

УДК 796.012.49

ЛОКОМОТОРНО-РЕСПИРАТОРНОЕ СОПРЯЖЕНИЕ (ЛРС) В УПРАЖНЕНИИ ГИРЕВОГО СПОРТА «РЫВОК»

Тихонов В.Ф.

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

Циклические двигательные действия в упражнении «рывок» вовлекают внешнее дыхание человека в специфический процесс произвольных циклических дыхательных движений. Целью исследования является определение локомоторно-респираторного сопряжения (ЛРС) в упражнении «рывок», используя частотные составляющие усилий и частотные составляющие дыхательных циклов у испытуемых. Исследование ЛРС проводилось у 9 студентов 19–20 лет на протяжении трех месяцев во время учебных занятий. Студенты были отобраны из числа тех, кто выполнил нормы ГТО в упражнении «рывок гири 16 кг» на золотой знак отличия. Испытуемые выполняли упражнение в течение 60 секунд, стоя на тензоплатформе, датчик спирографа был закреплен на шлеме. Качество выполнения упражнения оценивалось по графикам вертикальной реакции опоры ($R(t)_{\text{верт}}$, N) и скорости потока дыхательного воздуха ($\bar{V}(t)$, л/с). Выполнялся анализ частотных составляющих сигналов $R(t)_{\text{верт}}$ и $\bar{V}(t)$ методом быстрого преобразования Фурье (БПФ). В результате исследования у четырех студентов было обнаружено совпадение пиковых частот $R(t)_{\text{верт}}$ и $\bar{V}(t)$. Можно предположить, что ЛРС в упражнении «рывок» является критерием качества дыхания. Отсутствие ЛРС у пяти испытуемых указывает на то, что испытуемые решают двигательную задачу за счет силовых качеств, а не за счет техники упражнения и повышения экономичности движений.

Ключевые слова: ГТО, гиревой спорт, упражнение «рывок», локомоторно-респираторное сопряжение (ЛРС), тензоплатформа, спирограф, быстрое преобразование Фурье (БПФ)

LOCOMOTOR-RESPIRATORY COUPLING (LRC) IN THE KETTLEBELL SPORT EXERCISE «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

Cyclic motor actions in the «snatch» exercise involve the respiration of a person in a specific process of involuntary cyclic respiratory movements. The aim of the study is to determine the locomotor-respiratory coupling (LRC) in the «snatch» exercise using the frequency components of the subjects' efforts and the frequency components of the respiratory cycles. The study of LRC was carried out in 9 students 19-20 years old for three months during training sessions. Students were selected from among those who have performed the GTO norms in the exercise «snatch of a 16 kg kettlebell» in a golden insignia. The subjects performed the exercise for 60 seconds while standing on the force plate, the spirograph sensor was fixed to the helmet. The quality of the exercise was assessed according to the graphs of the vertical support reaction ($R(t)_{\text{vert}}$, N) and the respiratory air flow rate ($\bar{V}(t)$ L/s). The analysis of the frequency components of the signals $R(t)_{\text{vert}}$ and $\bar{V}(t)$ was carried out using the fast Fourier transform (FFT) method. As a result of the study, the coincidence of the peak frequencies $R(t)_{\text{vert}}$ and $\bar{V}(t)$ was found in four students. It can be assumed that LRC in the «snatch» exercise is a criterion for the quality of breathing. The absence of LRC in five subjects shows that the subjects solve the motor task at the expense of strength qualities, and not at the expense of the exercise technique and the increase in the efficiency of movements.

Keywords: GTO, kettlebell sport, exercise «snatch», locomotor respiratory coupling (LRC), force plate, spirometer, Fast Fourier Transform (FFT)

Многочисленные исследования биомеханики двигательных действий в гиревом спорте относятся к определению взаимосвязи кинематических и динамических показателей, соотношенных с движением гири [2]. Противоречия возникают вследствие неполноты биомеханических исследований упражнений гиревого спорта, связанных с тем, что внешнее дыхание спортсменов-гиревиков рассматривается вне соотношения с динамикой двигательных действий. В то же время из тренировочной практики известно, что циклические двигательные действия в упражнении «рывок» вовлекают дыхание человека в специфический процесс произвольных циклических дыхательных движений.

Многочисленные исследования биомеханики двигательных действий в гиревом спорте относятся к определению взаимосвязи кинематических и динамических показателей, соотношенных с движением гири [2]. Противоречия возникают вследствие неполноты биомеханических исследований упражнений гиревого спорта, связанных с тем, что внешнее дыхание спортсменов-гиревиков рассматривается вне соотношения с динамикой двигательных действий. В то же время из тренировочной практики известно, что циклические двигательные действия в упражнении «рывок» вовлекают дыхание человека в специфический процесс произвольных циклических дыхательных движений.

Не только спортивные упражнения человека, но и поведение животных указывает на тесное локомоторно-респираторное сопряжение (ЛРС) при повышенной двигательной активности. Некоторые исследования показывают, что частота дыхания устанавливается независимо от движений конечностей, но в зависимости от задействованной двигательной программы [3]. Проводились также эксперименты, в которых установленные параметры дыхания влияют на ритм бега [4]. Также ученые приходят к выводу, что ЛРС снижает метаболические затраты в лыжных гонках примерно на 4% [5]. Отмечается, что ЛРС увеличивается при повышении частоты движения конечностей [6]. Например, специалисты в области спорта применяют упражнение «рывок», для того чтобы количественно оценить кардиореспираторную потребность, оцениваемую в первую очередь по потреблению кислорода и частоте сердечных сокращений, при выполнении упражнения в соревновательном темпе, и сравнить эту потребность с традиционными тестами на максимальную нагрузку на гребном эргометре [7]. Несмотря на доступность и простоту в выполнении упражнений гиревого спорта, было замечено, что неадекватные интенсивные методы тренировки могут привести к отрицательным последствиям [8]. Для предотвращения перенапряжения физиологических систем организма разрабатываются специальные методы, которые связаны с совершенствованием функции внешнего дыхания. Специалисты и ученые в области спортивной медицины указывают на то, что «упражнения, выполняемые по методике лечебной физической культуры, стимулируют интегральные внесердечные механизмы кровообращения – ритмичное дыхание через нос и синхронизацию фаз дыхания с движениями передней брюшной стенки...» [8, с. 36]. «Для выполнения специальных технических приёмов рывка и удержания гири необходима сформированная система согласованных движений верхних и нижних конечностей, мышц туловища и фаз дыхания, уравнивающих положение тела спортсмена при сохранении наиболее эффективного аэробного энергообеспечения» [8, с. 39]. Таким образом, ЛРС указывает на совершенствование двигательных действий, на снижение метаболических затрат, а также на повышение эффективности аэробного энергообеспечения.

Целью исследования является определение локомоторно-респираторного сопряжения (ЛРС) в упражнении «рывок», используя частотные составляющие усилий и частотные составляющие дыхательных циклов у испытуемых.

Материалы и методы исследования

Выбор метода исследования основан на следующих биомеханических положениях. Во время упражнения «рывок» различные кинематические звенья тела человека совершают движения с различной частотой и образуют суммарный спектр частотных составляющих вертикальной составляющей реакции опоры ($R(t)_{\text{верт}}$, N). Также дыхательные движения отражаются в спектре частотных составляющих скорости потока дыхательного воздуха ($\bar{V}(t)$, л/с). Мы выдвигаем предположение, что при ЛРС в упражнении «рывок» частотные составляющие $R(t)_{\text{верт}}$ и $\bar{V}(t)$ в некоторых диапазонах частот будут совпадать. Исследование ЛРС проводилось у 9 студентов 19–20 лет на протяжении трех месяцев во время учебных занятий. Студенты были отобраны из числа тех, кто выполнил нормы ГТО в упражнении «рывок гири 16 кг» на золотой знак отличия. Испытуемые выполняли упражнение в течение 60 секунд, стоя на тензоплатформе, датчик спирографа был закреплен на шлеме. Сигналы с тензоплатформы и со спирографа принимались универсальным регистратором сигналов, выполненным на базе микропроцессора ATmega328. Для визуального сопоставления отдельных фаз движения испытуемого с характерными зубцами графика $R(t)_{\text{верт}}$ была изготовлена видеодиаграмма техники выполнения соревновательного упражнения «рывок» ЗМС Сергея Кириллова (рис. 1).

В соответствии с буквенными обозначениями отдельных фаз движений из рис. 1 были выполнены буквенные обозначения отдельных зубцов на графике $R(t)_{\text{верт}}$ (рис. 2). Особенности выполнения упражнения оценивались по графикам вертикальной реакции опоры $R(t)_{\text{верт}}$ и скорости потока дыхательного воздуха $\bar{V}(t)$. На графиках ось ординат для значений $\bar{V}(t)$ обозначается словом «Поток, л/с». Значения $\bar{V}(t)$ на выдохе на графике поднимаются выше оси абсцисс, а на вдохе опускаются ниже этой оси. По значению площади, ограниченной кривой $\bar{V}(t)$ и осью абсцисс (определенный интеграл от функции $\bar{V}(t)$ в интервале времени единичного вдоха или выдоха), определялись единичные значения дыхательного объема (ДО) на вдохе и на выдохе (рис. 2). На рис. 2, А–В дыхательные объемы на вдохе или на выдохе обозначены как «Интеграл», где произведение л/с*с = л, т.е. равно единице объема. Вычисление значений ДО (рис. 2) и анализ частотных составляющих сигналов $R(t)_{\text{верт}}$ и $\bar{V}(t)$ методом быстрого преобразования Фурье (БПФ) (рис. 3) производили с помощью программы Logger Pro 3.



Рис. 1. Техника выполнения соревновательного упражнения «рывок» ЗМС С. Кириллова (по видеосъемкам 2013 г.)

В соответствии с программами обучения бакалавров занятия по дисциплине «Элективные дисциплины (модули) по физической культуре и спорту» проводились один раз в неделю. С испытуемыми было проведено 14 занятий в течение трех месяцев одного семестра. Было проведено 187 измерений показателей $R(t)_{\text{верт}}$ и $\bar{V}(t)$.

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе анализа полученных графиков одноцикловое дыхание за один цикл упражнения «рывок» было обнаружено у семи испытуемых (77,8%), а трехцикловое – у двоих (22,2%). В конце этапа это соотношение изменилось. Одноцикловое дыхание за один цикл упражнения «рывок» было обнаружено у пяти испытуемых (55,6%), трехцикловое – у троих (33,3%) и четырехцикловое – у одного испытуемого (11,1%). На рис. 2 показаны значения ДО при разных способах дыхания. Темп выполнения упражнения «рывок» выдерживался в пределах 18–20 подъемов/мин.

При одноцикловом дыхании ДО у испытуемых в среднем был равен $1,72 \pm 0,22$ л (рис. 2, А). Несколько меньшее среднее значение ДО наблюдали при трехцикловом дыхании, от $1,29 \pm 0,31$ л (рис. 2, Б). Наименьшее значение среднего ДО оказалось при четырехцикловом дыхании, от $0,89 \pm 0,27$ л (рис. 2, В). Путем умножения средних значений дыхательного объема на количество дыхательных циклов за один цикл упражнения и на 20 подъемов гирь за минуту получим средние значения минутного объема дыхания (МОД) у испытуемых соответственно: одноцикловое – $34,4 \pm 2,7$ л/мин., трехцикловое – $77,4 \pm 5,2$ л/мин., четырехцикловое – $71,2 \pm 6,3$ л/мин. Известно, что должные значения дыхательного объ-

ема в покое у мужчин 19–20 лет находятся в пределах 857 ± 89 мл [9]. В нашем примере (рис. 2, А) при одноцикловом дыхании дыхательный объем превышает значение дыхательного объема в покое в два раза. При одноцикловом дыхании наблюдаются шумное дыхание, изменение пигментации кожи лица, незначительное нарушение координации движений во время выполнения упражнения. Причиной такого дыхания может быть недостаточный уровень МОД.

При трех- и четырехцикловом дыхании уровни МОД не имеют достоверного различия, и по этому показателю нельзя определить, который из способов дыхания является более эффективным. Однако при четырехцикловом дыхании ДО у испытуемого близко к значению ДО в покое. В этом случае, на наш взгляд, дыхательные мышцы не испытывают избыточного напряжения, как при одно- или трехцикловом дыхании.

Из графиков $\bar{V}(t)$ на рис. 2 видно, что скорость потока дыхательного воздуха нарастает при трех- и четырехцикловом дыхании больше, чем при одноцикловом дыхании. При трех- и четырехцикловом дыхании (рис. 3 Б, В) наблюдается совпадение фаз выдоха с зубцами «d», «f» и «i», а фаз вдоха – с зубцами «с», «е» и «g». Таким образом, движения испытуемого, которые сопровождаются нарастанием усилий, т.е. при $R(t)_{\text{верт}}$ выше уровня «а», вызывают выдох. Также и те фазы движения, в которых происходит сброс усилий и снижение $R(t)_{\text{верт}}$ ниже уровня «а», вызывают вдох. Следовательно, на основе визуального анализа графиков $R(t)_{\text{верт}}$ и $\bar{V}(t)$ можно утверждать, что в упражнении «рывок» сами усилия, создающие движение системы «спортсмен – гиря», вызывают дыхательные движения, облегчая условия функции внешнего дыхания.

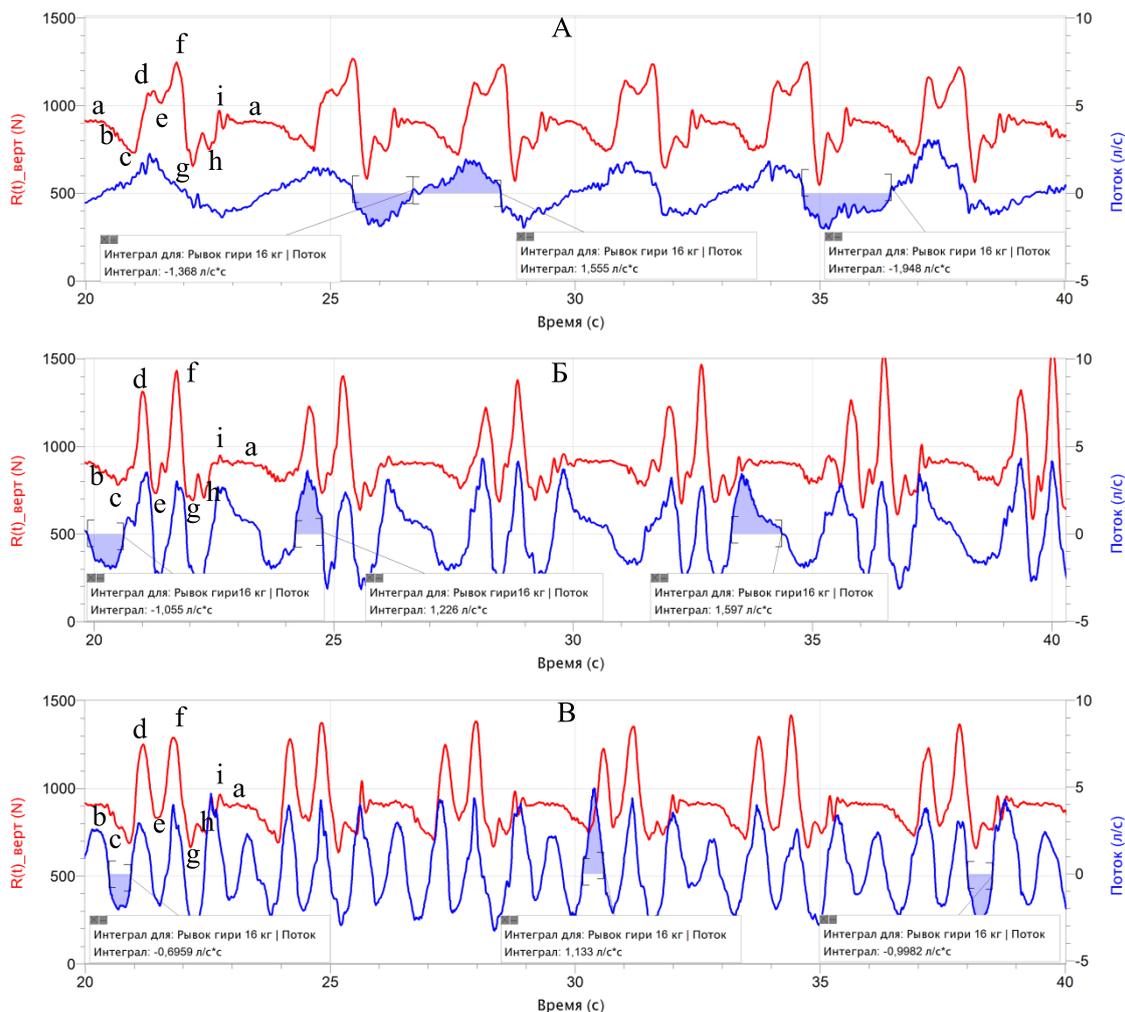


Рис. 2. Одноцикловое дыхание (А), трехцикловое дыхание (Б) и четырехцикловое дыхание (В) в упражнении «рывок гири 16 кг»

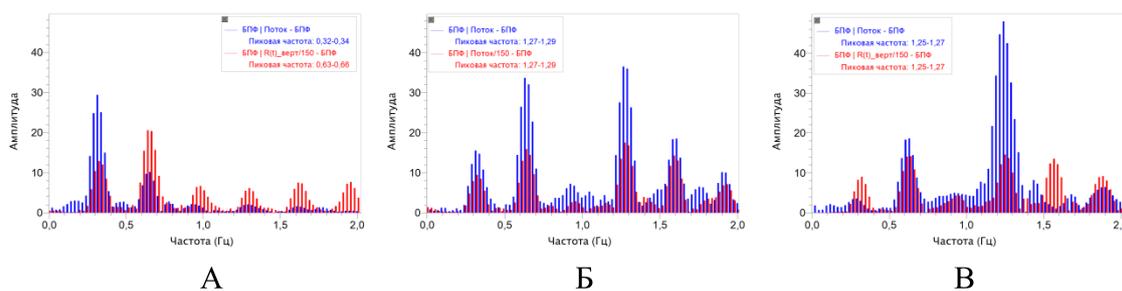


Рис. 3. Пример динамической локомоторно-респираторной сопряженности в упражнении «рывок»: А) 1-цикловое дыхание; Б) 3-цикловое дыхание и В) 4-цикловое дыхание

В предыдущих работах также выдвигалась гипотеза о возникновении механического контура регуляции дыхания под действием ускорения туловища как внешнего возмущающего воздействия [10]. Но для получения более полной картины был проведен анализ частотных составляющих $R(t)_{\text{верт}}$ и $\bar{V}(t)$.

На рис. 3 представлены примеры частотного спектра $R(t)_{\text{верт}}$ и $\bar{V}(t)$ («Поток») при одноцикловом (рис. 3, А), при трехцикловом (рис. 3, Б) и при четырехцикловом (рис. 3, В) дыхании. Следует отметить, что расположение гармоник во всех трех примерах, начиная со второй гармоники,

кратны значению положения первой гармоники: I – 0,32–0,34 Гц; II – 0,63–0,66 Гц; III – 0,95–1,00 Гц; IV – 1,25–1,29 Гц. Первые пики на частоте 0,32–0,34 Гц (первая гармоника) наблюдаются в спектрах частот при любом дыхании (рис. 3, А–В). Произведение этого значения частоты на 60 дает значение частоты движения 19,2–20,4 1/мин., примерно равное числу подъемов гири 19–20 раз за одну минуту. В рамках данной работы мы не ставили задачу определения соответствия каждой гармоники определенным движениям в упражнении «рывок», и здесь не будет описываться значение остальных гармоник. На рис. 3, А при одноцикловом дыхании пиковая частота для $\bar{V}(t)$ находится в области 0,32–0,34 Гц, но пиковая частота $R(t)_{верт}$ находится в области второй гармоники 0,63–0,66 Гц. Здесь пиковые частоты $R(t)_{верт}$ и $\bar{V}(t)$ не совпадают. В области первой гармоники наблюдается наличие частотных составляющих $R(t)_{верт}$, однако в этом случае, на наш взгляд, нельзя говорить о захвате дыхательных движений двигательными движениями и о ЛРС. Однако при трех- и четырехцикловом дыхании, как показано на рис. 3, Б и В, пиковые частоты $R(t)_{верт}$ и $\bar{V}(t)$ совпадают. Следует отметить, что в области всех гармоник $R(t)_{верт}$ есть частотные составляющие $\bar{V}(t)$. Следовательно, все усилия, которые отражаются в движениях кинематических звеньев, в определенных частотных диапазонах воздействуют на функцию внешнего дыхания в большей или в меньшей степени. Но при четырехцикловом дыхании (рис. 3, В) наблюдается более тесная связь между $R(t)_{верт}$ и $\bar{V}(t)$. Этот факт позволяет принять сделанное выше предположение о том, что сами усилия, создающие движение системы «спортсмен – гиря», вызывают дыхательные движения на определенных частотах. В результате анализа полученных данных методом быстрого преобразования Фурье (БПФ) только у 4 студентов (44,4%) было обнаружено совпадение пиковых частот $R(t)_{верт}$ и $\bar{V}(t)$. Отсутствие ЛРС у 5 испытуемых (55,6%) показывает, что испытуемые решают двигательную задачу за счет силовых качеств, а не за счет техники упражнения и повышения экономичности движений.

Заключение

1. Локомоторно-респираторное сопряжение в упражнении «рывок» выражается в совпадении пиковых частотных составляющих потока дыхательного воздуха с пиковыми частотными составляющими вертикальной реакции опоры.

2. Подтверждается предположение о том, что при ЛРС в упражнении «рывок» частот-

ные составляющие $R(t)_{верт}$ и $\bar{V}(t)$ совпадают, означая, что сами усилия, создающие движение системы «спортсмен – гиря», могут вызывать дыхательные движения, облегчая условия функции внешнего дыхания.

3. Степень совпадения частот сигналов является критерием качества дыхания и зависит от степени эффективности и экономичности двигательных действий в упражнении «рывок».

4. Отсутствие локомоторно-респираторной связи у испытуемых указывает на то, что решение двигательной задачи происходит за счет силовых качеств, а не за счет техники упражнения и повышения экономичности движений.

5. При четырехцикловом дыхании значение ДО у испытуемого близко к значению ДО в покое. В этом случае, на наш взгляд, дыхательные мышцы испытывают меньшее напряжение, чем при одно- или трехцикловом дыхании.

Список литературы

1. Ципин Л.Л., Петров В.М. Экономизация движений в гиревом спорте // Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения. Сборник научных трудов международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава «Научное обеспечение развития сельского хозяйства и снижение технологических рисков в продовольственной сфере»: в 2-частях. 2017. С. 345–349.
2. Шульгин Г.Е., Фураев А.Н. Взаимосвязи некоторых биомеханических параметров рывка гири // Ученые записки университета Лесгафта. 2018. № 8 (162). С. 217–222.
3. Hérent C., Diem S., Fortin G., Bouvier J. Independent respiratory and locomotor rhythms in running mice. 2020. DOI: 10.1101/2020.08.09.242768.
4. Fei Gu, Jianwei Niu, Sajal K. Das, Zhenxue He, Xin Jin. Detecting breathing frequency and maintaining a proper running rhythm, Pervasive and Mobile Computing. 2017. V. 42. P. 498–512. DOI: 10.1016/j.pmcj.2017.06.015.
5. Kevin Boldt, Anthony Killick, and Walter Herzog. Quadrupedal Locomotion-Respiration Entrainment and Metabolic Economy in Cross-Country Skiers. Journal of Applied Biomechanics. 2016. V. 32: Is. 1. P. 1–6. DOI: 10.1123/jab.2014-0243.
6. Tiller N.B., Price M.J., Campbell I.G. et al. Effect of cadence on locomotor-respiratory coupling during upper-body exercise. Eur. J. Appl. Physiol. 2017. V. 117. P. 279–287. DOI: 10.1007/s00421-016-3517-5.
7. 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. V. 34 (6). P. 1625–1633. DOI: 10.1519/JSC.0000000000002588.
8. Гавриш Т.В. Модель оценки комплексной подготовленности и эффективности кардиореспираторной реабилитации спортсменов в гиревом спорте // Вестник Академии энциклопедических наук. 2018. № 4 (33). С. 36–44.
9. Миняев В.И., Маркова К.Б., Миняева А.В. Сравнительная характеристика объемной структуры жизненной емкости легких мужчин и женщин // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Биология и экология. 2007. № 5. С. 15–21.
10. Тихонов В.Ф. Внешнее дыхание человека как система автоматического управления легочной вентиляцией // Наука и спорт: современные тенденции. 2017. Т. 14. № 1. С. 94–99.