт}}$) и вертикальной составляющей ускорения туловища ($a(t)_{\text{верт}}$) во время выполнения упражнения гиревого спорта «толчок».

Материалы и методы исследования

Спортсмены-гиревики I спортивно-го разряда ($n = 5$) и кандидаты в мастера

спорта ($n = 6$) выполняли толчок одной гири 16 кг в течение 60 с стоя на тензоплатформе. Было проведено 24 серии упражнения. Акселерометр (датчик ускорения) ADXL345 закреплялся на поясе у испытуемого. Регистрация сигналов $R(t)_{\text{верт}}$ и $a(t)_{\text{верт}}$ проводилась синхронно с помощью универсального регистратора на базе микропроцессора ATmega328. Частота измерений показателей равнялась 5 Гц, что является приемлемой для таких медленно протекающих процессов. Проводился видеоанализ техники упражнения «толчок» ведущих спортсменов-гиревиков. Также ранее проводились измерения вертикальной составляющей движения туловища у спортсменов высокой квалификации. Для общего применения в исследовании упражнения «толчок» предлагается буквенное обозначение зубцов на графиках, которые соответствуют характерным моментам движений спортсмена-гиревика (рис. 1). Анализ полученных графиков выполнялся с помощью программы Logger Pro 3. В данной программе было найдено уравнение регрессии зависимости $R(t)_{\text{верт}}$ от $a(t)_{\text{верт}}$. На основе этих данных определялась взаимосвязь указанных показателей.

Результаты исследования и их обсуждение

В процессе исследования доступной научной литературы были найдены многочисленные примеры применения различных сенсорных датчиков в спорте. Например, применение акселерометрии в тяжелой атлетике [9] и тензоплатформы в гиревом спорте [10] способствуют повышению эффективности тренировочного процесса.

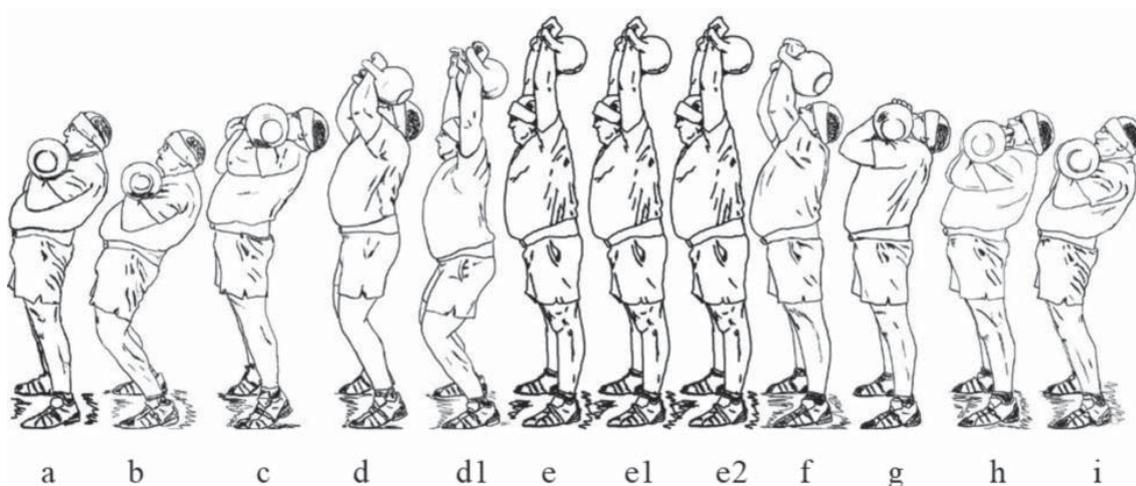


Рис. 1. Техника выполнения соревновательного упражнения «толчок» ЗМС С.Н. Мишина

По видеозаписям на различных соревнованиях были созданы видеogramмы ведущих спортсменов-гиревиков. Одна из этих видеogramм ЗМС С.Н. Мишина приводится на рис. 1. Ранее были проведены ($n = 187$) измерения вертикальной составляющей ускорения туловища у членов сборных команд России по гиревому спорту, а также вертикальной составляющей реакции опоры у спортсменов-разрядников ($n = 24$) на тензоплатформе. В ходе изучения видеogramм и динамических показателей $R(t)_{\text{верт}}$ и $a(t)_{\text{верт}}$ было выделено 12 характерных фаз движения. Это: а) исходное положение (ИП) перед очередным выталкиванием, б) полуприсед, с) выталкивание, d) «уход» под гири, d1) полуподсед, е) вставание из полуподседа, е1) остановка движения гири, е2) фиксация, f) начальная фаза опускания, g) свободное опускание гири, h) опускание гири на грудь, i) амортизация. Эти характерные фазы имеют те же обозначения на графиках $R(t)_{\text{верт}}$ и $a(t)_{\text{верт}}$ (рис. 2 и 3). На рис. 2 показан случайным образом выбранный образец одного цикла упражнения «толчок» одной гири 16 кг. Для большей наглядности значения на оси ординат $a(t)_{\text{верт}}$ масштабированы до более близкого совпадения по амплитуде кривых $R(t)_{\text{верт}}$ и $a(t)_{\text{верт}}$. Наблюдается синхронность крупных зубцов обоих сигналов. Необходимо отметить, что небольших зубцов на графике $a(t)_{\text{верт}}$ больше, чем

на графике $R(t)_{\text{верт}}$. Это можно объяснить тем, что результирующее действие силы, передающейся на тензоплатформу, амортизируется усилиями нижних конечностей.

В зависимости от техники выполнения упражнения в интервале «d1 – е» могут появиться дополнительные зубцы (d2, d3, ...) в зависимости от длительности фазы полуподседа и усилий во время вставания до положения фиксации. Расщепление зубцов можно наблюдать и на других интервалах. На рис. 3 показан график вертикальной составляющей движения туловища ЗМС Д. Бенидзе при выполнении упражнения «толчок» с двумя гирями по 24 кг. Здесь наблюдается расщепление зубца d1 и зубца h и появление зубцов d2, d3. В настоящее время нет общепринятых модельных характеристик динамических показателей в упражнениях гиревого спорта, и в рамках данной статьи мы не ставим задачи их разработки.

Для одного цикла упражнения (рис. 2) определен линейный характер зависимости $a(t)_{\text{верт}}$ от $R(t)_{\text{верт}}$ с высоким коэффициентом корреляции ($r = 0,805$) (рис. 4). При этом среднеквадратичное отклонение равняется $1,211 \text{ м/с}^2$. На рис. 4 точки $a(t)_{\text{верт}}$ в основном находятся на одной прямой, однако отклонения существуют, и площадь «облака», предположительно, зависит от техники выполнения упражнения. Но для точного определения этой зависимости необходимы новые эксперименты.

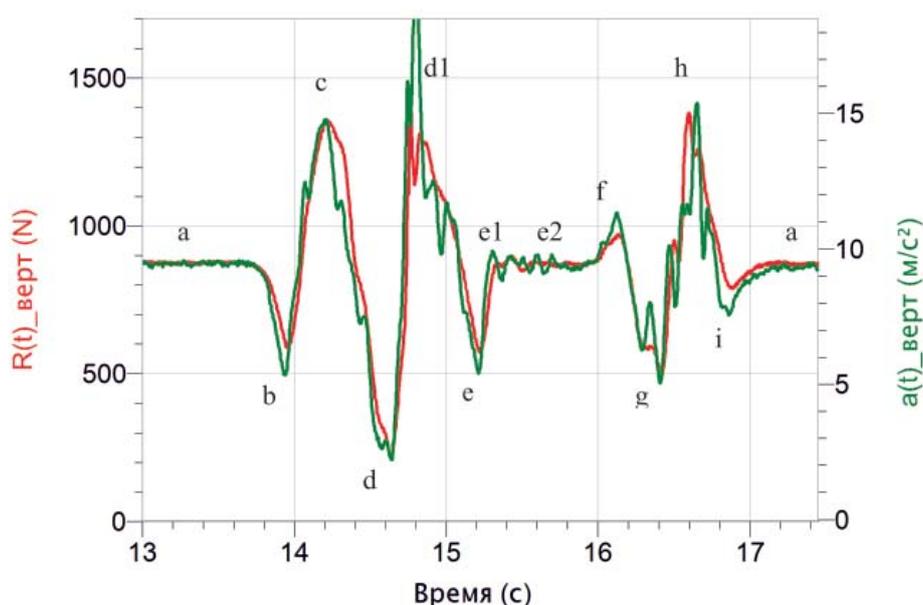


Рис. 2. Графики вертикальной составляющей реакции опоры $R(t)_{\text{верт}}$ и вертикальной составляющей движения туловища $a(t)_{\text{верт}}$ одного цикла упражнения «толчок» КМС А. с одной гирей 16 кг

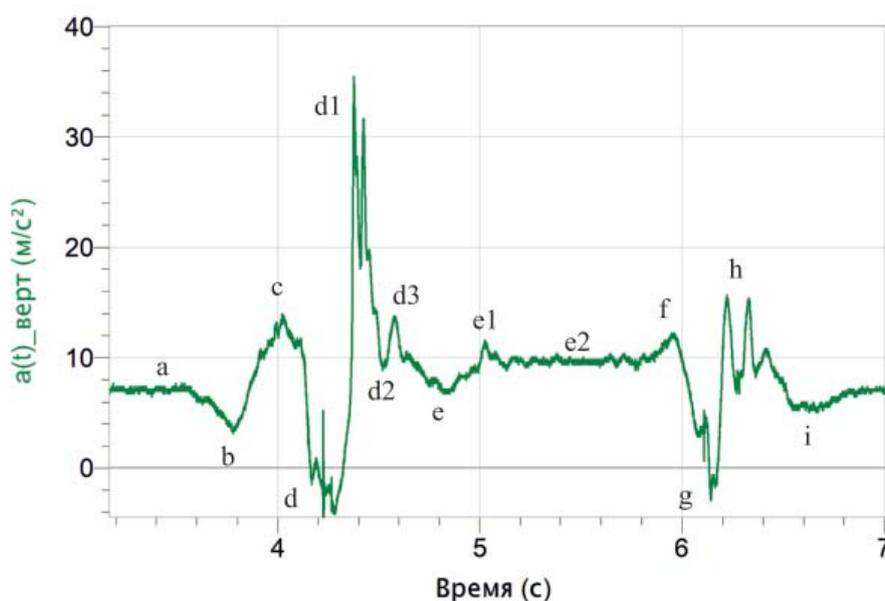


Рис. 3. Графики вертикальной составляющей движения туловища $a(t)_{\text{верт}}$ одного цикла упражнения «толчок» ЗМС Д. Бенидзе с двумя гирями по 24 кг

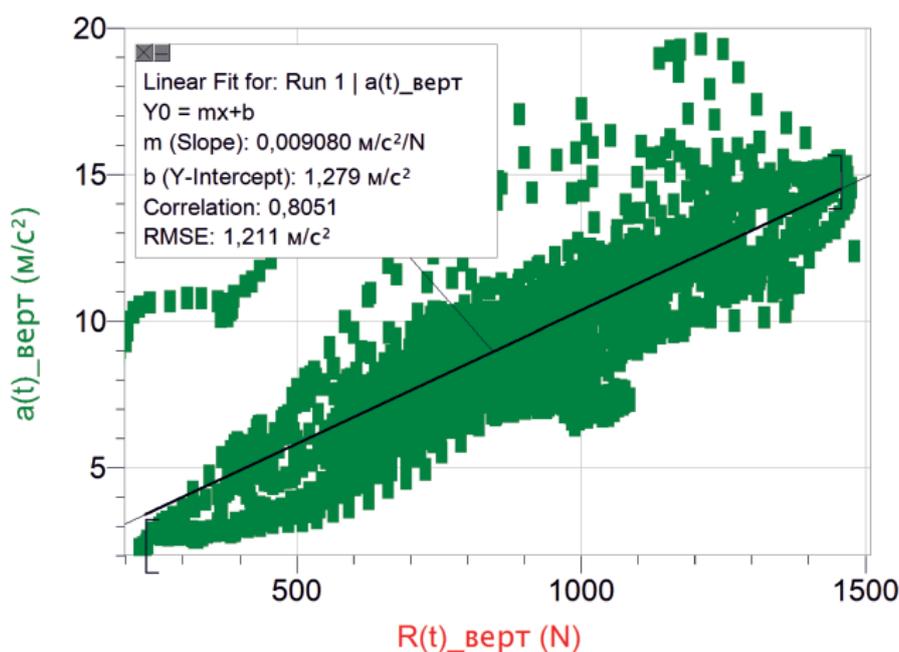


Рис. 4. Вычисление уравнения регрессии для зависимости $a(t)_{\text{верт}}$ от $R(t)_{\text{верт}}$, где: Correlation – коэффициент корреляции ($r = 0,8051$), RMSE – среднеквадратичное отклонение ($1,211 \text{ м/с}^2$)

Для того чтобы определить амплитудные значения силы $F(t)$, действующей на туловище в вертикальном направлении в характерных точках а, b, с, ..., i, необходимо ускорение в этих точках умножить на массу «М» системы «спортсмен – гиря»:

$F(t) = a(t)_{\text{верт}} * M$. В таблицу, приведенную ниже, включены известные данные ускорения $a(t)_{\text{верт}}$ и $R(t)_{\text{верт}}$ из рис. 2. В вычисляемой строке $F(t)$ масса системы «спортсмен – гиря» определяется в интервале «а» от частного $R(t)_{\text{верт}} (N) / 9,8 \text{ м/с}^2 = 90 \text{ кг}$.

Различие амплитудных показателей вертикальной реакции опоры $R(t)_{\text{верт}}$ и силы $F(t)$, действующей на туловище в вертикальном направлении

	a	b	c	d	d1	e	e1	e2	f	g	h	i
$a(t)_{\text{верт}}, \text{ м/с}^2$	9,8	5,7	15,1	2,6	19,8	5,7	10,2	9,8	11,6	5,3	15,3	7,8
$F(t) = a(t)_{\text{верт}} * M, \text{ N}$	882	513	1359	234	1782	513	918	882	1044	477	1377	702
$R(t)_{\text{верт}}, \text{ N}$	882	593	1360	237	1480	586	882	882	982	503	1387	799
$R(t)_{\text{верт}} - F(t), \text{ N}$	0	80	1	3	-302	73	-36	0	-62	26	10	97

Следует отметить некоторое различие в разности амплитудных показателей $R(t)_{\text{верт}}$ и силы $F(t)$, действующей при движении туловища в вертикальном направлении при его определении методом акселерометрии. Значения этой разницы положительные, кроме точек d1, e1 и f. Мы предполагаем, что в характерных точках с положительной разницей $R(t)_{\text{верт}} - F(t)$, усилия вдоль вертикальной оси в большей или меньшей степени уменьшаются компенсаторными и амортизационными движениями в нижних конечностях. На наш взгляд, отрицательная разность показателей $R(t)_{\text{верт}} - F(t)$ объясняется тем, что данный испытуемый проявляет избыточные усилия и в точках d1, e1 и f избыточный разгон гири вверх завершается ее некомпенсированным падением вниз. В данном примере (таблица) большой разброс в показателях разницы $R(t)_{\text{верт}} - F(t)$ указывает на невысокое качество техники движений испытуемого в упражнении «толчок».

Заключение

Характерные зубцы показателей $R(t)_{\text{верт}}$ и $a(t)_{\text{верт}}$ соответствуют друг другу как на амплитудной оси, так и на временной оси. Применение в тренировочной практике акселерометров для регистрации вертикальных перемещений спортсмена во время выполнения физических упражнений является более доступным и менее затратным способом, чем применение стационарной тензоплатформы. Однако совместное применение тензоплатформы и комплекса датчиков ускорения движения кинематических звеньев спортсменов-гиревиков повышает качество исследования техники двигательных действий.

Список литературы

1. 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: 30.01.2021).
2. 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. [Электронный ресурс]. URL: <https://vifk.mil.ru/upload/site49/T18vxpzOMi.pdf#page=65> (дата обращения: 30.01.2021).
3. Cotter S. Kettlebell Training. Human Kinetics. 2014. 213 p. [Electronic resource]. URL: <https://books.google.ru/books?id=-XonAQAQBAJ> (date of access: 30.01.2021).
4. Meigh N.J., Keogh J.W.L., Schram B. et al. Kettlebell training in clinical practice: a scoping review. BMC Sports Sci. Med. Rehabil. 11, 19 (2019). DOI: 10.1186/s13102-019-0130-z.
5. Тихонов В.Ф. Применение микроконтроллера серии Arduino в обучении технике бега на короткие дистанции / Биомеханика двигательных действий и биомеханический контроль в спорте: материалы III Всероссийской научно-практической конференции. М.: Издательство: Московская государственная академия физической культуры, 2015. С. 110–115.
6. Camomilla V., Bergamini E., Fantozzi S., Vannozzi G. Trends Supporting the In-Field Use of Wearable Inertial Sensors for Sport Performance Evaluation: A Systematic Review. Sensors. 2018. V. 18. P. 873. DOI: 10.3390/s18030873.
7. Hong J.-H., Han K.-S., Kim K. Walking Pattern Analysis Using an Acceleration Sensor Device. Journal of Electrical Engineering and Technology. 2017. Vol. 12 (1). P. 396–401. DOI: 10.5370/jeet.2017.12.1.396.
8. Lingfei Mo, Lujie Zeng. Running gait pattern recognition based on cross-correlation analysis of single acceleration sensor [J]. Mathematical Biosciences and Engineering. 2019. Vol. 16(6). P. 6242–6256. DOI: 10.3934/mbe.2019311
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. [Электронный ресурс]. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_44428890_47600381.pdf (дата обращения: 30.01.2021).
10. Зухов А.С., Стрельников С.П. Особенности проявления силы реакции опоры при выполнении толчка в гиревом спорте // МНИЖ. 2017. № 5–2 (59). С. 25–28.