

УДК 796.012.49:612.211

ОСОБЕННОСТЬ ЛОКОМОТОРНО-РЕСПИРАТОРНОГО СОПРЯЖЕНИЯ В ПРЫЖКОВЫХ УПРАЖНЕНИЯХ

Тихонов В.Ф.

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

Известно, что двигательные действия в прыжковых упражнениях вызывают специфический процесс вовлечения грудной стенки человека в непроизвольные циклические дыхательные движения. Цель исследования заключается в выявлении особенностей локомоторно-респираторных сопряжений (ЛРС) в прыжковых упражнениях «прыжки на месте» и «прыжки в высоту с места» путем анализа частотных спектров реакции опоры и частотных спектров дыхания у испытуемых. Испытуемые, десять студентов 19–20 лет, выполняли упражнения в течение 30 с, стоя на тензоплатформе. Датчик спирографа закреплялся на шлеме, а сам спирограф с регистратором сигналов с помощью ремня закреплялся на поясе. По графикам изменения вертикальной реакции опоры ($R(t)_{\text{верт}}$, Н), дыхательного объема ($V_I(t)$, л) и объемной скорости воздушного потока при дыхании ($\bar{V}(t)$, л/с) оценивалось качество ЛРС при выполнении упражнений. Анализ частотных спектров сигналов $R(t)_{\text{верт}}$, $V_I(t)$ и $\bar{V}(t)$ выполнялся методом быстрого преобразования Фурье. Было обнаружено, что ЛРС в прыжковых упражнениях имеет две составляющие стороны. Первая, общепринятая – кинематическая, определяется отношением частоты дыхания к частоте прыжков. Вторая, требующая дальнейшего исследования – динамическая, определяется отношением пиковых частот $R(t)_{\text{верт}}$ и $V_I(t)$. Совпадение пиковых частот $R(t)_{\text{верт}}$ и $V_I(t)$ обнаружено у семи студентов. Отсутствие ЛРС у трех испытуемых показывает на то, что испытуемые решают двигательную задачу в условиях задержки дыхания или неритмичного дыхания, что приводит к избыточным двигательным действиям и снижению экономичности движений. Предполагается, что ЛРС является интегральным критерием техники двигательных действий и качества дыхания в прыжковых упражнениях.

Ключевые слова: прыжки, локомоторно-респираторное сопряжение, тензометрическая платформа, спирограф, быстрое преобразование Фурье

FEATURES OF LOCOMOTOR-RESPIRATORY COUPLES IN JUMPING EXERCISES

Tikhonov V.F.

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

It is known that motor actions in jumping exercises cause a specific process of involvement of the human chest wall in involuntary cyclic respiratory movements. The purpose of the study is to identify the features of locomotor-respiratory junctions (LRC) in jumping exercises “jumps in place” and “high jumps from a place” by analyzing the frequency spectra of the support reaction and the frequency spectra of breathing in the subjects. The subjects, ten students aged 19–20, performed the exercises for 30 seconds standing on the force plate. The sensor of the Spirograph was attached to the helmet; the Spirograph with the signal recorder was attached to the lower back with a belt. According to the graphs of changes in the vertical reaction of the support ($R(t)_{\text{vert}}$, N), tidal volume ($V_I(t)$, l), and volumetric airflow rate during breathing ($\bar{V}(t)$, l/s), the quality of LRS was assessed when performing exercises. The analysis of the frequency spectra of the signals $R(t)_{\text{vert}}$, $V_I(t)$ and $\bar{V}(t)$ was performed by the fast Fourier transform method. It was found that the LRC in jumping exercises has two components. The first, generally accepted – is kinematic, determined by the ratio of the respiratory rate to the jumps rate. The second, which requires further research – is dynamic, determined by the ratio of $R(t)_{\text{vert}}$ peak frequencies and of $\bar{V}(t)$ peak frequencies. Coincidence of peak frequencies $R(t)_{\text{vert}}$ and $V_I(t)$ was found in 7 students. The absence of LRS in three subjects indicates that the subjects solve a motor task in conditions of breath retention or irregular breathing, which leads to motor actions excessive and the efficiency decrease of movements. It is assumed that in jumping exercises the LRS is an integral criterion for the technique of motor actions and the quality of breathing.

Keywords: jumping, locomotor respiratory coupling, force plate, spirometer, Fast Fourier Transform

Для повышения эффективности и экономичности физических упражнений в спортивной подготовке существует проблема сопряжения дыхания с двигательными действиями. Предлагаются различные общепринятые и специальные методы дыхательных упражнений: дыхание с добавочным сопротивлением, дыхание гиперкапническими и гипоксическими газовыми смесями [1] и др. Совершенствуя функцию внешнего дыхания, этими методами повышается работоспособность респираторной мускулатуры, повышается устойчивость

организма к гипоксии, тканевое дыхание и транспорт газов в организме у спортсменов в физических упражнениях [1]. Общепринятые методы выполнения физических упражнений не регламентируют способы дыхания в прыжковых общеразвивающих физических упражнениях. Подразумевается, что в простых физических упражнениях непроизвольные дыхательные движения формируются сами собой рефлекторно [1]. Однако простое упражнение «прыжки на месте со скакалкой» одни испытуемые могут выполнять 10–30 мин непрерывно, а дру-

гие – лишь 1–2 мин из-за потери контроля над дыханием. Противоречия возникают вследствие отсутствия единой теории возникновения произвольных дыхательных циклов в физических упражнениях. На наш взгляд, это связано с тем, что основные положения физиологии дыхания при мышечной деятельности рассматриваются вне связи с двигательными действиями. Предлагаются методики повышения функции дыхательной системы путем затруднения дыхания методами повышения сопротивления дыханию, дыханию гипоксическими и гиперкапническими газовыми смесями. Некоторые ученые считают, что гиповентиляционное дыхание является стимулятором физической работоспособности [1, 2]. Известно такое положение, что двигательная система реагирует и избирает ту частоту движений, которая совпадает с резонансной частотой отдельных кинематических звеньев, поэтому «колебания при резонансе мышечно-сухожильной структуры дают максимальную амплитуду движения при наименьших усилиях и энергетических затратах» [3]. Известно, что двигательные действия в прыжковых упражнениях вызывают специфический процесс вовлечения грудной стенки человека в произвольные циклические дыхательные движения [4, 5]. Различные примеры локомоторно-респираторного сопряжения (ЛРС) приводятся в доступной литературе. Однако механизмы, лежащие в основе локомоторно-респираторного сопряжения (или несопряжения) именно в физических упражнениях, недостаточно изучены [4, 6]. Также следует отметить, что в условиях отсутствия собственных усилий человека при его раскачивании на качелях была обнаружена «закономерная связь между пиком максимальной вертикальной составляющей ускорения и выдохом, при прохождении качелями нижней точки, а также связь между минимальными значениями этой составляющей и вдохом в двух крайних положениях качелей» [6]. Также ученые наблюдали, что «локомоторно-респираторное сопряжение (ЛРС) снижает метаболические затраты в лыжных гонках примерно на 4%» [7]. В некоторых исследованиях обнаружено, что частота дыхания является хорошим показателем физических усилий во время ускоренных челночных пробегов [8]. Общеизвестно, что в основе ЛРС лежат механизмы: 1) нейронные взаимодействия между центральными и периферийными регуляторами передвижения и дыхания; 2) механические взаимодействия между двигательной динамикой и дыхательной механикой. «ЛРС указывает на совершенствование двигательных

действий, на снижение метаболических затрат, а также на повышение эффективности аэробного энергообеспечения» [9]. В некоторых работах отмечено увеличение ЛРС при повышении частоты движения конечностей [10]. Предположение о том, что «двигательная система реагирует и избирает ту частоту движений, которая совпадает с резонансной частотой отдельных кинематических звеньев» подтверждается в ряде источников» [3, 6, 10]. Таким образом, повышение эффективности и экономичности в физических упражнениях достигается спортсменом путем приобретения специфической двигательной системы. В такой системе дыхательные движения могут приводиться к состоянию, близкому к резонансному с результирующей волной усилий, проходящей по кинематическим звеньям двигательного аппарата [4, 6].

Цель исследования заключается в выявлении особенностей локомоторно-респираторных сопряжений в прыжковых упражнениях «прыжки на месте» и «прыжки в высоту с места» путем анализа частотных спектров реакции опоры и частотных спектров дыхания у испытуемых.

Материалы и методы исследования

Испытуемые, десять студентов 19–20 лет, выполняли упражнения в течение 30 с, стоя на тензометрической платформе. Датчик спирографа закреплялся на шлеме, а сам спирограф с регистратором сигналов с помощью ремня закреплялся на поясе. Далее в тексте векторные величины выделены жирным шрифтом. Качество ЛРС при выполнении упражнений оценивалось по графикам вертикальной реакции опоры (**$R(t)_{\text{верт}}$** , Н), дыхательного объема ($V_T(t)$, л) и объемной скорости воздушного потока при дыхании ($\dot{V}(t)$, л/с). В выражении $V_T(t)$ нижний индекс «Т» означает «Tidal volume» – международное обозначение дыхательного объема. Анализ частотных составляющих сигналов **$R(t)_{\text{верт}}$** , $V_T(t)$ и $\dot{V}(t)$ выполнялся с использованием метода быстрого преобразования Фурье (БПФ).

Из курса биомеханики известно, что в физических упражнениях, в том числе и в прыжковых, кинематические звенья тела имеют различные частоты движения, вследствие чего образуется суммарный частотный спектр сигналов **$R(t)_{\text{верт}}$** . Также дыхательные движения отражаются в частотном спектре $V_T(t)$ и $\dot{V}(t)$. Отсюда можно сделать предположение, что при ЛРС частотные спектры сигналов в некоторых диапазонах частот будут совпадать и в прыжковых упражнениях. Это предположение основано на том, «что циклические двига-

тельные действия в физических упражнениях вовлекают грудную стенку человека в специфический процесс «непроизвольных циклических дыхательных движений» [4, 5].

Было проведено десять занятий, в течение которых было сделано 98 измерений.

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 1 и 3 показаны «сырые» графики сигналов. На рис. 1 можно качественно оценить наличие ЛРС по совпадению частот сигналов $R(t)_{\text{верт}}$, $V_T(t)$ и $\bar{V}(t)$ в упражнении «прыжки на месте». Однако трудно провести визуальный анализ графиков в упражнении «прыжки в высоту с места» (рис. 3). На рис. 2 и 4 показаны частотные спектры регистрируемых сигналов после преобразования методом БПФ.

На рис. 2 пиковые частоты сигналов $R(t)_{\text{верт}}$, $V_T(t)$ и $\bar{V}(t)$ совпадают на первой гармонике в диапазоне частот 1,95–2,15 Гц. Произведением значений частоты в Гц на 60 получим частоту в минуту. Например, 2 Гц * 60 = 120 циклов/мин. В данном случае показатели пиковой частоты указывают на то, что испытуемый совершал прыжки с частотой примерно 120 прыжков в минуту. С такой же частотой совершались дыхательные движения, отраженные в показателях $V_T(t)$ и $\bar{V}(t)$.

На рис. 3 отображены три прыжка в высоту с места за 6 с, что равно 30 прыжкам/мин. Также в каждом прыжке в высоту с места наблюдаются три пика $R(t)_{\text{верт}}$, частота этих пиков равна 90 раз/мин. В частотном спектре сигналов (рис. 4) частота дыхательного объема (частота дыхания, циклов/мин) совпадает с частотой вертикальной реакции опоры в первой гармонике (частота прыжков, прыжков/мин) в области 0,49–0,59 Гц, что примерно равно 30 циклам/мин. Таким образом, здесь наблюдается кинематическая составляющая ЛРС – совпадение частоты дыхания с частотой прыжков в высоту с места. На рис. 4 также показано совпадение на третьей гармонике пиковых частот $R(t)_{\text{верт}}$ и $\bar{V}(t)$ в диапазоне 1,46–1,56 Гц. То есть, как указано выше, основные усилия в двигательных действиях выполнялись примерно в диапазоне частот 90 раз/мин. В этом же диапазоне частот находится частота объемной скорости воздушного потока при дыхании $\bar{V}(t)$. Здесь наблюдается динамическая составляющая ЛРС – совпадение пиковых частот в третьей гармонике $R(t)_{\text{верт}}$ и $\bar{V}(t)$.

В рамках данной работы нет необходимости определения соответствия каждой гармоники $R(t)_{\text{верт}}$ отдельным гармоникам $V_T(t)$ и $\bar{V}(t)$ в прыжковых упражнениях

и здесь не раскрывается значение гармоник, следующих за первой. Из приведенных графиков следует, что в области всех гармоник $R(t)_{\text{верт}}$ есть частотные составляющие $\bar{V}(t)$. Следовательно, все усилия в прыжковых упражнениях в отдельных частотных диапазонах воздействуют на дыхательные движения.

В результате анализа полученных данных методом быстрого преобразования Фурье (БПФ) в упражнениях «прыжки на месте» и «прыжки в высоту с места», в начале исследования у четверых испытуемых (40,0%) было обнаружено совпадение пиковых частот $R(t)_{\text{верт}}$ и $\bar{V}(t)$. Четверо испытуемых (40,0%) показали неритмичное дыхание, а двое (20,0%) выполняли упражнения с задержкой дыхания. Однако в конце этапа испытаний (семестра) совпадение пиковых частот $R(t)_{\text{верт}}$ и $\bar{V}(t)$ обнаружено у семи испытуемых (70,0%) (рис. 1–4). Очевидно, что ЛРС является интегральным критерием техники двигательных действий и качества дыхания в прыжковых общеразвивающих физических упражнениях.

Известно, что «колебания при резонансе мышечно-сухожильной структуры дают максимальную амплитуду движения при наименьших усилиях и энергетических затратах» [3, 7]. Следовательно, эффективность и экономичность двигательных действий в физических упражнениях достигается спортсменом, когда он приобретает специфическую двигательную систему. Мы предполагаем, что в такой системе дыхательные движения могут приводиться к состоянию, близкому к резонансному с результирующей волной усилий, проходящей по кинематическим звеньям двигательного аппарата. Необходимо принять сделанное выше предположение о том, что в прыжковых упражнениях дыхательные движения могут приводиться к состоянию, близкому к резонансному с результирующей волной усилий, проходящей по кинематическим звеньям двигательного аппарата. Трое испытуемых (30,0%) показали отсутствие ЛРС в упражнениях. Это указывает на то, что они решают двигательную задачу в условиях задержки дыхания или неритмичного дыхания, что приводит к избыточным двигательным действиям и снижению экономичности движений. Однако показатели дыхательного объема, отражающие частоту дыхания в упражнениях, оказались менее информативными. Так, в конце эксперимента пиковые частоты $V_T(t)$ совпадали с пиковыми частотами $R(t)_{\text{верт}}$ лишь у четверых (40,0%) испытуемых (рис. 2) и ни одного случая не зафиксировано в упражнении «прыжки в высоту с места» (рис. 4).

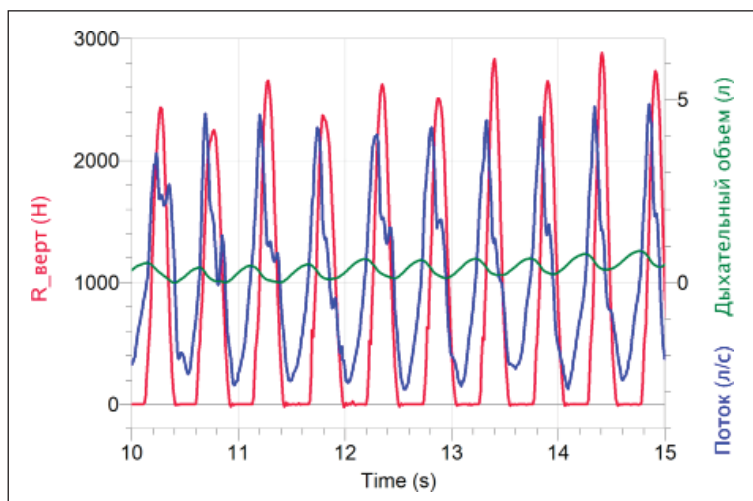


Рис. 1. Графики сигналов в упражнении «прыжки на месте»

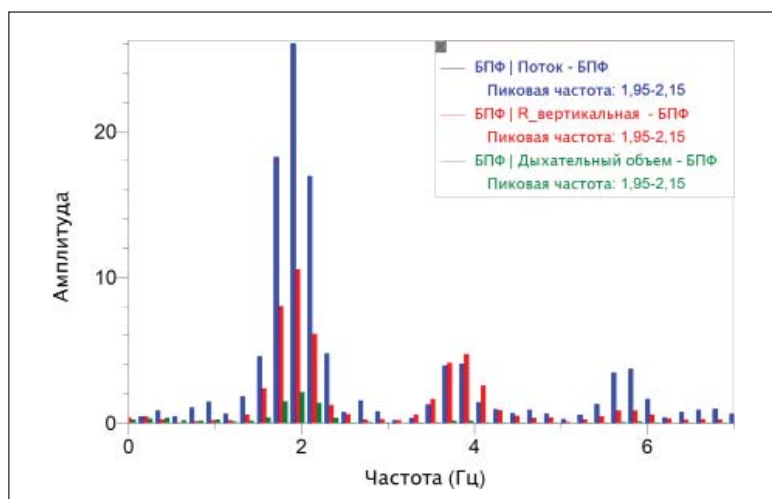


Рис. 2. Частотный спектр сигналов в упражнении «прыжки на месте»

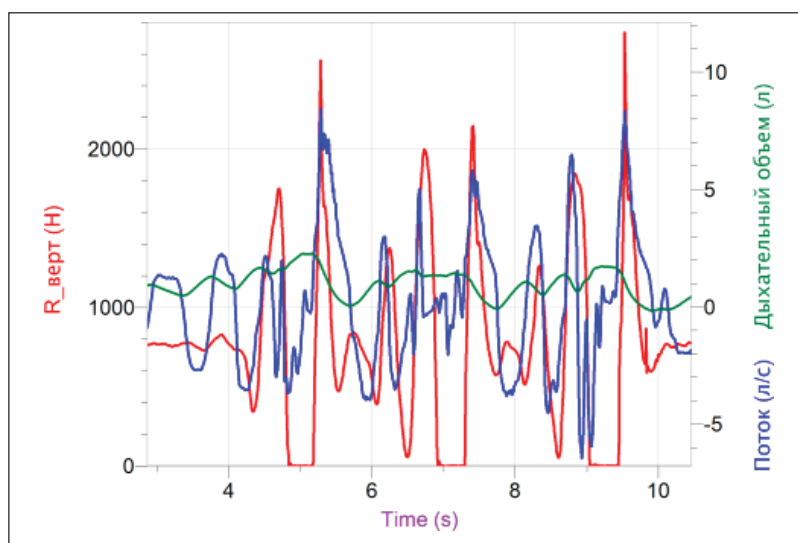


Рис. 3. Графики сигналов в упражнении «прыжки в высоту с места»

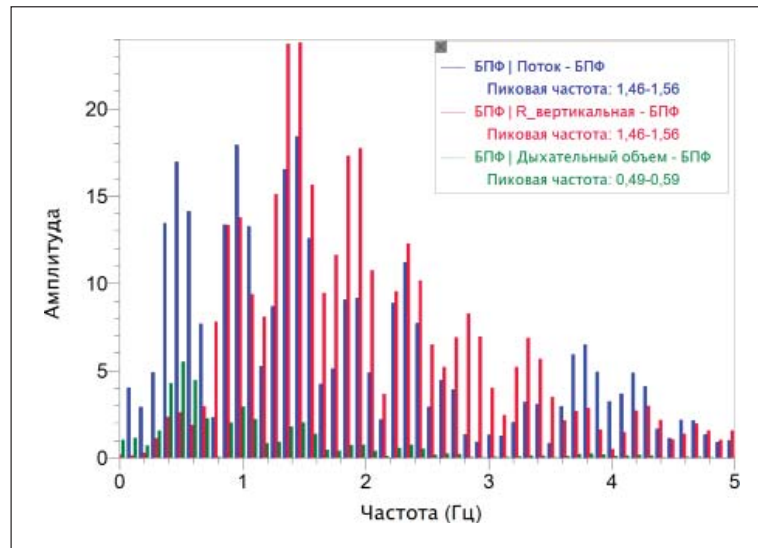


Рис. 4. Частотный спектр сигналов в упражнении «прыжки в высоту с места»

Результаты исследования свидетельствуют о том, что дыхательные и локомоторные ритмы связаны. Закономерности локомоторно-респираторного сопряжения требуют дальнейшего и более углубленного изучения.

Выводы

1. ЛРС в прыжковых упражнениях имеет две составляющие. Первая, общепринятая – кинематическая, определяемая отношением частоты дыхания к частоте прыжков. Вторая, требующая дальнейшего исследования – динамическая, определяемая отношением пиковых частот $R(t)_{верт}$ и $\bar{V}(t)$.

2. Подтверждается предположение о том, что в прыжковых упражнениях частотные составляющие $R(t)_{верт}$ и $\bar{V}(t)$ при ЛРС совпадают, означая, что грудная стенка вовлекается в движение двигательными действиями.

3. Совпадение пиковых частот $R(t)_{верт}$ и $\bar{V}(t)$ является критерием техники в прыжковых упражнениях.

4. Отсутствие ЛРС у испытуемых при решении двигательных задач путем задержки дыхания или неритмичного дыхания сопровождается избыточными двигательными действиями и снижением экономичности движений.

Список литературы

1. Бреслав И.С., Волков Н.И., Тамбовцева Р.В. Дыхание и мышечная активность человека в спорте. М.: Советский спорт, 2013. 336 с.

2. Классина С.Я., Фудин Н.А. Влияние произвольного гиповентиляционного дыхания на физическую работоспособность и «удельную физиологическую цену» у спортсменов с различным уровнем тренированности // Вестник новых медицинских технологий. 2019. Т. 26. № 3. С. 81–84. DOI: 10.24411/1609-2163-2019-16430.

3. Попов Г.И., Маркарян В.С. Ударные волновые процессы в опорных взаимодействиях в спорте // Теория и практика физической культуры. 2018. № 10. С. 88–91.

4. 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. DOI: 10.17513/snt.38723.

5. Тихонов В.Ф. Внешнее дыхание человека как система автоматического управления легочной вентиляцией // Наука и спорт: современные тенденции. 2017. № 1. С. 94–99.

6. Тихонов В.Ф., Колесникова О.Б., Орешкина Т.И., Яковлева Л.А. Особенности дыхания у человека в условиях воздействия вертикальных ускорений // Актуальные проблемы физической культуры, спорта и здоровья: материалы научно-практической конференции. Чебоксары: ЧГУ имени И.Н. Ульянова, 2017. С. 146–150.

7. Boldt K., Killick A. and Herzog W. Quadrupedal Locomotion-Respiration Entrainment and Metabolic Economy in Cross-Country Skiers. Journal of Applied Biomechanics. 32 (1). P. 1–6.

8. Nicolò A., Montini M., Girardi M., Felici F., Bazzucchi I. and Sacchetti M. Respiratory Frequency as a Marker of Physical Effort During High-Intensity Interval Training in Soccer Players. International Journal of Sports Physiology and Performance. 15 (1). P. 73–80.

9. Stickford A.S.L. and Stickford J.L. Ventilation and Locomotion in Humans: Mechanisms, Implications, and Perturbations to the Coupling of These Two Rhythms. Springer Science Reviews. 2 (1–2). P. 95–118. DOI: 10.1007/s40362-014-0020-4.

10. Tiller N.B., Price M.J., Campbell I.G. and Romer L.M. Effect of cadence on locomotor-respiratory coupling during upper-body exercise. European Journal of Applied Physiology. 117 (2). P. 279–287. DOI: 10.1007/s00421-016-3517-5.