

# Изменение реактивных свойств кардиореспираторной системы в процессе и после напряженной физической нагрузки

УДК 612.017.2+612.273+612.766.1:796

<sup>1</sup>Е. Н. Лысенко, <sup>2</sup>В. С. Мищенко

<sup>1</sup>Национальный университет физического воспитания и спорта Украины, Киев, Украина;

<sup>2</sup>Академия физического воспитания и спорта Гданьска, Гданьск, Польша

**Резюме.** Цель. Дослідити особливості змін реактивності кардіореспіраторної системи в період післядії фізичних навантажень різного характеру і виду, що пов'язані з терміною і довгостроковою адаптацією спортсменів до напружених спортивних навантажень.

**Методи.** Методи комплексного тестування реакції кардіореспіраторної системи (чутливості, стійкості та швидкості її розгортання) на гіпоксичні й гіперкапічні (CO<sub>2</sub>-H<sup>+</sup>) зрушення дихального гомеостазису, на тестові навантаження різного характеру.

**Результати.** Зміни реакції на гіперкапію при виконанні фізичного навантаження пов'язані з динамікою ацидемичних зрушень. Підвищення чутливості вентиляторної реакції на CO<sub>2</sub>-H<sup>+</sup>-стимул ( $\Delta V_E / \Delta P_A CO_2$ ) на фоні ацидемії спостерігали при невеликому ступені ацидемичних зрушень, а також на початку навантаження або при порівняно невеликій загальній тривалості виконання навантаження. Більша чутливість на CO<sub>2</sub>-H<sup>+</sup>-стимул на фоні втоми сприяла підвищенню рівня дихальної компенсації метаболічного ацидозу і фізичної працездатності. При значній вираженості ацидемії і напругі навантаження чутливість вентиляторної реакції на CO<sub>2</sub>-H<sup>+</sup>-стимул істотно знижувалася.

**Висновки.** При тривалій адаптації організму до напруженої м'язової діяльності збільшувалася питома вага «нейрогенних» стимулів у дихальній реакції, що і забезпечувало її більшу стійкість до наростаючого ступеня ацидозу при виконанні фізичної роботи.

**Ключові слова:** чутливість, реактивність, кардіореспіраторна система, спортсмени, фізичні навантаження, гіпоксичні й гіперкапічні зрушення дихального гомеостазису.

**Abstract.** Aim. To study peculiarities of cardiorespiratory system reactivity changes after physical loads of different character and type related to acute and long-term adaptation of athletes to strenuous loads.

**Methods.** Methods of complex testing of cardiorespiratory system responses (sensitivity, stability and speed of progression) to hypoxic and hypercapnic (CO<sub>2</sub>-H<sup>+</sup>) respiratory homeostasis shifts to testing loads of different character.

**Results.** Changes of responses to hypercapnia during physical load are connected with acidemic shift dynamics. Increased sensitivity of ventilatory response to CO<sub>2</sub>-H<sup>+</sup>-stimulus ( $\Delta V_E / \Delta P_A CO_2$ ) on the background of academia was noted during insignificant academic shifts as well as at the beginning of load or during relatively short duration of load. Higher sensitivity to CO<sub>2</sub>-H<sup>+</sup>-stimulus on the background of fatigue contributed to increase of the level of respiratory compensation of metabolic acidosis and work capacity.

**Conclusions.** During prolonged body adaptation to strenuous muscular activity the net weight of «neurogenic» stimuli increased providing its better stability with respect to enhanced acidosis during physical work performance.

**Keywords:** sensitivity, reactivity, cardiorespiratory system, athletes, physical loads, hypercapnic and hypoxic shifts in respiratory homeostasis.

**Постановка проблеми. Анализ последних исследований и публикаций.** Специфика условий конкретного вида мышечной деятельности накладывается на индивидуальные особенности (тип) реактивности организма, который генетически обусловлен и четко отображается на уровне

и динамических характеристиках реакции дыхательной и сердечно-сосудистой систем [1–3, 6, 12, 13]. Так, выявлены различия чувствительности вентиляторной реакции на гиперкапнический стимул у нетренированных лиц, связанные с их возрастом и уровнем физической работоспособности

[2, 7, 8]. В предыдущих наших исследованиях, на примере различных спортивных специализаций, показано, что тип реактивности КРС на сдвиги дыхательного гомеостаза связан с направленностью процесса долговременной адаптации и спецификой требований вида соревновательного нагрузки к аэробным и анаэробным возможностям организма [6, 10, 24]. Это является одновременно следствием как долговременной адаптации, так и многолетнего отбора спортсменов в первую очередь по уровню чувствительности КРС к  $\text{CO}_2$ - $\text{H}^+$ -стимулу, который в большей степени испытывает влияние со стороны наследственных факторов.

На основе анализа специфических для соревновательной деятельности проявлений гомеостатической регуляции системы обеспечения организма кислородом (дыхательной) могут быть выделены ключевые факторы модификации реактивных свойств кардиореспираторной системы (КРС), связанные с повышением функциональных возможностей. Однако недостаточно изучены механизмы изменений чувствительности КРС на гуморальные сдвиги дыхательного гомеостаза, как при воздействии нагрузок различного характера, так и при направленной долговременной адаптации к напряженной мышечной деятельности.

В практике спортивной подготовки увеличение функциональных возможностей спортсмена может рассматриваться не только как повышение в результате тренировки функционального и энергетического потенциала (как это обычно делается), но и как реализация этого потенциала через свойства физиологической реактивности — чувствительности, уровня реакций, их кинетики и устойчивости в конкретной дисциплине спорта. Изменения физиологической реактивности, механизмы ее оптимизации, очевидно, является основой процесса адаптации к напряженной мышечной деятельности. С этих позиций физиологическая сущность долговременной адаптации функциональных систем организма спортсменов заключается в оптимизации совокупности реактивных свойств систем целесообразных для реализации функциональных возможностей организма [2, 5, 8, 10, 24]. Однако конкретные механизмы реализации таких сторон приспособительных изменений при направленной адаптации к напряженной мышечной деятельности изучены мало.

Новые возможности возникают при изучении физиологических факторов дыхательного гомеостаза (компенсации гипоксических и ацидотических сдвигов) и связанного с этим формировании

специфических проявлений реактивных свойств КРС, кинетики потребления  $\text{O}_2$  и удаления  $\text{CO}_2$ , а также их изменения при развитии утомления. При таком анализе исходили из того, что в процессе соревновательной деятельности специфические факторы утомления проявляются из-за изменения реактивных свойств (чувствительности, уровня реакций, их кинетики и устойчивости) ключевых функциональных систем и интегрируют в себе основные факторы утомления метаболического происхождения [4, 10, 11, 17, 22, 27]. Снижение степени нарушения гомеостаза или снижение реактивности на эти нарушения в тренированном организме должно сопровождаться уменьшением приспособительных адаптивных сдвигов.

Работа выполнена в соответствии с госбюджетной научно-исследовательской темой 2.35 «Критерии оценки функционального потенциала спортсменов высокого класса» (номер госрегистрации 0114U001482) Министерства образования и науки Украины.

**Цель работы** — выявить особенности изменений реактивности кардиореспираторной системы в период последействия физических нагрузок различного характера и вида, связанные со срочной и долговременной адаптацией спортсменов к напряженным мышечным нагрузкам.

**Методы и организация исследования.** Исследования проводились на экспериментальной базе лаборатории теории и методики спортивной подготовки и резервных возможностей спортсменов НИИ НУФВСУ с участием 98 квалифицированных спортсменов-мужчин в возрасте 19–29 лет с высоким уровнем спортивной квалификации (МС, КМС), которые 8–19 лет специализировались в видах спорта, которые требовали проявления выносливости (легкая атлетика, гребля на байдарках и каноэ, гребля академическая, велосипедный спорт). Согласно данным диспансерных обследований все спортсмены были практически здоровы, не имели острых и хронических заболеваний. При проведении комплексных биологических исследований с участием спортсменов придерживались «Программы комплексного биологического исследования функциональных возможностей спортсменов», а также законодательства Украины об охране здоровья и Хельсинской декларации 2000 р., директивы Европейского общества 86/609 об участии людей в медико-биологических исследованиях.

Использовали методы комплексного тестирования реакции КРС (чувствительности, устойчивости и скорости ее разворачивания) на гипоксические

и гиперкапнические ( $\text{CO}_2\text{-H}^+$ ) сдвиги дыхательно-гомеостаза [7]. Прогрессирующую  $\text{CO}_2\text{-H}^+$ -стимуляцию создавали методом «возвратного дыхания» в системе «bag in the box», рабочая система которого заполнялась газовой смесью с 50–60 % содержанием  $\text{O}_2$  [7, 15, 18, 19]. Наклон линии зависимости  $\dot{V}_E\text{-P}_A\text{CO}_2$  отражал прирост  $\dot{V}_E$  на 1 мм рт.ст., увеличение  $\text{P}_A\text{CO}_2$  и характеризовал чувствительность вентиляторной реакции к гиперкапнии ( $\Delta\dot{V}_E/\Delta\text{P}_A\text{CO}_2$ ). Экстраполированная точка пересечения линии зависимости  $\dot{V}_E\text{-P}_A\text{CO}_2$  с осью абсцисс (точка «апноэ») характеризовала порог вентиляторной реакции на  $\text{CO}_2$ . Нарастающую степень изокапнической гипоксической стимуляции создавали методом «возвратного» дыхания в диапазоне изменений напряжения  $\text{O}_2$  в альвеолярном воздухе ( $\text{PaO}_2$ ) от 135 до 45 мм рт.ст. и чувствительность к гипоксии оценивали по приросту  $\dot{V}_E$  ( $\Delta\dot{V}_E/\Delta\text{SaO}_2$ ) и ЧСС ( $\Delta\text{ЧСС}/\Delta\text{SaO}_2$ ) на снижение насыщения артериальной крови кислородом [15, 18].

Кинетические характеристики реакции КРС на физические нагрузки определяли с учетом скорости в начале реакции, ее пика и устойчивости [8, 16]. Тестирующие нагрузки выполнялись на эргометрах различного типа (тредмил LE-200, «Concept-II», «Paddlelite», «Monark. Ergomedic 894E») и были направлены на характеристику разных сторон энергообеспечения работы [9, 20, 21, 28, 29].

Непрерывная компьютерная обработка данных в реальном масштабе времени «breath-by-breath» [23] с помощью быстродействующего эргоспирометрического комплекса «Охусон Про» («Jaeger», VIASYS Healthcare, Германия-США) позволила оценивать реакцию КРС на тестирующие воздействия. Определяли легочную вентиляцию ( $\dot{V}_E$ ), частоту дыхания ( $f_T$ ), дыхательный объем ( $\dot{V}_T$ ), концентрацию  $\text{CO}_2$  и  $\text{O}_2$  в выдыхаемом ( $F_E\text{O}_2$ ,  $F_E\text{CO}_2$ ) и в альвеолярном воздухе ( $F_A\text{O}_2$ ,  $F_A\text{CO}_2$ ), потребление  $\text{O}_2$  ( $\dot{V}\text{O}_2$ ) и выделение  $\text{CO}_2$  ( $\dot{V}\text{CO}_2$ ), парциальное напряжение углекислого газа ( $\text{P}_A\text{CO}_2$ ) и кислорода ( $\text{PaO}_2$ ) в альвеолярном воздухе, газообменное отношение ( $\dot{V}\text{CO}_2 \cdot \dot{V}\text{O}_2^{-1}$ ), вентиляционные эквиваленты для  $\text{O}_2$  ( $\text{EQO}_2 = \dot{V}_E \cdot \dot{V}\text{O}_2^{-1}$ ) и для  $\text{CO}_2$  ( $\text{EQCO}_2 = \dot{V}_E \cdot \dot{V}\text{CO}_2^{-1}$ ), кислородный пульс (« $\text{O}_2$ -пульс» =  $\dot{V}\text{O}_2 \cdot \text{ЧСС}^{-1}$ ).

Учитывая, что измерения проводились в открытой системе, показатели внешнего дыхания были приведены к условиям ВTPS, а газообмена — к условиям STPD. Измерение частоты сердечных сокращений (ЧСС) проводили с помощью «Sport Tester Polar (Финляндия). Содержание лактата (HLA) в капиллярной крови определяли энзиматическим методом (стандартный

набор реактивов LKM 140, «Dr. Lange-400», Германия). Калибровки всех приборов проводили до и после обследования каждого спортсмена. Диагностическое оборудование соответствует международным стандартам контроля качества и безопасности (ISO-9001, ISO-13485). По окончании тестирования проводили компьютерный расчет комплекса показателей, которые в значительной мере отражали уровень функциональных возможностей спортсменов [7–9].

**Результаты исследования и их обсуждение.** Для определения сторон реактивных свойств КРС, которые определяли проявление ее устойчивости к нарастающей степени утомления, были проведены исследования изменений роли стимулов для системы дыхания при напряженных мышечных нагрузках различного характера. При выполнении *продолжительной нагрузки «до отказа»* с относительной интенсивностью 65 %  $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$  уже на 15-й минуте ее выполнения отмечалось меньшее повышение уровня  $\dot{V}_E$  и  $\dot{V}\text{O}_2$  в ответ на *кратковременные (в течение 30 с) изменения мощности работы на 33 %* каждые 5 мин ее выполнения, а для ЧСС — на 25-й минуте. Это свидетельствовало о снижении вклада нейрогенного компонента в формировании дыхательной реакции под влиянием развития утомления. При этом, вентиляторная реакция была больше при повышении мощности нагрузки за счет скорости бега (увеличение  $\dot{V}_E$  на  $6,85 \pm 0,82 \%$ ), чем за счет увеличения усилия (увеличение  $\dot{V}_E$  на  $0,92 \pm 0,41 \%$ ), что было более благоприятным для поддержки реактивности КРС на фоне значительного нарастания утомления.

Кроме того, эти данные косвенно свидетельствовали о повышении в процессе длительной нагрузки относительной роли гуморальных стимулов дыхания. На 30–40-й минуте выполнения нагрузки в условиях высокой степени ацидемических сдвигов отмечалось достоверное увеличение вентиляторной реакции на кратковременное (30 с) вдыхание гипоксической (14,1–14,3 %  $\text{O}_2$  в азоте) газовой смеси, что свидетельствовало о росте в этих условиях значения гипоксического стимула дыхания. У отдельных спортсменов такое увеличение на  $35,01 \pm 2,86 \%$  превышало прирост  $\dot{V}_E$  на *гипоксический стимул* в начальной части нагрузки. В то же время в самом конце нагрузки в 61,25 % обследованных лиц отмечалось отчетливое снижение вентиляторной реакции. Эти данные свидетельствовали о наличии тормозного (подавляет реактивность) эффекта гипоксии на центральные структуры дыхательного центра при утомлении. Снижение чувствительности реакции КРС к гипоксии, их большая

устойчивость к гипоксии является важным фактором поддержания работоспособности в условиях длительной напряженной мышечной нагрузки.

Изменения реакции на гиперкапнию при физической нагрузке были связаны с динамикой ацидемических сдвигов. Повышение чувствительности вентиляторной реакции на  $\text{CO}_2\text{-H}^+$ -стимул ( $\Delta\dot{V}_E/\Delta P_A\text{CO}_2$ ) на фоне ацидемии наблюдалось при небольшой ее степени, а также вначале нагрузки. При значительной выраженности ацидемии и в конце нагрузки  $\Delta\dot{V}_E/\Delta P_A\text{CO}_2$  достоверно снижалась. Отметим, что при большей чувствительности вентиляторной реакции на  $\text{CO}_2$  в конце нагрузки поддерживалась и большая эффективность выделения «избыточного»  $\text{CO}_2$ , что повышало уровень дыхательной компенсации метаболического ацидоза. Эти данные подчеркивают важность поддержки чувствительности реакций КРС к  $\text{CO}_2\text{-H}^+$ -стимулу на фоне усталости для повышения физической работоспособности.

Из практики спортивной тренировки известно, что напряженные физические тренировочные

нагрузки имеют длительный период последствия (следовые изменения) по метаболическим изменениям [10, 14, 25, 26]. В дальнейших исследованиях было установлено характер такого последствия на реактивные свойства КРС (табл. 1). Так, после выполнения сравнительно напряженной для квалифицированных спортсменов физической нагрузки в восстановительном периоде отмечалось повышение чувствительности реакций КРС к гиперкапнии за счет снижения порога вентиляторной реакции на  $\text{CO}_2\text{-H}^+$ -стимул, что свидетельствовало об увеличении «нейрогенного» компонента реакции и активирующей роли афферентации с проприорецепторов двигательного аппарата. При физической нагрузке продолжительностью 80–100 мин наблюдали подобные по направленности изменения при несколько большей их выраженности. Происходило как бы накопление воздействия какого-то фактора, что и определяло снижение порога вентиляторной реакции на  $\text{CO}_2$  и некоторое увеличение чувствительности реакции к  $\text{CO}_2$  ( $\Delta\dot{V}_E/\Delta P_A\text{CO}_2$ ).

**ТАБЛИЦА 1 – Изменение реактивных свойств кардиореспираторной системы на гиперкапнические и гипоксические сдвиги дыхательного гомеостаза, а также скорости развертывания функциональных реакций под воздействием физических нагрузок различного характера**

Характер физических нагрузок	$\Delta\dot{V}_E/\Delta P_A\text{CO}_2$	Порог $\dot{V}_E$ -реакции, точка	$\Delta\dot{V}_E/\Delta \text{SaO}_2$	$\Delta\text{ЧСС}/\Delta \text{SaO}_2$	Полупериод реакции, скорость увеличения $\dot{V}_E$	
1. Выполнение длительной (18–20 мин) физической нагрузки возрастающей интенсивности, которая выполняется до момента достижения уровня $\text{VO}_2\text{max}$	Увеличение на $8,73 \pm 1,02 \%$	Уменьшение на $15,99 \pm 1,39 \%$	Увеличение на $3,81 \pm 0,84 \%$	Уменьшение на $3,41 \pm 0,91 \%$	Во второй половине нагрузки снижения степени прироста уровня $\dot{V}_E$ , $\text{VO}_2$ , ЧСС	
2. Физическая нагрузка относительно невысокой интенсивности (продолжительность 80–100 мин при ЧСС = $138\text{--}146 \text{ уд} \cdot \text{мин}^{-1}$ ) в период последствия (через 2–3 ч)	Увеличение на $37,5 \pm 2,69 \%$	Выраженное уменьшение на $35,71 \pm 4,03 \%$	Увеличение на $11,91 \pm 1,56 \%$	Уменьшение на $8,99 \pm 1,14 \%$	Снижение на $9,29 \pm 2,01 \%$	
3. Нагрузка высокой интенсивности, которая приводила к выраженному утомлению – преодоление 180 км в 4,6–4,8 ч с переменной интенсивностью	Через 13–15 ч	Уменьшение на $5,10 \pm 1,32 \%$	Снижение на $12,06 \pm 1,94 \%$	Значительное увеличение на $70,59 \pm 4,86 \%$	Значительное увеличение на $102,86 \pm 6,03 \%$	Снижение на $31,32 \pm 4,57 \%$
	Через 37–39 ч	Увеличение до исходного уровня	Повышение	Отсутствие полного восстановления		Уменьшение на $22,09 \pm 2,16 \%$
	Через 2 дня отдыха	–	Повышение	Снижение до наиболее низких величин		Снижение на $9,11 \pm 1,74 \%$
4. Физические нагрузки разной направленности: • тренировочные нагрузки равномерной интенсивности (при ЧСС $156\text{--}172 \text{ уд} \cdot \text{мин}^{-1}$ и общей продолжительности 180 мин)	Уменьшение на $22,64 \pm 2,32 \%$	Повышение на $21,17 \pm 2,93 \%$	Повышение на $38,97 \pm 2,15 \%$	Повышение на $46,47 \pm 2,25 \%$	Снижение на $37,26 \pm 2,05 \%$	
• интервальные тренировочные нагрузки высокой интенсивности (серии из 4 отрезков по 60 с с интенсивностью 90 % максимальной)	Увеличение на $17,01 \pm 3,24 \%$	Снижение на $19,94 \pm 3,13 \%$	Повышение на $35,33 \pm 2,45 \%$	Выраженное повышение на $71,25 \pm 3,96 \%$	Снижение на $21,95 \pm 1,16 \%$	

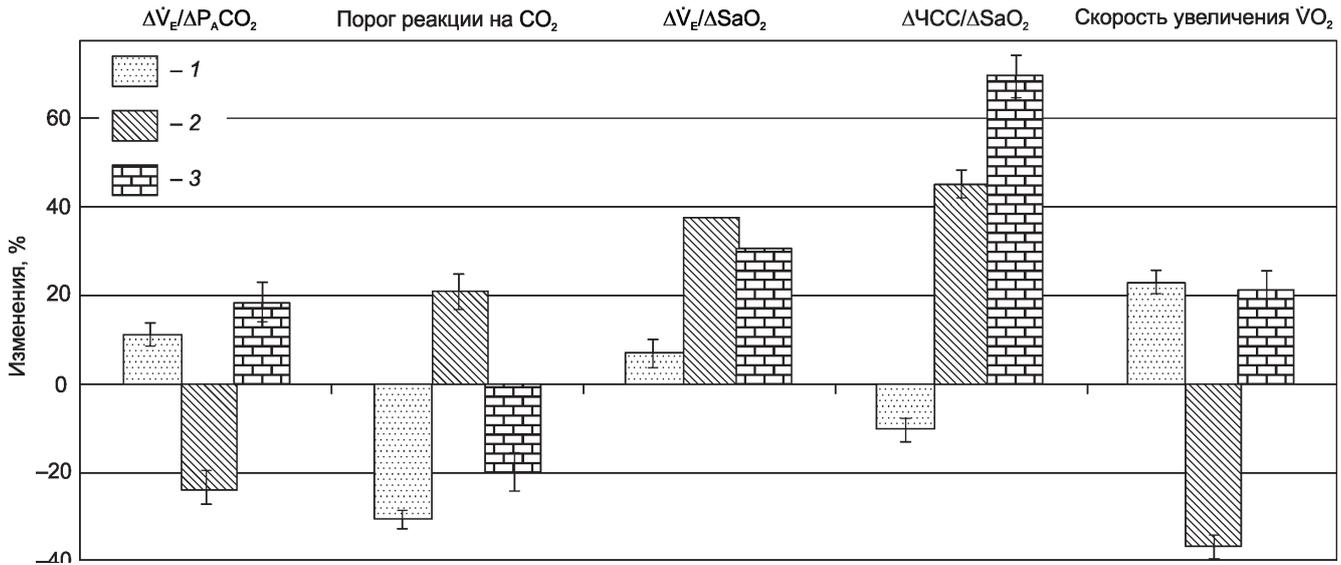


Рисунок 1 – Изменение чувствительности к гиперкапнии и гипоксии, а также кинетики реакций  $O_2$  у квалифицированных спортсменов под влиянием разного содержания и интенсивности тренировочных занятий: 1 – 2–3 ч после нагрузки тренировочного занятия восстановительного характера около 40 %  $\dot{V}O_{2max}$  (30–40 мин); 2 – 13–15 ч после непрерывной напряженной нагрузки; 3 – 13–15 ч после интервального типа нагрузки (15 повторений серий из 4 отрезков по 60 с, около 90 % максимальной интенсивности)

Последствие тренировочной нагрузки высокой интенсивности, которое приводило к выраженному утомлению, на чувствительность КРС к гиперкапническому стимулу было таким же, как и для других описанных выше видов физической нагрузки. Вместе с тем через 13–15 ч после данной нагрузки отмечалось снижение чувствительности вентиляторной реакции на  $CO_2-H^+$ -стимул, которое компенсировалось снижением порога вентиляторной реакции на  $CO_2$ . В этот период наибольшие изменения выражены по способности КРС быстро реагировать на начало физической нагрузки и на изменения интенсивности в процессе ее выполнения. Через 37–39 ч зависимость  $\Delta\dot{V}_E/\Delta P_A CO_2$  возвращалась к исходному уровню, что сочеталось с повышением порога вентиляторной реакции на  $CO_2$ . Это является следствием адаптации аппарата регуляции дыхания к повышенному содержанию эндогенной  $CO_2$  и ионов  $H^+$  при интенсивных тренировочных нагрузках анаэробного гликолитического характера.

Чувствительность к гипоксии ( $\Delta\dot{V}_E/\Delta SaO_2$ ) через 13–15 ч после напряженной тренировочной нагрузки повышалась на  $70,59 \pm 4,86$  % (см. табл. 1) и даже через 37–39 ч после нее не наступало полного ее восстановления. Повышенная чувствительность к гипоксии после нагрузки высокой интенсивности отражала недовосстановления метаболических факторов энергообеспечения напряженной мышечной деятельности.

Выявлено, что содержание тренировочной нагрузки влияло на изменения чувствительности и кинетики реакций системы дыхания. Эти данные были получены при сравнении эффектов тренировочных занятий высокой интенсивности, что в одном случае состояли из серии повторного выполнения физических нагрузок (интервальные тренировки), а во втором случае – с непрерывной длительной нагрузкой высокой интенсивности (см. табл. 1, рис. 1). Наиболее отчетливо специфичность утомление после различных типов напряженных нагрузок проявлялась по показателям чувствительности КРС к гиперкапнии. После нагрузки равномерной интенсивности отмечалось снижение  $\Delta\dot{V}_E/\Delta P_A CO_2$  при повышении порога вентиляторной реакции на  $CO_2$ . После интервальной нагрузки отмечалась обратная картина – увеличение  $\Delta\dot{V}_E/\Delta P_A CO_2$  при снижении порога вентиляторной реакции на  $CO_2$ .

Скорость разворачивания реакций КРС в наибольшей степени снижалась (на  $37,26 \pm 2,05$  %) под влиянием напряженной равномерной тренировочной нагрузки. В то же время после тренировочной нагрузки интервального типа при некотором повышении чувствительности к гиперкапнии скорость разворачивания реакций КРС снижалась, но на меньшую величину (на  $21,95 \pm 1,16$  %). Это свидетельствовало о том, что ведущей причиной снижения кинетики реакции после нагрузки интервального типа является снижение чувствительности проприорецепторов

работающих мышц, которая при такой нагрузке за 13–15 ч отдыха не восстанавливалась [10]. В то же время после нагрузки равномерного типа причина снижения кинетики реакций была связана со снижением чувствительности как проприорецепторов, так и реакций КРС к гиперкапнии.

Чувствительность к гипоксии примерно одинаково повышалась в восстановительном периоде под влиянием остаточного утомления при обоих типах напряженных тренировочных занятий. Таким образом, изменения чувствительности к гипоксии не отражали специфических особенностей утомления, которые зависели от характера мышечной нагрузки. Есть только тенденция к большему повышению чувствительности реакций центральной циркуляции к гипоксии по  $\Delta\text{ЧСС}/\Delta\text{SaO}_2$  после нагрузки интервального типа (см. табл. 1, рис.1).

Таким образом, степень изменений реактивных свойств системы дыхания в процессе физической нагрузки зависела от ее относительной интенсивности и мощности, а также от выраженности общего объема переходных режимов работы. Основными такого типа изменениями при развитии утомления является снижение пиковых величин реакции, а также скорости их развертывания. Таким образом, характер тренировочных воздействий нагрузок тренировочного занятия в начальной части и в конце его различались. В этом случае наиболее высокий эффект специально направленных средств тренировки сохранялся до тех пор, пока поддерживались высокие уровни (пики) и скорость развертывания вентиляторной реакции, а также реакции по  $\dot{V}\text{O}_2$  и  $\dot{V}\text{CO}_2$ . Все это указывало на необходимость учета характера таких изменений реактивности КРС в процессе тренировочного занятия и применения специальных средств для ее коррекции.

Такими средствами могут быть, например, относительно легкие физические нагрузки. Так, начальная часть длительной нагрузки характеризовалась тенденцией к увеличению чувствительности вентиляторной реакции на  $\text{CO}_2\text{-H}^+$ -стимул на  $34,26 \pm 2,93 \%$ . Выявлено, что интенсивность нагрузки, которая устойчиво приводила к стимуляции реактивности КРС находилась в пределах  $30\text{--}55 \%$   $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ . Это дает дополнительные основания использовать подобные нагрузки для коррекции утомления и является типичным для спортивной тренировки. Через 2–3 ч после выполнения тренировочного занятия «восстановительного» характера (см. рис. 1) отмечалось повышение чувствительности вентиляторной реакции на  $\text{CO}_2\text{-H}^+$ -стимул на  $13,94 \pm 1,95 \%$  при снижении

ее порога на  $32,04 \pm 2,69 \%$ , а также тенденция к уменьшению чувствительности циркуляторной реакции к гипоксии — на  $9,26 \pm 1,12 \%$  и возможного увеличения кинетики потребления  $\text{O}_2$  на  $24,18 \pm 2,29 \%$ .

Таким образом, изменения чувствительности реакций КРС к гиперкапническому стимулу в восстановительный период при повторении однонаправленных тренировочных занятий сходные по направленности к тем, которые отмечались после одного такого занятия. Так, после тренировочного занятия *аэробной направленности* отмечалось снижение чувствительности, а после *скоростно-силовых нагрузок анаэробного характера* — ее повышение. Отмечалось снижение «нейрогенного» компонента вентиляторной реакции при нарастании специфического утомления во время проведения серии занятий преимущественно *аэробной направленности*, а при занятиях *скоростно-силовой направленности* наблюдалось увеличение.

#### Выводы:

1. В процессе продолжительной напряженной физической нагрузки под влиянием развития усталости снижался вклад «нейрогенного» компонента в формировании дыхательной реакции и повышение относительной роли гуморальных стимулов дыхания. Оптимизация «нейрогенных» стимулов в процессе спортивной тренировки в значительной степени определяла адекватность структуры вентиляторной реакции и ее динамику в процессе продолжительной напряженной нагрузки. При длительной адаптации организма к напряженной мышечной деятельности увеличивался удельный вес «нейрогенных» стимулов в дыхательной реакции, что и обеспечивало ее большую устойчивость к нарастающей степени ацидоза при выполнении физической работы.

2. При увеличении интенсивности нагрузки и развитии утомления отмечалось снижение чувствительности дыхательной реакции к гипоксии и гиперкапнии. Изменения реакции на гиперкапнию при выполнении физической нагрузки связаны с динамикой ацидемических сдвигов. Повышение чувствительности вентиляторной реакции на  $\text{CO}_2\text{-H}^+$ -стимул ( $\Delta\dot{V}_E/\Delta P_A\text{CO}_2$ ) на фоне ацидемии наблюдали при небольшой ее степени, а также в начальной части нагрузки или при сравнительно небольшой общей продолжительности выполнения нагрузки. Большая чувствительность на  $\text{CO}_2\text{-H}^+$ -стимул на фоне усталости способствовала повышению уровня дыхательной компенсации метаболического ацидоза и физической работоспособности. При значительной выраженности ацидемии и в конце нагрузки чувствительность

вентиляторной реакции на  $\text{CO}_2\text{—H}^+$ -стимул существенно снижалась.

3. Наиболее отчетливо специфичность утомления после различных напряженных физических нагрузок проявлялась по показателям чувствительности КРС к гиперкапнии, чем гипоксии. Последствие нагрузки равномерного типа приводила к снижению чувствительности к гиперкапнии и ацидозу ( $\text{CO}_2\text{—H}^+$ ) при повышении порога вентиляторной реакции на  $\text{CO}_2$  и скорости развертывания реакций КРС. После нагрузки интервального типа отмечалась обратная картина: повышение чувствительности к гиперкапнии при снижении порога вентиляторной реакции на  $\text{CO}_2$  и скорости развертывания реакций системы дыхания.

#### Литература

1. Агаджанян Н. А. Особенности адаптивных реакций кардиореспираторной системы у лиц с различным уровнем легочной вентиляции при сочетанном воздействии гипоксии и гиперкапнии / Н. А. Агаджанян, В. Г. Двоеносов // Вестн. Урал. мед. акад. науки. — 2010. — Т. 32, № 4. — С. 17–21.
2. Березовский В. А. Вентиляторный ответ на гиперкапнический стимул как показатель реактивности системы дыхания человека / В. А. Березовский, Т. В. Серебровская. // Физиол. журн. — 1987. — Т. 33, № 3. — С. 12–18.
3. Бурых Э. А. Различия в стратегиях и возможностях адаптации человека к гипоксическому воздействию / Э. А. Бурых, С. И. Сороко // Физиология человека. — 2007. — Т. 33, № 3. — С. 63–74.
4. Волков Н. И. Метаболические состояния у спортсменов при напряженной мышечной деятельности переменного характера / Н. И. Волков, Р. В. Тамбовцева, Р. В. Юриков. // Физиология человека. — 2012. — Т. 38, № 4. — С. 74–82.
5. Исаев А. П. Стратегии формирования адаптационных реакций у спортсменов. Основы теории адаптации и закономерности ее формирования в спорте высоких и высших достижений / А. П. Исаев, В. В. Рыбаков, В. В. Эрлих и др. // Вестн. Южно-Урал. гос. ун-та. Сер.: Образование, здравоохранение, физ. культура. — 2012. — № 21 (280). — С. 46–56.
6. Лысенко Е. Н. Проявление устойчивости реакций кардиореспираторной системы у квалифицированных спортсменов в условиях достижения максимального уровня потребления  $\text{O}_2$  / Е. Н. Лысенко // Спорт. медицина. — 2008. — № 1. — С. 42–47.
7. Мищенко В. С. Функциональные возможности спортсменов / В. С. Мищенко. — К.: Здоров'я, 1990. — 200 с.
8. Мищенко В. С. Функциональная подготовленность, как интегральная характеристика предпосылок высокой работоспособности спортсменов: метод. пособие / В. С. Мищенко, А. И. Павлик, В. Ф. Дяченко. — К.: ГНИИФКиС, 1999. — 129 с.
9. Мищенко В. С. Эргометрические тесты и критерии интегральной оценки выносливости / В. С. Мищенко. // Спорт. медицина — 2005. — № 1. — С. 42–52.
10. Мищенко В. С. Реактивные свойства кардиореспираторной системы как отражение адаптации к напряженной физической тренировке в спорте / В. С. Мищенко, Е. Н. Лысенко, В. Е. Виноградов. — К.: Наук. світ, 2007. — 351 с.
11. Попов Д. В. Финальная концентрация лактата в крови в тесте с возрастающей нагрузкой и аэробная ра-

4. Изменение чувствительности реакций КРС к гиперкапническому стимулу в восстановительном периоде при повторении однонаправленных тренировочных занятий (последствие) подобные по направленности с теми, которые отмечались после одного такого занятия. После тренировочного занятия аэробной направленности отмечалось снижение чувствительности, а после скоростно-силовых нагрузок анаэробного характера — ее повышение. Отмечалось снижение «нейрогенного» компонента вентиляторной реакции при нарастании специфического утомления при проведении серии занятий преимущественно аэробной направленности, а при серии занятий скоростно-силовой направленности наблюдалось увеличение.

#### References

1. Agadzhanyan N. A. Peculiarities of CRS adaptation responses in persons with different level of pulmonary ventilation during combined effect of hypoxia and hypercapnia / N. A. Agadzhanyan, V. G. Dvoynosov // Vestnik Ural'skoy meditsinskoy akademicheskoy nauki. — 2010. — Vol. 32; N 4. — P. 17–21.
2. Berezovsky V. A. Ventilatory response to hypercapnic stimulus as an index of human respiratory system reactivity / V. A. Berezovsky, T. V. Serebrovskaya // Fiziologicheskii zhurnal. — 1987. — Vol. 33, N 3. — P. 12–18.
3. Burykh E. A. Differences in strategies and possibilities of human adaptation to hypoxia / E. A. Burykh, S. I. Soroko // Fiziologiya cheloveka. — 2007. — Vol. 33, N 3. — P. 63–74.
4. Volkov N. I. Metabolic states in athletes during strenuous muscular activity / N. I. Volkov, R. V. Tambovtseva, R. V. Yurikov // Fiziologiya cheloveka. — 2012. — Vol. 38, N 4. — P. 74–82.
5. Isayev A. P. Strategies of formation of adaptation responses in sportsmen / A. P. Isayev, V. V. Rybakov, V. V. Erlih et al. // Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Obrazovanie, zdravoohranenie, fizicheskaya kultura. 2012. — N 21 (280). — P. 46–56.
6. Lysenko E. N. Proyavlenie ustoychivosti reaksiiy kardiorespiratornoy sistemyi u kvalifitsirovannykh sportsmenov v usloviyakh dostizheniya maksimalnogo urovnya potrebleniya  $\text{O}_2$  / E. N. Lysenko // Sportivnaya meditsina. — 2008, N 1. — P. 42–47.
7. Mishchenko V. S. Functional capacities of sportsmen / V. S. Mishchenko. — Kiev: Zdorovya, 1990. — 200 p.
8. Mishchenko V. S. Functional fitness as an integral characteristics of prerequisites of high work capacity of sportsmen: Metodicheskoe posobie / V. S. Mishchenko, I. Pavlik, V. F. Dyachenko. — Kiev: GNIIFKiS, 1999. 129 p.
9. Mishchenko V. S. Ergometric tests and criteria of integral assessment of endurance / V. S. Mishchenko // Sportivnaya meditsina. — 2005. — N 1. — P. 42–52
10. Mishchenko V. S. Reactive features of cardiorespiratory system as a reflection of adaptation to strenuous training / V. S. Mishchenko, E. N. Lysenko, V. E. Vinogradov. — Kyiv: Naukoviy svit, 2007. — 351 p. 11. Popov D. V. Final blood lactate content during test with incremental load / D. V. Popov, S. S. Missina, Y. S. Lemesheva et al. // Fiziologiya cheloveka. 2010. Vol. 36, N 3. — P. 102–109.

ботоспособность / Д. В. Попов, С. С. Мисина, Ю. С. Лемешева и др. // Физиология человека. — 2010. — Т. 36, № 3. — С. 102–109.

12. *Soroko S. I.* Индивидуальные особенности системных реакций организма человека на острую гипоксию / С. И. Сороко, Э. А. Бурых, С. С. Бекшаев и др. // Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. — 2012. — Т. 98, № 11. — С. 1396–1415.

13. *Suslina I. V.* Индивидуально-типологические особенности функциональных возможностей дыхательной мускулатуры у спортсменов / И. В. Суслина // Фундаментальные исследования. — 2012. — № 9–1. — С. 73–77.

14. *Belfry G. R.* The effects of short recovery duration on  $VO_2$  and muscle deoxygenation during intermittent exercise / Glen R. Belfry, Donald H. Paterson, Juan M. Murias, Scott G. Thomas // European Journal of Appl. Physiology- 2012. — Vol. 112, N 5. — P. 1907–1915.

15. *Cunningham D.* The control system regulation breathing in man / D. Cunningham // Quart. Rev. of Biophysics. — 1974. — Vol. 6, N6. — P. 433 – 483.

16. *Grassi B.* Slow  $VO_2$  kinetics during moderate-intensity exercise as markers of lower metabolic stability and lower exercise tolerance / B. Grassi, S. Porcelli, D. Salvadego, J. A. Zoladz // European Journal of Applied Physiology. — 2011. — Vol. 111, N 3. — P. 345–355.

17. *Green H. J.* Adaptations in muscle metabolic regulation require only a small dose of aerobic-based exercise / H. J. Green, M. Burnett, I. Jacobs et al. // European Journal of Appl. Physiology. — 2013. — Vol. 113, N 2. — P. 313–324.

18. *Katayama K.* Effect of intermittent hypoxia on oxygen uptake during submaximal exercise in endurance athletes / K. Katayama, K. Sato, H. Matsuo et al. // European Journal of Applied Physiology. — 2004. — Vol. 92. — P. 75–83.

19. *Khoo M. C. K.* A model-based evaluation of the single-breath  $CO_2$  ventilatory response test / M. C. K. Khoo // Journal of Appl. Physiology. — 1990. — N 68. — P. 393–399.

20. *Mac Dougal J. D.* Physiological testing of the high-performance athlete / J. D. Mac Dougal, H. A. Wander, N. J. Green. — Champaign, IL: Human Kinetics, 1991. — 448 p.

21. *Maud P. J.* Physiological assessment of Human Fitness / P. J. Maud, C. Foster. — Human Kinetic Publishers, 1995. — 304 p.

22. *Marwood S.* Pulmonary oxygen uptake and muscle deoxygenation kinetics during recovery in trained and untrained male adolescents / S. Marwood, D. Roche, M. Garrard, V. B. Unnithan // European Journal of Appl. Physiology. — 2011. — Vol. 111, N 11. — P. 2775–2784.

23. *McKean M. R.* Response to Constant and Interval Exercise Protocols in the Elderly / M. R. McKean, T. B. Stockwell, B. J. Burkett // Journal of Exercise Physiology online. — 2012. — Vol. 15 (2). — P. 30–39.

24. *Mishchenko V.* Individualities of Cardiorespiratory Responsiveness to Shifts in Respiratory Homeostasis and Physical Exercise in Homogeneous Groups of High Performance athletes / V. Mishchenko, O. Shynkaruk, A. Suchanowski, O. Lysenko et al. // Baltic Journal of Health and Physical Activity. — 2010. — Vol. 2, N 1, — P. 13–29.

25. *Scott C. B.* Oxygen Costs Peak after Resistance Training Sets: A Rationale for the Importance of Recovery over Exercise / C. B. Scott // Journal of Exercise Physiology online. — 2012. — Vol. 15 (2). — P. 1–8.

26. *Tomiak T.* Effect of moderate and high intensity training sessions on cardiopulmonary chemosensitivity and time-based characteristics of response in high performance rowers / T. Tomiak, V. Mishchenko, E. Lusenko et al. // Baltic journal of health and physical activity / Gdansk University of

12. *Soroko S. I.* Individual features of human body system responses to acute hypoxia / S. I. Soroko, E. A. Burykh, S. S. Bekshaev S. S. et al. // Rossiyskiy fiziologicheskii zhurnal im. I. M. Sechenova. — 2012. — Vol. 98, N 11. — P. 1396–1415.

13. *Suslina I. V.* Individual-typological features of functional capacities of motor musculature in sportsmen / I. V. Suslina // Fundamentalnyie issledovaniya. — 2012. — N 9–1. — P. 73–77.

14. *Belfry G. R.* The effects of short recovery duration on  $VO_2$  and muscle deoxygenation during intermittent exercise / Glen R. Belfry, Donald H. Paterson, Juan M. Murias, Scott G. Thomas // European Journal of Appl. Physiology- 2012. — Vol. 112, N 5. — P. 1907–1915.

15. *Cunningham D.* The control system regulation breathing in man / D. Cunningham // Quart. Rev. of Biophysics. — 1974. — Vol. 6, N6. — P. 433 – 483.

16. *Grassi B.* Slow  $VO_2$  kinetics during moderate-intensity exercise as markers of lower metabolic stability and lower exercise tolerance / B. Grassi, S. Porcelli, D. Salvadego, J. A. Zoladz // European Journal of Applied Physiology. — 2011. — Vol. 111, N 3. — P. 345–355.

17. *Green H. J.* Adaptations in muscle metabolic regulation require only a small dose of aerobic-based exercise / H. J. Green, M. Burnett, I. Jacobs et al. // European Journal of Appl. Physiology. — 2013. — Vol. 113, N 2. — P. 313–324.

18. *Katayama K.* Effect of intermittent hypoxia on oxygen uptake during submaximal exercise in endurance athletes / K. Katayama, K. Sato, H. Matsuo et al. // European Journal of Applied Physiology. — 2004. — Vol. 92. — P. 75–83.

19. *Khoo M. C. K.* A model-based evaluation of the single-breath  $CO_2$  ventilatory response test / M. C. K. Khoo // Journal of Appl. Physiology. — 1990. — N 68. — P. 393–399.

20. *Mac Dougal J. D.* Physiological testing of the high-performance athlete / J. D. Mac Dougal, H. A. Wander, N. J. Green. — Champaign, IL: Human Kinetics, 1991. — 448 p.

21. *Maud P. J.* Physiological assessment of Human Fitness / P. J. Maud, C. Foster. — Human Kinetic Publishers, 1995. — 304 p.

22. *Marwood S.* Pulmonary oxygen uptake and muscle deoxygenation kinetics during recovery in trained and untrained male adolescents / S. Marwood, D. Roche, M. Garrard, V. B. Unnithan // European Journal of Appl. Physiology. — 2011. — Vol. 111, N 11. — P. 2775–2784.

23. *McKean M. R.* Response to Constant and Interval Exercise Protocols in the Elderly / M. R. McKean, T. B. Stockwell, B. J. Burkett // Journal of Exercise Physiology online. — 2012. — Vol. 15 (2). — P. 30–39.

24. *Mishchenko V.* Individualities of Cardiorespiratory Responsiveness to Shifts in Respiratory Homeostasis and Physical Exercise in Homogeneous Groups of High Performance athletes / V. Mishchenko, O. Shynkaruk, A. Suchanowski, O. Lysenko et al. // Baltic Journal of Health and Physical Activity. — 2010. — Vol. 2, N 1, — P. 13–29.

25. *Scott C. B.* Oxygen Costs Peak after Resistance Training Sets: A Rationale for the Importance of Recovery over Exercise / C. B. Scott // Journal of Exercise Physiology online. — 2012. — Vol. 15 (2). — P. 1–8.

26. *Tomiak T.* Effect of moderate and high intensity training sessions on cardiopulmonary chemosensitivity and time-based characteristics of response in high performance rowers / T. Tomiak, V. Mishchenko, E. Lusenko et al. // Baltic journal of health and physical activity / Gdansk University of

Physical Education and Sport in Gdansk. – 2014. – Vol. 6, N 3. – P. 218–228.

27. *Wagner P. D.* Muscle intracellular oxygenation during exercise: optimization for oxygen transport, metabolism, and adaptive change / P. D. Wagner // *European Journal of Applied Physiology.* – 2012. – Vol. 112, N 1. – P. 1–8.

28. *Wasserman K.* Principles of Exercise Testing and Interpretation / K. Wasserman, J. E. Hansen, D. Y. Sue et al. – Lippincott Williams & Wilkins: Baltimore, 1999. – P. 143–164.

29. *Zupan M. F.* Wingate anaerobic test peak power and anaerobic capacity classifications for men and women intercollegiate athletes / M. F. Zupan, A. W. Arara, L. H. Dawson et al. // *J. Strength. Cond. Res.* – 2009. – N 23. – P. 2598–2604.

*lysenkoolena9@gmail.com*

Physical Education and Sport in Gdansk. – 2014. – Vol. 6, N 3. – P. 218–228.

27. *Wagner P. D.* Muscle intracellular oxygenation during exercise: optimization for oxygen transport, metabolism, and adaptive change / P. D. Wagner // *European Journal of Applied Physiology.* – 2012. – Vol. 112, N 1. – P. 1–8.

28. *Wasserman K.* Principles of Exercise Testing and Interpretation / K. Wasserman, J. E. Hansen, D. Y. Sue et al. – Lippincott Williams & Wilkins: Baltimore, 1999. – P. 143–164.

29. *Zupan M. F.* Wingate anaerobic test peak power and anaerobic capacity classifications for men and women intercollegiate athletes / M. F. Zupan, A. W. Arara, L. H. Dawson et al. // *J. Strength. Cond. Res.* – 2009. – N 23. – P. 2598–2604.

*Поступила 24.04.2016*