

ВНЕШНЕЕ ДЫХАНИЕ ЧЕЛОВЕКА КАК СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛЕГОЧНОЙ ВЕНТИЛЯЦИЕЙ

В.Ф. Тихонов

Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, Чебоксары, Россия

Для связи с автором: e-mail: letterpa@mail.ru

Аннотация:

Представленные в литературе схемы управления легочной вентиляцией не рассматривают влияние внешних возмущающих сил на грудную стенку человека, которая является объектом управления в системе управления легочной вентиляцией. Однако выполнение физических упражнений сопровождается большими кратковременными ускорениями туловища человека в пространстве. Нами выдвигается гипотеза о возникновении механического контура регуляции дыхания под действием ускорения туловища как внешнего возмущающего воздействия. Целью исследования является исследование взаимодействия автономного, проприоцептивного и механического контуров при управлении легочной вентиляцией в физических упражнениях. Получены экспериментальные данные о взаимосвязи ускорений туловища и структуры дыхательных циклов в физических упражнениях. На основе экспериментальных данных разработана гипотетическая схема системы автоматического управления легочной вентиляцией в физических упражнениях.

Ключевые слова: легочная вентиляция, ускорение туловища, возмущающее воздействие, система автоматического управления.

PULMONARY RESPIRATION OF HUMAN IS THE AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF VENTILATION

V.F. Tikhonov

Chuvash State University, Cheboksary, Russia

Abstract:

Exercising is accompanied by large short-term accelerations of man body in space. However, pulmonary respiration control schemes presented in the literature do not consider the influence of external disturbing forces on chest wall of man. But the movement of the chest wall is the object of control in the system of automatic control of pulmonary respiration. We have put forward a hypothesis about the origin of the mechanical regulation of breathing circuit under the effect of the acceleration of the body as an external disturbance. The aim of the study is to investigate the interaction of autonomous, proprioceptive and mechanical circuits in the management of pulmonary respiration in physical exercise. The experimental data were obtained on the relationship of acceleration of the body and the structure of the respiratory cycles in physical exercise. On the basis of experimental data was designed a hypothetical scheme of automatic control system of pulmonary respiration in physical exercise.

Key words: pulmonary respiration, the acceleration of the body, the perturbation effects, the automatic control system.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что управление легочной вентиляцией, как и другими висцеральными функциями, является в своей основе автономным. Однако в отличие от других висцеральных функций человек легко управляет своим дыханием. Произвольное управление дыханием представляет собой поведенческий моторный вход в висцеральную систему дыхания [1; с. 187]. Осуществляя произвольное управление

дыханием, человек контролирует свои усилия, пользуясь афферентной сигнализацией, поступающей от механорецепторов дыхательной системы, прежде всего от проприорецепторов респираторных мышц [1; с. 207]. Представленные в литературе схемы взаимодействия автономного и произвольного управления легочной вентиляцией включают три контура обратных связей [1, 2]. В автономной регуляции легочной вентиляции рас-

сматриваются два контура обратных связей: механорецепторный и хеморецепторный. Механорецепторный контур обеспечивает энергетическую оптимизацию дыхательного акта. Хеморецепторный контур регулирует соответствие между уровнем легочной вентиляции и интенсивностью метаболизма, а также поддержание гомеостаза в организме. В целом автономный аппарат дыхательного контроля представляет собой систему автоматического управления [1]. Произвольная регуляция происходит по одному из этих трех контуров – по проприорецепторному контуру обратной связи. Сигнализация от проприорецепторов респираторных мышц отчетливо ощущается человеком.

Существует проблема использования научных теорий и существующих концепций непосредственно в тренировочной и соревновательной деятельности [3, 4]. На наш взгляд, главной причиной является то, что при рассмотрении особенностей функции вентиляторного аппарата во время мышечной деятельности в сравнении с покоем в научных литературных источниках не рассматривается особенность этой деятельности [5, 6]. Представленные в литературе схемы управления легочной вентиляцией не рассматривают влияние внешних возмущающих сил на грудную стенку человека, которая является объектом управления в данной системе автоматического управления легочной вентиляцией.

На основе вышеуказанных особенностей регуляции дыхания при мышечной деятельности нами выдвигается **гипотеза** о возникновении четвертого – механического – контура регуляции дыхания под действием ускорения туловища как внешнего возмущающего воздействия.

Целью исследования является разработка схемы взаимодействия автономного, проприорецептивного и механического контуров при управлении легочной вентиляцией в физических упражнениях.

Задачи исследования:

1. Изучение литературы, посвященной исследованиям управления дыхательными движениями.
2. Анализ экспериментальных данных о вза-

имосвязи ускорений туловища и структуры дыхательных циклов в физических упражнениях.

3. Разработка гипотетической схемы системы автоматического управления легочной вентиляцией в физических упражнениях.

МЕТОДЫ И ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Ранее нами исследовалось влияние вертикального ускорения туловища на произвольное возникновение вдоха и выдоха у испытуемых [5, 6, 7]. В исследованиях проводилась синхронная регистрация ускорения движения туловища и первой производной от дыхательного объема испытуемых – объемной скорости потока воздуха в датчике спирографа на вдохе и на выдохе. В работе использовался спирограф микропроцессорный СМП – 21/01 – «Р-Д», в котором путем небольшой доработки был выведен дополнительный электрический разъем для регистрации объемной скорости потока воздуха. Датчик спирографа закреплялся на шлеме, который испытуемый надевал во время эксперимента. Для регистрации ускорения движения туловища применялся датчик двухосевого акселерометра DE-ACCM6G. Датчик акселерометра крепился на середине пояса испытуемого. Прием информации от указанных внешних устройств и синхронная передача на компьютер осуществлялись с помощью цифрового многоканального самописца «S – Recorder – E».

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Выполнение физических упражнений сопровождается большими кратковременными ускорениями туловища человека в пространстве. Исследования отечественных ученых [3, 4] отмечают влияние физических упражнений на дыхание человека. В зарубежных источниках отмечается, что на пневмограмму дыхания (изменение объемной скорости потока воздуха во времени) накладываются волны более высокой частоты в соответствии с вертикальной составляющей ускорения [8, 9]. Однако указанные волны не принимаются во

внимание, а в некоторых исследованиях они убираются путем фильтрации сигнала [10].

В наших исследованиях с применением тензодинамометрической платформы [5] также была обнаружена тесная взаимосвязь объемной скорости потока дыхательного воздуха с вертикальной составляющей реакции опоры (рисунки 1, 2).

За одно приседание происходит два цикла дыхания (рисунок 1). Причем один дыхательный период происходит за $1,25 \pm 0,05$ с. Следует отметить закономерность того, что фазы вдоха приходятся на фазы уменьшения вертикальной составляющей опоры, а выдохи – на фазы увеличения. При ударах рукой по боксерской груше (рисунок 2) в момент самого удара на основную дыхательную волну с периодом $T=1,40 \pm 0,15$ с накладываются колебания с периодом 250 ± 50 мс во взаимосвязи с изменением вертикальной составляющей реакции опоры.

Известно, что программный тип (открытый контур) управления признается объяснительным принципом для баллистических движений, осуществляемых за 200-250 мс [11]. На рисунке 2 пики ускорений при ударе рукой по боксерской груше за короткое время (150–200 мс) указывают на баллистический характер движений. Следовательно, управление легочной вентиляцией в динамических фазах следует отнести к программному типу.

На основе вышеуказанных фактов можно предположить наличие механического контура управления дыханием в динамических фазах физических упражнений. При этом влияние ускорения туловища на функцию внешнего дыхания определяется проекцией вектора ускорения на ось, связанной с позвоночником, в краниальном или каудальном направлении.

Для разработки данного предположения в общепринятую схему взаимодействия автоном-

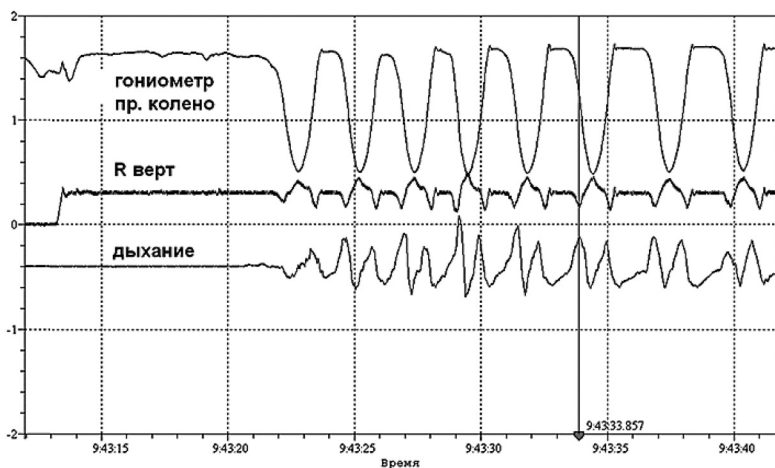


Рисунок 1 – Взаимосвязь изменения угла в коленном суставе, вертикальной составляющей реакции опоры и пневмограммы дыхания в упражнении «приседание». По оси абсцисс – время (часы, минуты, секунды), по оси ординат – шкала в условных единицах [5]

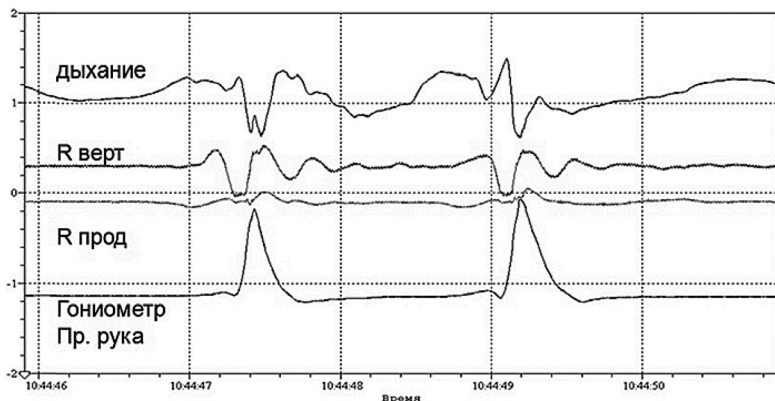


Рисунок 2 – Прямой удар рукой по боксерской груше. По оси абсцисс – время (часы, минуты, секунды), по оси ординат – шкала в условных единицах

ного и произвольного управления легочной вентиляцией [1, 2] были внесены некоторые изменения. В схему системы автоматического управления легочной вентиляцией на входе вентиляторного аппарата добавлены воздействие внешних «возмущающих» сил (ускорения) и механический контур обратной связи с центральным регулятором дыхания.

На рисунке 3 представлена общая схема системы автоматического управления объемной скоростью потока воздуха. Она включает следующие блоки: центральный регулятор дыхания (в стволе мозга) – ЦРД; внутреннюю дыхательную среду – ВДС; сенсорные входы хеморецепторного (ХР) – I и механорецепторного (МР) – II контуров автономного управления дыханием; сенсорный вход проприорецепторного (ПР) контура – III произвольного управления дыханием; моторный выход – вентиляторный аппарат (ВА). Вентиляторный аппарат включает в себя грудную стенку (ГС) и легкие (Л). Применяя форму описания систем автоматического управления, грудную стенку следует назвать приводом, на вход которого приходят сигналы управления $F_{упр}(t)$, $a(t)$, $F(t)$, а легкие (Л) являются объектом управления. Согласно выдвигаемому нами предположению, добавляется четвертый контур обратной связи IV – механический.

I контур. Механорецепторный вход в ЦРД служит для обеспечения не только соответствия легочной вентиляции потребностям метаболизма, но и энергетически оптимального режима работы респираторных мышц

в целом на протяжении времени выполнения упражнения [1].

II контур. Хеморецепторы играют важнейшую роль в поддержании объема легочной вентиляции в соответствии с интенсивностью обменных процессов для сохранения гомеостазиса внутренней дыхательной среды. Поэтому отдельные кратковременные ускорения и торможения движения туловища на работу данного контура влияния не оказывают. В целом автономная регуляция легочной вентиляции поддерживает соответствие между интенсивностью обмена дыхательных газов в тканях и уровнем легочной вентиляции на достаточно длительном промежутке времени выполнения физических упражнений [1]. Поэтому она не может реагировать на отдельные моменты изменения дыхательного объема в некоторых фазах двигательных действий.

III контур. Произвольное управление легочной вентиляцией посредством проприорецепторного контура управления дыханием показывает некоторую независимость дыхания от автономных механизмов регуляции. Однако произвольное управление дыхательной мускулатурой отличается меньшей точностью, а точное осуществление заданных маневров требует большей тренировки по сравнению, например, с движениями руки [1; с. 190]. Произвольное управление дыханием не может производиться на всем протяжении выполнения физических упражнений. Оно возможно только в отдельных периодах двигательных действий.

IV контур. Этот контур обратной связи дол-

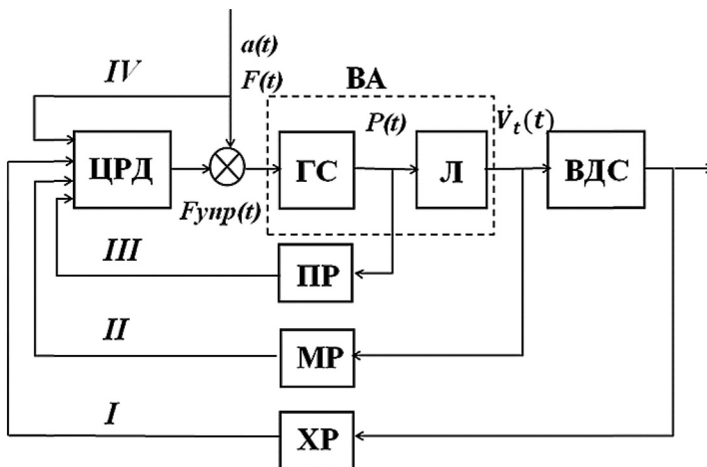


Рисунок 3 – Общая схема системы автоматического управления легочной вентиляцией

жен работать при каждом кратковременном ускорении и быстром торможении движения туловища. Однако включение или выключение этого контура зависит от взаимосвязи с механизмом произвольного управления легочной вентиляцией, т.е. с контуром проприорецепторной обратной связи.

ВЫВОДЫ

Изучение литературы, посвященной исследованиям управления дыхательными движениями, показало, что при рассмотрении особенностей функции вентиляторного аппарата во время мышечной деятельности не рассматривается взаимосвязь дыхания с внешними и внутренними силами, вызывающими движение грудной стенки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бреслав, И. С. Дыхание. Висцеральный и поведенческий аспекты / И. С. Бреслав, А. Д. Ноздрачев. – СПб.: Наука, 2005. – 309 с.
2. 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.
3. Серопегин, И. М. Влияние дыхания на движение / И. М. Серопегин, В. С. Фарфель // ЛФК и Массаж. – 2006. – № 12. – С. 58-62.
4. Фарфель, В. С. Управление движениями в спорте / В. С. Фарфель. – 2-е изд., стереотип. – М.: Советский спорт, 2011. – С. 140-150.
5. Тихонов, В. Ф. Взаимосвязь показателей реакции опоры и пневмограмм дыхания в физических упражнениях (статья) / В. Ф. Тихонов // Вестник спортивной науки. – М.: ОАО «Издательство «Советский спорт», 2013. – № 3. – С. 39-42.
6. Тихонов, В. Ф. Исследование структуры паттерна дыхания в соревновательных упражнениях у спортсменов-гиревиков / В. Ф. Тихонов, Т. В. Агафонкина // Физиология человека, 2014. – Том 40,

Экспериментальные данные о взаимосвязи ускорений туловища и структуры дыхательных циклов в физических упражнениях открывают закономерность формирования дыхательных циклов от ускорения движения туловища человека. Управление легочной вентиляцией в динамических фазах следует отнести к программному типу.

Гипотетическая схема системы автоматического управления легочной вентиляцией в физических упражнениях должна включать в себя четвертый контур – механический. Включение или выключение этого контура зависит от взаимосвязи с механизмом произвольного управления легочной вентиляцией, а также от уровня двигательного опыта испытуемых.

№ 3. – С. 96-100.

7. Тихонов, В. Ф. Исследование взаимосвязи непроизвольного дыхания у человека с вертикальными ускорениями движения туловища / В. Ф. Тихонов // Современные наукоемкие технологии. – № 2 (часть 1), 2016, С. 171-175. URL: <http://top-technologies.ru/ru/article/view?id=35596> (дата обращения: 21.03.2016)
8. Banzett, R. B., Jeremead M. B., Topulos R. P., Topulos G. P. Locomotion in men has no appreciable mechanical effect on breathing. *J. Appl. Physiol.* 72(5): 1922-1926, 1992.
9. Daley MA, Bramble DM, Carrier DR (2013) Impact Loading and Locomotor-Respiratory Coordination Significantly Influence Breathing Dynamics in Running Humans. *PLoS ONE* 8(8): e70752.
10. William J. McDermott, Richard E. A. Van Emmerik, Joseph Hamill Running training and adaptive strategies of locomotor-respiratory coordination *Eur J Appl Physiol* (2003) 89: 435–444 DOI 10.1007/s00421-003-0831-5
11. Попов, Г. И. Биомеханика: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Г. И. Попов. – М.: «Академия», 2005. – 256 с.

BIBLIOGRAPHY

1. Breslau I.S. Breath. Visceral and behavioral aspects / I.S. Breslau, A.D. Nozdrachyov. – SPb.: Science, 2005. – 309 p.
2. Breslau I.S. Breathing and muscular activity of man in sport: a guide for studying human physiology / I.S. Breslau, N.I. Volkov, R.V. Tambovtseva. – M.: Soviet sport, 2013. – P. 57-64.
3. Seropegin, I.M. Effect on the respiratory motion / I.M. Seropegin, V.S. Farfel // *Exercise therapy and Sports Medicine*, 2006. – №12. – p.p. 58-62.
4. Farfel, V.S. Movement control in the sport / V.S. Farfel. – 2nd ed., a stereotype. – M.: Soviet sport, 2011 – p.p.140-150.
5. Tikhonov, V.F. Correlation of response and support

- pneumograms breathing exercise (article) / V.F. Tikhonov // *Sports science bulletin*. – M.: Soviet sport, 2013. – №3. – p.p. 39-42.
6. Tikhonov, V.F. Investigation of the structure of the pattern of breathing exercises in competitive athletes at kettlebell / V.F. Tikhonov, T.V. Agafonkina // *Human Physiology*, 2014. – Volume 40, № 3. – p.p. 96-100
7. Tikhonov, V.F. Study of the interrelationship of involuntary breathing in humans with vertical accelerations of movement of the trunk / V.F. Tikhonov // "Modern top technologies" № 2 (Part 1), 2016, p.p. 171-175. URL: <http://top-technologies.ru/ru/article/view?id=35596> (reference date: 21/03/2016)
8. Banzett R.B., Jeremead M. B., Topulos R.P., Topulos

- G.P. Locomotion in men has no appreciable mechanical effect on breathing. *J. Appl. Physiol.* 72(5): 1922-1926, 1992.
9. Daley MA, Bramble DM, Carrier DR (2013) Impact Loading and Locomotor-Respiratory Coordination Significantly Influence Breathing Dynamics in Running Humans. *PLoS ONE* 8(8): e70752.
10. William J. McDermott, Richard E. A. Van Emmerik, Joseph Hamill Running training and adaptive strategies of locomotor-respiratory coordination *Eur J Appl Physiol* (2003) 89: 435–444 DOI 10.1007/s00421-003-0831-5
11. Попов, G.I. *Biomechanics: the textbook* / G.I. Попов. – М.: "Academy", 2005. – 256 p.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Тихонов Владимир Федорович (Tikhonov Vladimir Fedorovich) – кандидат педагогических наук, доцент кафедры физической культуры и спорта Чувашского государственного университета имени И.Н. Ульянова, e-mail: letterpa@mail.ru