УДК 612.211:796.012.6

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ НЕПРОИЗВОЛЬНОГО ДЫХАНИЯ У ЧЕЛОВЕКА С ВЕРТИКАЛЬНЫМИ УСКОРЕНИЯМИ ДВИЖЕНИЯ ТУЛОВИЩА

Тихонов В.Ф.

*Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», Чебоксары,
e-mail: letterpa@mail.ru*

Известно, что существует тесная связь между двигательными действиями человека и его дыханием. Однако теории нервной и гуморальной регуляции дыхания лишь отчасти могут объяснить особенности дыхания человека в условиях повышенной двигательной активности. В данной работе целью исследования является определение механизма возникновения непроизвольных актов вдоха и выдоха у испытуемых при отсутствии их собственных усилий для создания ускорений движения туловища. В эксперименте ускорения создавались при раскачивании испытуемого на качелях. Была обнаружена связь между пиком максимальной вертикальной составляющей ускорения и выдохом при прохождении качелей нижней точки, а также связь между минимальными значениями этой составляющей и вдохом в двух крайних положениях качелей. У спортсменов сдвиг фаз графика ускорения и пневмограммы дыхания на вдохе равен $0,21 \pm 0,05$ с, а на выдохе приближается к нулю – $0,05 \pm 0,01$ с, ($p < 0,05$). У испытуемых, не занимающихся спортом, также наблюдается взаимосвязь вертикальной составляющей ускорения движения туловища. Однако у них наблюдается непроизвольное отставание фаз пневмограммы от графика вертикальных ускорений на вдохе $0,90 \pm 0,09$ с и на выдохе $0,61 \pm 0,05$ с, ($p < 0,01$). Следовательно, воздействие вертикальных переменных ускорений движения туловища человека приводит к возникновению непроизвольных актов вдоха и выдоха. Очевидно, что при разработке методик обучения рациональному дыханию в физических упражнениях необходимо учитывать характер изменения вертикальной составляющей ускорения, присущего этим физическим упражнениям.

Ключевые слова: дыхание человека, качели, ускорение движения туловища, инерция, гравитация, реципрокная взаимосвязь, дыхание и движение, дисперсионный анализ

RESEARCH OF INTERRELATION OF INVOLUNTARY BREATHING WITH VERTICAL ACCELERATION OF HUMAN BODY MOVEMENT

Tikhonov V.F.

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

It is known that there is a close correlation between the motor actions of man and his breathing. However, existing theories of nervous and humoral regulation of respiration can only partly explained to features human breathing in high physical activity. The purpose of the study is to determine the mechanism of involuntary acts of inhalation and exhalation in the subjects in the absence of their own efforts to create an acceleration of movement of the body. Theoretical calculations are given in the work show the possibility of acts of inspiration and expiration person without his respiratory muscles, with certain relations between the weight change of the chest wall and the forces of inertia. In the experiment, the acceleration of the test created with rocking action on a swing. As a result, found an association between the peak maximum vertical component of acceleration and exhalation, while passing the lowest point of the swing, and the relationship between the minimum values of this component and inhalation in the two extreme positions of the swing. The phase shift of graphics acceleration and breathing pattern while inhaling is $0,21 \pm 0,05$ sec, and while exhaling close to zero – $0,05 \pm 0,01$ sec., for athletes ($p < 0,05$). In subjects not involved in sports, there is a backlog chart involuntary breathing pattern of the graph vertical accelerations on inspiration $0,90 \pm 0,09$ sec and exhalation $0,61 \pm 0,05$ sec, ($p < 0,01$). Therefore, the effect of change of acceleration along the longitudinal axis of the body of man leads to involuntary acts of inspiration and expiration. Obviously, the development of teaching methods in the management breathing in the physical exercise should take into account the variation vertical component of the acceleration for the inherent this exercise.

Keywords: human breathing, swing, acceleration of the torso, inertia, gravity, reciprocal relationship, breathing and movement, analysis of variance

Многие факты свидетельствуют о связи между фазами дыхания и характером рабочих движений [1, 6]. Любое движение, требующее значительного усилия, сопровождается выдохом, вдох же совпадает с движением более легким [4]. Начиная с 60-х годов прошлого столетия известные ученые И.М. Серопегин и В.С. Фарфель ставили вопрос: «...почему только выдыхательные мышцы участвуют во всех усилиях, даже если последние направлены то в одну, то

в другую сторону, если их развивают как сгибательные, так и разгибательные мышцы того же звена?» [4]. Наши исследования показали [5], что акцентированное усилие и выдох в физических упражнениях совпадают с фазой максимальной вертикальной составляющей реакции опоры, т.е. в фазе наибольшего веса спортсмена на опоре. Мы предполагаем, что формирование непроизвольных актов выдоха является следствием того, что спортсмен, перед акцентирован-

ным усилием, активно использует силы инерции и неосознанно «утяжеляет» себя в подготовительной фазе двигательного действия. Такое «утяжеление» может происходить как при сгибании, так и при разгибании конечностей, при движениях туловища. Известно, что увеличение веса человека на опоре (даже мгновенное) приведет к повышению развиваемого рабочего усилия (удар рукой, ногой, бросок снаряда и т.п.). Следует ожидать, что при этом сила инерции, складываясь с силой тяжести, воздействует на грудную стенку, сдавливая и уменьшая объем грудной полости, вызывая произвольный акт выдоха. Но такое предположение ставит другой вопрос: могут ли силы инерции вызывать акты вдоха и выдоха при отсутствии собственных движений спортсмена в условиях внешнего воздействия на него переменных ускорений в вертикальном направлении? Действие силы инерции отражается в переменных ускорениях исследуемого объекта. Поэтому мы выдвигаем следующую гипотезу

Гипотеза. Переменные ускорения движения туловища человека в вертикальных направлениях приводят к возникновению произвольных актов вдоха и выдоха.

Цель – исследование произвольного дыхания в условиях переменных вертикальных ускорений у испытуемых при отсутствии их собственных движений и усилий.

Задачи:

1. Выявить теоретические предпосылки влияния вертикальной составляющей ускорения движения туловища на произвольные акты вдоха и выдоха человека.

2. Провести одновременную регистрацию изменения вертикальных ускорений и пневмограммы дыхания у испытуемых на подвесных качелях и качелях-балансире.

3. Определить зависимость произвольного дыхания у испытуемых от произвольного изменения экспериментатором периода и амплитуды колебания качелей.

4. Выполнить анализ взаимосвязи дыхания и вертикальных ускорений движения туловища у испытуемых в зависимости от уровня их двигательного опыта.

Испытуемые. В исследовании приняли участие студенты не физкультурных факультетов ($n = 23$), не занимающихся спортом, а также студенты-спортсмены, имеющие I спортивный разряд по легкой атлетике – 4, по вольной борьбе – 4 и по гиревому спорту – 4 ($n = 12$).

Материалы и методы исследования

С целью создания ускорений движения туловища испытуемые, неподвижно сидящие на качелях, раскачивались экспериментатором. Проводилась синхронная регистрация вертикальной составляющей ускорения движения испытуемого и скорость потока воздуха в датчике спирографа (пневмограмма дыхания). Скорость потока воздуха на вдохе считается положительной (движение графика пневмограммы вверх выше изолинии), а на выдохе – отрицательной (движение графика вниз ниже изолинии). Ускорение считается положительным, когда график ускорения поднимается вверх, и отрицательным, когда график опускается вниз.

В работе использовался датчик акселерометра DE-ACCM6G, который крепился на поясе у испытуемых, а также спирограф микропроцессорный СМП – 21/01 – «Р-Д». Прием информации от указанных внешних устройств и синхронная передача на компьютер осуществлялась с помощью цифрового многоканального самописца «S – Recorder – E». Двухфакторный дисперсионный анализ результатов проводился в программе Excell. Вычислялись средние значения запаздывания экстремумов пневмограммы дыхания на вдохе и на выдохе от экстремумов вертикальной составляющей ускорения движения туловища и их дисперсию ($X \pm \sigma$).

Теоретические предпосылки гипотезы. В нашем эксперименте система отсчета, связанная с движением грудной стенки при раскачивании человека на качелях относительно земли, является неинерциальной системой отсчета. Известно, что в неинерциальных системах отсчета необходимо ко всем реальным силам (действующим со стороны других тел) добавить силу инерции

$$\vec{F}_{in} = -\vec{a}_{in} \times m, \quad (1)$$

где $\vec{F}_{in}$ – сила инерции, $\vec{a}_{in}$ – ускорение системы, m – масса системы.

Рассмотрим условия равновесия для движения грудной стенки на опоре (позвоночнике), неподвижной относительно скамейки качелей. В сагиттальной плоскости это условие соблюдается при равенстве нулю суммы моментов всех сил, действующих на центр масс грудной стенки

$$\sum_{i=1}^n \vec{M}_i = (\vec{P} + \vec{F}_g + \vec{F}_{el} + \vec{F}_m + \vec{F}_{in}) \cdot d_i = 0, \quad (2)$$

где $\vec{P}$ – вес грудной стенки на опоре (позвоночнике), $\vec{F}_g$ – сила тяжести грудной стенки, $\vec{F}_{el}$ – сила упругости эластичных элементов грудной стенки и легких, $\vec{F}_m$ – сила дыхательных мышц, $\vec{F}_{in}$ – сила инерции, d_i – расстояние от позвоночника до центра масс. Из формулы (2) следует выражение

$$\vec{P} + \vec{F}_g + \vec{F}_{el} + \vec{F}_m + \vec{F}_{in} = 0. \quad (3)$$

В проекции на вертикальную ось Z (относительно скамейки) это уравнение можно записать в скалярном виде

$$P = mg \pm ma_m \pm ma_{in} - kZ = m \cdot (g \pm a_m \pm a_{in}) - kZ, \quad (4)$$

где m – масса грудной стенки, g – ускорение свободного падения, a_m – ускорение, создаваемое силой дыхательных мышц («+» при сокращении мышц выдоха, «-» при сокращении мышц вдоха), a_{in} – ускорение, создава-

мое силой инерции («+» при совпадении направления с вектором силы тяжести, «-» при противоположном направлении с силой тяжести), k – коэффициент упругости, выражающий эластические свойства грудной стенки и легких, Z – перемещение ребер грудной стенки в вертикальном направлении. Коэффициент « k » берем с минусом, т.к. сила тяжести и сила упругости грудной стенки противоположно направлены.

По мере того как объем грудной полости на вдохе увеличивается до уровня 60–75% от жизненной емкости легких (ЖЕЛ), отдача грудной клетки падает до нуля, т.е. грудная клетка приходит в состояние равновесия [2, 3]. На этом уровне вдоха мы полагаем значение Z в уравнении (4) равным нулю. На выдохе значение Z будет увеличиваться.

Рассмотрим два крайних случая для уравнения (4):

- 1) $g + a_m + a_{in} = a_{\max}$; $Z = Z_{\max}$; $P = P_{\max}$;
- 2) $g - a_m - a_{in} = 0$; при $g = a_m + a_{in}$; $Z = 0$; $P = 0$.

В первом случае, когда сила тяжести, сила мышц выдоха и сила инерции складываясь, преодолевают силу упругости грудной стенки, создаются условия для выдоха. Во втором случае ускорение системы действует в противоположную сторону вектора силы тяжести и становится равной ускорению свободного падения. Здесь силы упругости расширяют грудную полость на вдохе, а значит, и легкие до уровня 60–75% от ЖЕЛ [2, 3].

Таким образом, упрощенные теоретические выкладки показывают, что в условиях переменных ускорений туловища экскурсия грудной стенки может происходить как за счет дыхательных мышц, так и за счет силы инерции, возникающей вследствие больших ускорений.

Результаты исследования и их обсуждение

Экспериментальная часть исследования подтверждает выше изложенные теоретиче-

ские выкладки о влиянии знакопеременных вертикальных ускорений на формирование произвольного паттерна дыхания человека. Было обнаружено, что период колебаний подвесных качелей определяет период дыхания у испытуемых (рис. 1–2). Наблюдается реципрокное изменение синусоиды вертикального ускорения и пневмограммы дыхания. Однако графики вертикального ускорения и пневмограммы, имея одинаковый период колебания, сдвинуты по фазе.

Большие периоды колебания подвесных качелей ($T = 2,5$ с) с вертикальными ускорениями до $1,2 \pm 0,1$ g вызывают произвольное увеличение длительности дыхательных циклов с таким же периодом ($T = 2,5$ с) ($p < 0,05$). У всех испытуемых студентов с низкой двигательной активностью ($n = 23$, 100%) наблюдается отставание пневмограммы дыхания от графика вертикальных ускорений по фазе в среднем на вдохе на $0,90 \pm 0,09$ с, а на выдохе – $0,61 \pm 0,05$ с ($p < 0,01$). Такой характер произвольного дыхания наблюдался также у трех студентов-спортсменов (25%) (рис. 1).

Уменьшение периода колебания подвесных качелей вдвое ($T = 1,25$ с) приводит к увеличению вертикального ускорения до $1,5 \pm 0,2$ g. У некоторых студентов с низкой двигательной активностью ($n = 7$; 30,4%) и у спортсменов ($n = 11$; 91,7%) сдвиг фаз синусоиды вертикального ускорения и пневмограммы дыхания уменьшает на вдохе до $0,21 \pm 0,05$ с, а на выдохе приближается к нулю $0,05 \pm 0,01$ с (рис. 2), ($p < 0,05$).

Рис. 1. Взаимосвязь вертикального ускорения и дыхания у студентов с низкой двигательной активностью на подвесных качелях (1 – график вертикальной составляющей ускорения, 2 – пневмограмма дыхания)

Рис. 2. Взаимосвязь вертикального ускорения и дыхания у студентов-спортсменов на подвесных качелях (1 – график вертикальной составляющей ускорения, 2 – пневмограмма дыхания)

Дисперсионный анализ показал, что нулевая гипотеза об отсутствии эффекта фактора вертикальной составляющей ускорения на дыхание должна быть отклонена, так как расчетное значение $F = 11,15 > F\text{-критическое} = 3,95$, а $p = 0,001$. Также нулевая гипотеза об отсутствии взаимодействия вертикальной составляющей ускорения движения туловища и уровня двигательного опыта испытуемых отклоняется, так как расчетное значение $F = 68,57 > F\text{-критическое} = 2,71$, а $p < 0,01$. Следовательно, можно утверждать, что между ускорением и дыханием, как у студентов, так и у спортсменов существует тесная взаимосвязь.

На качелях-балансире у испытуемых была обнаружена та же взаимосвязь между пневмограммой дыхания и вертикальными ускорениями, как и на подвесных качелях. Однако при произвольном изменении периода колебания качелей-балансира экспериментатором («встряхивание»), у студентов с низкой двигательной активностью наблюдается полная задержка дыхания ($n = 23$, 100 %) (рис. 3). График пневмограммы при этом остается на одном уровне независимо от изменения графика ускорения. У студентов-спортсменов наблюдается взаимная реципрокная зависимость пневмограмм и графика ускорения ($n = 12$, 100 %) (рис. 4), ($p < 0,01$).

Полученные результаты позволяют принять выдвинутую гипотезу о том, что

воздействие на человека знакопеременных ускорений в вертикальных направлениях приводит к возникновению произвольных актов вдоха и выдоха.

Выводы

1. В условиях переменных ускорений туловища произвольная экскурсия грудной стенки теоретически может происходить как за счет дыхательных мышц, так и за счет силы инерции, возникающей вследствие больших ускорений.

2. В условиях отсутствия собственных локомоций произвольное дыхание у человека зависит от вертикальной составляющей ускорения движения туловища и периода колебания качелей.

3. У людей с высокой двигательной активностью произвольные паттерны дыхания тесно связаны с вертикальной составляющей ускорения движения туловища. Сдвиг по фазе синусоиды вертикального ускорения и пневмограммы дыхания на вдохе равен $0,21 \pm 0,05$ с, а на выдохе приближается к нулю – $0,05 \pm 0,01$ с, ($p < 0,05$).

4. У людей с низким уровнем двигательной активности происходит большее, в сравнении со спортсменами, произвольное отставание пневмограммы на вдохе ($0,90 \pm 0,09$ с) и на выдохе ($0,61 \pm 0,05$ с) от графика вертикальных ускорений ($p < 0,01$), а при внезапных изменениях периода колебания качелей-балансира происходит задержка дыхания;

Рис. 3. Отсутствие взаимосвязи вертикального ускорения и дыхания у студентов с низкой двигательной активностью на качелях-балансире (1 – график вертикальной составляющей ускорения, 2 – пневмограмма дыхания)

Рис. 4. Взаимосвязь вертикального ускорения и дыхания у студентов-спортсменов на качелях-балансире (1 – график вертикальной составляющей ускорения, 2 – пневмограмма дыхания)

5. Результаты исследования указывают на то, что при разработке методик обучения рациональному дыханию в физических упражнениях необходимо учитывать характер изменения вертикальной составляющей ускорения, присущего этим физическим упражнениям.

Список литературы

1. Бреслав И.С. Дыхание и мышечная активность человека в спорте: Руководство для изучающих физиологию человека / И.С. Бреслав, Н.И. Волков, Р.В. Тамбовцева. – М.: Советский спорт, 2013. – С. 57–64.

2. Гриппи М.А. Патофизиология легких. Изд. 2-е, исправ. / М.А. Гриппи. – М.: Бином, Х.: МТК-книга, 2005. – 304 с.

3. Дубровский В.И. Биомеханика: учеб. для сред. и высш. учеб. заведений / В. И. Дубровский, В. Н. Федорова. – 2-е изд. – М.: Изд-во ВЛАДОС-ПРЕСС, 2004. – С. 523.

4. Серопегин И.М. Влияние дыхания на движение / И.М. Серопегин, В.С. Фарфель // ЛФК и Массаж. – 2006. – № 12. – С. 58–62.

5. Тихонов В.Ф. Взаимосвязь показателей реакции опоры и пневмограмм дыхания в физических упражнениях / В.Ф. Тихонов // Вестник спортивной науки. – 2013. – № 3. – С. 39–42.

6. Фарфель В.С. Управление движениями в спорте / В.С. Фарфель. – 2-е изд., стереотип. – М.: Советский спорт, 2011. – С. 140–150.