

Особенности структуры дыхательной реакции квалифицированных спортсменов при нагрузках различной интенсивности

Елена Лысенко

АННОТАЦИЯ

Цель. Определить соотношение дыхательного объема и частоты дыхания в структуре дыхательной реакции в зависимости от интенсивности физических нагрузок и характера их энергообеспечения.

Методы. У 319 квалифицированных спортсменов исследованы параметры дыхательной реакции (эргоспирометрический комплекс «Охузон Про») и физической работоспособности.

Результаты. При выполнении физической работы в аэробной зоне отмечается большая зависимость уровня V_E от V_T (r 0,468—0,530), чем от f_T (r 0,372—0,450, $p < 0,05$). С повышением интенсивности физической нагрузки (от порога аэробного обмена) отмечается постепенное уменьшение влияния на уровень V_E величины V_T и повышение влияния f_T .

Заключение. В аэробном режиме физической работы при отсутствии значимых гуморальных сдвигов уровень V_E увеличивается преимущественно за счет сигналов от проприорецепторов работающих мышц, а также диафрагмы, что и приводит к увеличению в основном V_T . При увеличении в энергообеспечении физической работы анаэробных гликолитических процессов увеличивается значение гуморального стимула, который больше влияет на f_T при формировании V_E .

Ключевые слова: адаптация, физические нагрузки, дыхательная система, квалифицированные спортсмены.

ABSTRACT

Objective. To determine the ratio of tidal volume and respiratory rate in the structure of respiratory response depending on the intensity of physical exertion and nature of the energy supply.

Methods. Parameters of respiratory response (ergospirometry complex «Oxycan Pro») and physical performance were investigated in 319 qualified athletes.

Results. When performing physical work in the aerobic zone, there is observed high correlation between V_E and V_T (r within the range of 0.468—0.530) than between V_E and f_T (r 0.372—0.450, $p < 0.05$). Increase in intensity of physical exercise (behind lactate threshold) results in gradual decrease of V_T influence and rise of f_T effect on V_E level.

Conclusions. In aerobic mode of physical exercise in the absence of marked humoral shifts, V_E increases mainly due to signals from proprioceptors of working muscles as well as of diaphragm, eventually resulting in preferential increase in V_T . An increase of proportion of anaerobic glycolysis in total energy supply of physical activity is accompanied by increment of humoral stimulus, which has a greater effect on f_T in the formation of V_E .

Keywords: adaptation, physical exertion, respiratory system, qualified athletes.

© Елена Лысенко, 2013

Постановка проблемы. При классификации тренировочных нагрузок в целях индивидуализации их тренирующего эффекта учитывается существование «критических точек» мощности нагрузок, которые отличаются разным соотношением аэробных и анаэробных процессов в метаболическом обеспечении мышечной деятельности [4, 6, 7, 9, 13, 18]. При этом система регуляции дыхания, как правило, поддерживает уровень легочной вентиляции согласно интенсивности метаболических процессов, происходящих в организме, а уровень потребления O_2 и выделения CO_2 можно считать конечным результатом [3, 8, 9, 12, 19]. Однако дыхательный центр обеспечивает непосредственно не конечный интегральный уровень легочной вентиляции, а ее компоненты: глубину и скорость вдоха и выдоха, продолжительность фаз дыхательного цикла [1, 2, 4, 5, 15, 22]. Большинство исследований посвящено изучению изменений дыхательной реакции в зависимости от характера физических нагрузок или условий их выполнения [1, 6, 11, 13, 14, 18, 19], но без учета эффективности деятельности дыхательной и сердечно-сосудистой систем. Для дальнейшего анализа механизмов, участвующих в регуляции дыхания при мышечной деятельности, необходимо рассмотреть структуру дыхательной реакции (паттерн дыхания) в условиях физических нагрузок, различных как по объему проделанной работы, так и по интенсивности ее выполнения. Не зная конкретных механизмов, обеспечивающих адекватный метаболизму уровень легочной вентиляции, а также закономерностей ее энергетической оптимизации во время физической работы (соотношение дыхательного объема и частоты дыхания), нельзя дать достаточно обоснованных рекомендаций относительно режима дыхания при выполнении тренировочных нагрузок, когда рациональное управление дыханием могло бы помочь повысить (или восстановить) работоспособность квалифицированных спортсменов.

Работа выполнена согласно госбюджетной научно-исследовательской темы «Мониторинг процесу адаптації кваліфікованих спортсменів з урахуванням їх індивідуальних особливостей» (номер госрегистрации 011U001732) в рамках программы «Прикладні дослідження і розробки за напрямками науково-технічної діяльності вищих навчальних закладів та наукових установ» Министерства образования и науки, молодежи и спорта Украины на 2012—2013 гг.

Цель исследования — определить соотношение дыхательного объема и частоты дыхания в структуре дыхательной реакции в зависимости от интенсивности физических нагрузок и характера их энергообеспечения.

Методы и организация исследования. Исследования проводили в лабораторных условиях в соревновательном периоде подготовки с участием 319 квалифицированных спортсменов, которые специализировались в избранном виде спорта (легкая атлетика, триатлон, гребля на байдарках и каноэ, гребной слалом, баскетбол, хоккей, биатлон, лыжные гонки). Изучали показатели газообмена, внешнего дыхания, ацидемических сдвигов крови и их физической работоспособности в условиях эргометрических нагрузок различной продолжительности и интенсивности, позволяющих оценить возможности разных сторон энергообеспечения физической работы [10, 16, 21].

В качестве физических нагрузок, преимущественно аэробного характера энергообеспечения, использовали нагрузки малой интенсивности с дистанционным уровнем потребления O_2 17—20 % максимального уровня потребления O_2 ($\dot{V}O_{2max}$) и нагрузки средней интенсивности с уровнем $\dot{V}O_2$ 51—55 % $\dot{V}O_{2max}$ [8, 10, 16]. Мощность аэробных механизмов энергообеспечения физической работы характеризовалась достигнутым уровнем $\dot{V}O_{2max}$ и мощностью «критической» работы ($W_{кр}$) при выполнении работы со ступенчато-возрастающей мощностью «до отказа», а также работы на уровне анаэробного порога ($W_{АнП}$) [20]. Использовали

60-секундную нагрузку максимальной интенсивности для оценки анаэробных гликолитических возможностей организма ($W_{\max}$ 60 с) [21].

В реальном масштабе времени определяли основные характеристики реакции дыхательной системы с использованием диагностического эргоспирометрического комплекса «Oxycan Pro» («Jager», Германия): легочную вентиляцию (V_E), частоту дыхания (f_R), дыхательный объем (V_T), концентрацию CO_2 и O_2 в выдыхаемом (F_{A,O_2} , F_{A,CO_2}) и в альвеолярном воздухе (F_{A,O_2} , F_{A,CO_2}), потребление O_2 ($\dot{V}O_2$), выделение CO_2 ($\dot{V}CO_2$), газообменное отношение ($\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2$), вентиляционные эквиваленты для O_2 ($EQO_2 = V_E \cdot \dot{V}O_2^{-1}$) и CO_2 ($EQCO_2 = V_E \cdot \dot{V}CO_2^{-1}$), кислородный пульс (« O_2 -пульс» = $\dot{V}O_2 \cdot ЧСС^{-1}$) и др. Учитывая, что измерения проводились в открытой системе, показатели внешнего дыхания приведены к условиям BTPS, а газообмена — к условиям STPD. Регистрацию частоты сердечных сокращений (ЧСС, уд · мин⁻¹) проводили с помощью «Sport Tester Polar» (Финляндия). Концентрацию лактата (HLA) в капиллярной крови определяли энзиматическим методом («Dr. Lange-400»). Статистическую обработку результатов проводили с использованием

компьютерной программы «Microsoft Excel» с определением основных показателей.

Тестирование проводили после дня отдыха при стандартизированном режиме питания и питьевого режима. Спортсмены были осведомлены о содержании тестов и дали согласие на их проведение.

Результаты исследования и их об- суждение. В условиях физических нагрузок с различным соотношением аэробных и анаэробных процессов в энергообеспечении были проанализированы изменения реакции кардиореспираторной системы (КРС) по ее уровню и эффективности. Как видно из данных, представленных в таблице 1, в условиях использованных тестов спортсмены выполняют физическую работу различной мощности, что и обуславливает различный уровень срочной реакции КРС, которая адекватна уровню метаболизма при определенных условиях выполнения физической работы. Например, уровень потребления O_2 изменился от $1056,72 \pm 12,23$ мл · мин⁻¹ в условиях нагрузки малой интенсивности до $4790,45 \pm 59,47$ мл · мин⁻¹ в условиях работы максимальной аэробной мощности. По мере увеличения мощности работы от $55,01 \pm 0,64$ до $595,13 \pm 6,74$ Вт отмечалось увеличение

активности аэробных и анаэробных процессов в энергообеспечении, что находит отражение как в значительном приросте выделения CO_2 (на $1559,83 \pm 27,03$ %), так и в изменении паттерна дыхательной реакции.

При аэробных физических нагрузках малой и средней интенсивности, нагрузках на уровне порога анаэробного обмена отмечается некоторое преобладание прироста потребления O_2 над увеличением выделения CO_2 . Так, величина $\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2$ изменялась в пределах от 0,76 до 0,96. Это свидетельствовало о том, что тестирующие нагрузки выполнялись преимущественно за счет аэробных механизмов энергообеспечения [7, 12—14, 20]. В этот период активность анаэробных гликолитических процессов в энергообеспечении работы незначительна, и они играют мобилизирующую роль для развития аэробных процессов в энергообеспечении.

С увеличением интенсивности физических нагрузок на фоне повышения активности аэробных процессов в энергообеспечении отмечается прогрессирующее увеличение активности анаэробных гликолитических процессов. В этот период нарушается баланс образования лактата в мышцах и его утилизации в организме, появляются

ТАБЛИЦА 1 – Уровень физической работоспособности и уровень функционирования кардиореспираторной системы у квалифицированных спортсменов в условиях физической работы разного характера энергообеспечения, $\bar{X} \pm S$

Показатель	Относительный покой	Нагрузка				
		Аэробная		Аэробно-анаэробная		Анаэробная нагрузка максимальной интенсивности
		малой интенсивности	средней интенсивности	на уровне порога анаэробного обмена	удержание «критической» мощности	
Мощность работы (W), Вт	—	55,01 ± 0,64	143,57 ± 1,68	397,18 ± 3,55	368,75 ± 4,17	595,13 ± 6,74
Уровень потребления O_2 ($\dot{V}O_2$), мл · мин ⁻¹	419,34 ± 6,07	1056,72 ± 12,23	2725,32 ± 29,81	4784,77 ± 35,80	4790,45 ± 59,47	4615,12 ± 62,80
Уровень выделения CO_2 ($\dot{V}CO_2$), мл · мин ⁻¹	330,65 ± 5,10	804,04 ± 10,56	2417,46 ± 29,57	5157,52 ± 43,20	4920,62 ± 59,48	5193,70 ± 77,74
Частота сердечных сокращений (ЧСС), уд · мин ⁻¹	62,89 ± 0,78	88,99 ± 0,75	135,44 ± 1,01	190,24 ± 0,58	188,28 ± 0,92	183,30 ± 1,01
Кислородный эффект сердечного цикла (« O_2 -пульс»), мл · уд ⁻¹	5,91 ± 0,10	12,09 ± 0,15	20,23 ± 0,19	25,43 ± 0,23	26,15 ± 0,67	25,01 ± 0,43
Вентиляционный эквивалент для O_2 , $EQO_2 = V_E \cdot \dot{V}O_2^{-1}$	30,94 ± 0,37	25,38 ± 0,24	24,13 ± 0,13	31,05 ± 0,26	31,00 ± 0,32	29,61 ± 0,40
Вентиляционный эквивалент для CO_2 , $EQCO_2 = V_E \cdot \dot{V}CO_2^{-1}$	33,26 ± 0,36	27,61 ± 0,30	25,31 ± 0,20	31,48 ± 0,24	31,88 ± 0,38	33,45 ± 0,49
Коэффициент использования O_2 ($\dot{V}O_2 \cdot V_E^{-1}$)	31,63 ± 0,28	40,61 ± 0,26	41,43 ± 0,28	30,24 ± 0,22	30,35 ± 0,36	29,24 ± 0,40
Газообменное отношение ($\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2$)	0,79 ± 0,01	0,76 ± 0,01	0,92 ± 0,008	1,08 ± 0,01	1,03 ± 0,01	1,14 ± 0,02

признаки угнетения аэробных процессов в энергообеспечении нарастающей степени ацидоза. При выполнении работы на уровне порога анаэробного обмена и после его превышения отмечается больший прирост выделения CO_2 (на $1570,77 \pm 31,73 \%$), чем потребления O_2 (на $1142,373 \pm 21,05 \%$), что связано с компенсацией нарастающей степени ацидоза во время выполнения максимальных физических нагрузок. Это находит свое отражение в величине $\text{VCO}_2 \cdot \dot{\text{V}}\text{O}_{2^{-1}}$, которая изменялась в пределах 1,03—1,18.

Увеличение вклада анаэробных гликолитических процессов и нарастающая степень ацидоза приводят к изменениям в эффективности деятельности сердечно-сосудистой и дыхательной систем. С повышением интенсивности физических нагрузок в аэробной зоне отмечается повышение эффективности легочной вентиляции и эффективности дыхательного цикла (изменения $\dot{\text{V}}\text{O}_2 \cdot f_T^{-1}$ в диапазоне 88,48—308,19 %), а после превышения порога анаэробного обмена отмечается снижение их эффективности. Так, при нагрузках на уровне порога анаэробного обмена отмечается снижение величины вентиляционного эквивалента для O_2 на $6,68 \pm 0,29 \%$, а при аэробно-анаэробных нагрузках с максимальной акти-

визацией аэробных функций — на $28,66 \pm 1,85 \%$.

При нагрузках были обнаружены достоверные различия величины основных параметров функционирования дыхательной системы (табл. 2), характеризующие структуру дыхательной реакции. С увеличением мощности нагрузки отмечается прогрессирующее увеличение $\text{V}_E, \text{V}_T, f_T, \text{V}_A, \text{V}_D$ в сочетании со снижением продолжительности дыхательного цикла (T_R), создаются сложные и неоднозначные изменения паттерна дыхательной реакции (легочной вентиляции). Наибольшая степень изменений относительно состояния покоя отмечается для альвеолярной вентиляции при аэробных нагрузках малой (на $203,13 \pm 3,24 \%$) и максимальной (на $1377,33 \pm 4,58 \%$) интенсивности, а также для легочной вентиляции (от $196,26 \pm 9,38$ до $1200,78 \pm 23,73 \%$ соответственно). Меньшая степень изменений отмечается для уровня вентиляции мертвого пространства (от $199,99 \pm 8,14$ до $862,86 \pm 1,03 \%$ соответственно).

С возрастанием интенсивности нагрузок в формировании уровня легочной вентиляции увеличивается уровень альвеолярной вентиляции и уменьшается вентиляция мертвого пространства. При максимально достигнутой мощности в условиях дли-

тельной работы объем функционального мертвого пространства может вырасти на $169,10 \pm 3,47 \%$, который однако составляет меньшую долю от величины дыхательного объема (около $10,20 \pm 1,04 \%$), поэтому эффективность вентиляции в целом при нагрузке возрастает. В условиях удержания работы на уровне «критической» мощности и достижения максимального уровня потребления O_2 отмечается снижение $\text{V}_D \cdot \text{V}_T^{-1}$ от $19,11 \pm 0,38$ до $8,94 \pm 0,54$, что составляет $46,78 \pm 2,06 \%$ состояния относительного покоя и свидетельствует об улучшении вентиляционно-перфузионного отношения в легких с ростом мощности физической работы.

Уровень легочной и альвеолярной вентиляции в условиях нагрузок различной интенсивности формируется за счет степени увеличения дыхательного объема ($145,05$ — $359,45 \%$ состояния относительного покоя) и частоты дыхания ($132,59$ — $338,09 \%$), а также их соотношения в структуре дыхательной реакции. Уменьшается также продолжительность дыхательного цикла. При условии выполнения физической работы в аэробном режиме до уровня порога анаэробного обмена (включительно) отмечается увеличение уровня легочной вентиляции за счет большего увеличения

ТАБЛИЦА 2 – Изменения основных характеристик функционирования дыхательной системы у квалифицированных спортсменов в условиях выполнения физических нагрузок различного характера, $\bar{X} \pm S$

Показатель	Относительный покой	Нагрузка				
		Аэробная		Аэробно-анаэробная		Анаэробная нагрузка максимальной интенсивности
		нагрузка малой интенсивности	средней интенсивности	на уровне порога анаэробного обмена	удержание «критической» мощности	
Уровень легочной вентиляции $\text{V}_E, \text{л} \cdot \text{мин}^{-1}$	$13,31 \pm 0,18$	$26,12 \pm 0,28$	$66,35 \pm 0,79$	$159,81 \pm 1,33$	$159,41 \pm 2,16$	$160,08 \pm 2,52$
Дыхательный объем, $\text{V}_T, \text{л}$	$866,50 \pm 13,93$	$1256,84 \pm 16,8$	$2163,16 \pm 27,65$	$3105,27 \pm 27,69$	$3114,68 \pm 39,62$	$2930,81 \pm 40,36$
Частота дыхания, $f_T, \text{мин}^{-1}$	$16,35 \pm 0,20$	$21,68 \pm 0,22$	$31,41 \pm 0,34$	$52,44 \pm 0,5$	$51,56 \pm 0,74$	$55,29 \pm 0,95$
Продолжительность дыхательного цикла, $T_{bf}, \text{с}$	$3,67 \pm 0,04$	$2,77 \pm 0,02$	$1,91 \pm 0,03$	$1,14 \pm 0,02$	$1,16 \pm 0,02$	$1,09 \pm 0,01$
Уровень альвеолярной вентиляции, $\text{V}_A, \text{л} \cdot \text{мин}^{-1}$	$10,55 \pm 0,17$	$21,43 \pm 0,31$	$57,03 \pm 0,73$	$135,99 \pm 1,53$	$145,28 \pm 2,04$	$143,75 \pm 2,67$
Объем мертвого пространства, $\text{VDe}, \text{л}$	$168,84 \pm 3,29$	$216,47 \pm 3,41$	$296,80 \pm 6,78$	$454,34 \pm 14,79$	$274,04 \pm 17,55$	$295,25 \pm 15,71$
Вентиляция мертвого пространства, $\text{VD}, \text{л} \cdot \text{хв}^{-1}$	$2,76 \pm 0,12$	$4,69 \pm 0,19$	$9,32 \pm 0,57$	$23,83 \pm 1,03$	$14,13 \pm 1,98$	$16,32 \pm 2,04$
Соотношение $\text{V}_D \cdot \text{V}_T^{-1}$	$19,11 \pm 0,38$	$17,59 \pm 0,2$	$13,90 \pm 0,26$	$14,86 \pm 0,45$	$8,94 \pm 0,54$	$10,28 \pm 0,52$
Соотношение $\text{V}_A \cdot \text{V}_E^{-1}$	$0,793 \pm 0,023$	$0,820 \pm 0,019$	$0,860 \pm 0,035$	$0,851 \pm 0,031$	$0,911 \pm 0,041$	$0,898 \pm 0,038$
Коэффициент экономичности дыхательного цикла, $\text{VO}_2 \cdot f_T^{-1}$	$26,63 \pm 0,50$	$50,19 \pm 0,82$	$89,66 \pm 1,41$	$93,97 \pm 1,23$	$94,97 \pm 1,79$	$85,77 \pm 1,70$

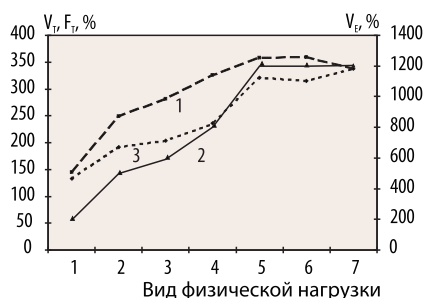


РИСУНОК 1 — Изменения уровня дыхательного объема (1), легочной вентиляции (2), частоты дыхания (3) у квалифицированных спортсменов в зависимости от интенсивности тренировочных нагрузок (изменения выражены в % состояния относительного покоя): 1 — аэробная нагрузка малой интенсивности, 2 — аэробная нагрузка средней интенсивности (51–55 % $\dot{V}O_{2max}$), 3 — нагрузка на уровне порога аэробного обмена (70–75 % $\dot{V}O_{2max}$), 4 — нагрузка на уровне порога анаэробного обмена, 5 — аэробно-анаэробная нагрузка с максимальной активацией аэробных функций, 6 — аэробно-анаэробная нагрузка с преобладанием работы преимущественно анаэробного гликолитического характера, 7 — анаэробная нагрузка преимущественно анаэробного алактатного характера

величины дыхательного объема, чем за счет увеличения частоты дыхания. Дыхательный объем от состояния относительного покоя ($866,50 \pm 13,93$ мл) до уровня порога анаэробного обмена ($2918,80 \pm 29,52$ мл) увеличивается на $225,42 \pm 10,09$ % (рис. 1) и в этих условиях достигает максимального уровня — $90,53 \pm 3,74$ %. При повышении интенсивности нагрузки в аэробной зоне отмечаются наибольшие изменения для V_T ($104,59 \pm 3,85$ %), а меньшие — для f_T ($31,26 \pm 1,98$ %).

С увеличением интенсивности нагрузки происходит прогрессирующее увеличение вклада анаэробных гликолитических процессов [3, 4, 7, 8, 10, 12]. В этих условиях достижение максимального уровня легочной вентиляции ($159,81 \pm 1,33$ л · мин⁻¹) происходит преимущественно за счет увеличения частоты дыхания, которая достигает максимальной величины ($52,44 \pm 0,50$ · мин⁻¹). Как видно из рисунка 1, в условиях выполнения и до момента достижения максимального уровня потребления кислорода отмечается наименьший прирост дыхательного объема (на $32,95 \pm 1,38$ %) за этот период, который сочетается с наибольшей степенью учащения дыхания (на $86,05 \pm 2,98$ %). В условиях преобладания в энергообеспечении физической работы анаэробных гликолитических процессов (60-секундная анаэробная нагрузка максимальной

интенсивности) максимальный уровень легочной вентиляции ($160,08 \pm 2,52$ л · мин⁻¹) формируется при дальнейшем увеличении частоты дыхания ($55,29 \pm 0,95$ мин⁻¹) в сочетании со снижением дыхательного объема ($2930,81 \pm 40,36$ мл). Выполнение нагрузки в аэробном режиме сопровождается углублением дыхания, а в дальнейшем — с увеличением вклада анаэробных гликолитических процессов в энергообеспечение: его учащением, в основном за счет сокращения дыхательного цикла.

Эти закономерности подтверждают результаты корреляционного анализа связи уровня легочной вентиляции с величиной дыхательного объема и частотой дыхания при различных условиях выполнения физической работы. Так, при ее выполнении в аэробной зоне отмечается большая зависимость величины V_E от дыхательного объема (коэффициенты корреляции изменяются в пределах 0,468 и 0,530, $p \leq 0,05$), чем от частоты дыхания ($r 0,372$ — 0,450, $p \leq 0,05$). С повышением интенсивности физической нагрузки (от уровня порога аэробного обмена) отмечается постепенное уменьшение влияния на уровень легочной вентиляции дыхательного объема и повышения влияния частоты дыхания.

Закономерности в изменении структуры дыхательной реакции в условиях физических нагрузок с различным соотношением аэробных и анаэробных процессов в энергообеспечении не зависят от вида спорта. Различия среди представителей разных видов спорта и спортивных специализаций отмечаются только по продолжительности физической работы, выполненной в аэробном режиме или после уровня анаэробного порога при прогрессирующем увеличении активности анаэробных процессов в энергообеспечении. У спортсменов-спринтеров порог анаэробного обмена наступает раньше, чем у стайеров при стандартных условиях выполнения физической нагрузки и, как результат, в формировании легочной вентиляции ранее отмечается увеличение вклада частоты дыхания при уменьшении дыхательного объема.

Таким образом, выбирается такое соотношение между глубиной дыхания и продолжительностью инспираторной и экспираторной фаз, при котором необходимый уровень альвеолярной вентиляции достигается наиболее экономным путем (с точки зрения работы, выполняемой дыхательной мускулатурой) [2—6, 11, 14, 15]. При выполнении физической работы в аэробном

режиме до уровня порога анаэробного обмена отмечается увеличение уровня легочной вентиляции за счет увеличения величины дыхательного объема, чем за счет увеличения частоты дыхания. Физическая работа в аэробном режиме при отсутствии значимых гуморальных сдвигов в организме вызывает увеличение легочной вентиляции преимущественно за счет сигналов от проприорецепторов работающих мышц и диафрагмы, что приводит к повышению в основном дыхательного объема [4, 6, 17].

С увеличением интенсивности нагрузки на уровне порога анаэробного обмена после превышения порога формирование необходимого уровня легочной вентиляции происходит преимущественно за счет увеличения частоты дыхания. Так, при выполнении физической работы на уровне порога анаэробного обмена и до момента достижения максимального уровня потребления кислорода отмечается наименьший прирост дыхательного объема (на $32,95 \pm 1,38$ %), сочетающийся с наибольшим увеличением частоты дыхания (на $86,05 \pm 2,98$ %). В этот период, при увеличении в энергообеспечении физической работы анаэробных гликолитических процессов, увеличивается значение гуморального стимула, который больше влияет на частоту дыхания при формировании легочной вентиляции. При этом появляется при увеличении интенсивности физической нагрузки нелинейность вентиляторной реакции по отношению к приросту продукции CO_2 , что связано с развитием лактат-ацидоза с артериальной гипоксемией и лимитирующими факторами биомеханики дыхания [1, 3, 11, 22].

Формирование необходимого уровня легочной вентиляции за счет частоты дыхания не является экономным путем с точки зрения биомеханики дыхания [1, 2, 6]. С увеличением интенсивности тренировочных нагрузок увеличивается и уровень потребления O_2 , необходимый для обеспечения мышечного метаболизма. Для повышения эффективности тренировочного процесса следует знать индивидуальный «критический» уровень интенсивности тренировочной нагрузки, так как увеличенный при этом уровень потребления O_2 не связан с интенсификацией мышечного метаболизма, а обеспечивает повышенную работу дыхательных мышц для увеличения частоты дыхания. Этот фактор может ограничить величину максимальной физической работоспособности, поскольку при высоком уровне легочной

вентиляции дыхательные мышцы начинают использовать весь дополнительно потре-

бленный O_2 , а в энергообеспечении тренировочной нагрузки увеличивается активность

анаэробных гликолитических процессов при снижении аэробных [1, 3, 20, 22].

Литература

1. Агаджанян Н. А. Адаптация к гипоксии и биоэкономика внешнего дыхания / Н. А. Агаджанян, В. В. Гневушев, Ю. А. Катков. — М.: Изд-во Ун. дружбы народов, 1987. — 186 с.
2. Бреслав И. С. Паттерны дыхания / И. С. Бреслав // Физиология, экстремальные состояния, патология / под ред. Л. Л. Шик. — Л.: Наука. Ленинград. отд-ние, 1984. — С. 169—200.
3. Бреслав И. С. Феномен отказа в мышечной деятельности. Роль системы дыхания / И. С. Бреслав, Н. И. Волков // Физиология человека. — 2002. — Т. 28, №1. — 121—129.
4. Исаев Г. Г. Регуляция дыхания при мышечной работе. — Л.: Наука, 1990. — 120 с.
5. Исаев А. П. Особенности адаптации морфофункциональных показателей и системы внешнего дыхания у пловцов / А. П. Исаев, С. А. Личагина, В. В. Эрлих // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Образование, здравоохранение, физическая культура. — 2005. — № 4 (44). — С. 180—186.
6. 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.] // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Образование, здравоохранение, физическая культура. — 2012. — № 21 (280). — С. 46—56.
7. Гайлюне А. В. Гуморальные факторы развития утомления у представителей разного возраста при напряженной мышечной деятельности / А. В. Гайлюне // Кислородные режимы организма, работоспособность, утомление при напряженной мышечной деятельности. — Вильнюс, 1989. — Ч. I. — С. 27—35.
8. Мищенко В. С. Функциональные возможности спортсменов / В. С. Мищенко. — К.: Здоров'я, 1990. — 200 с.
9. Мищенко В. С. Реактивные свойства кардиореспираторной системы как отражение адаптации к напряженной физической тренировке в спорте / В. С. Мищенко, Е. Н. Лисенко, В. Е. Виноградов. — К., 2007.
10. Платонов В. Н. Система подготовки спортсменов в Олимпийском спорте. Общая теория и ее практические приложения. — К.: Олимп. лит., 2004. — 808 с.
11. Суслина И. В. Индивидуально-типологические особенности функциональных возможностей дыхательной мускулатуры у спортсменов / И. В. Суслина // Фундаментальные исследования. — 2012. — № 9—1. — С. 73—77.
12. Филиппов М. М. Физиологические механизмы развития и компенсации состояния гипоксии в процессе адаптации к мышечной деятельности / М. М. Филиппов, Д. Н. Давиденко. — СПб. — К.: БПА, 2010. — 260 с.
13. Carey D. G. How Endurance Athletes Breathe During Incremental Exercise to Fatigue: Interaction of Tidal Volume and Frequency / D. G. Carey, G. J. Pliego, R. L. Raymond // Journal of Exercise Physiology online. — 2008. — Vol. 11 (4). — P. 44—51.
14. Cross T. J. Evidence of break—points in breathing pattern at the gas—exchange thresholds during incremental cycling in young, healthy subjects / [T. J. Cross, N. R. Morris, D. A. Schneider, S. Sabapathy] // European Journal of Applied Physiology. — 2012. — Vol. 112, Issue 3. — P. 1067—1076.
15. Grishin O. V. The variability of pulmonary gas exchange and respiratory pattern / O. V. Grishin, Y. V. Kovalenko, V. G. Grishin // Human Physiology. — 2012. — Vol. 38, № 2. — С. 194—199.
16. Maud P. J. Physiological assessment of Human Fitness / P. J. Maud, C. Foster. — Human Kinetic Publishers, 1995. — 304 p.
17. O'Halloran J. Locomotor—respiratory coupling patterns and oxygen consumption during walking above and below preferred stride frequency // [J. O'Halloran, J. Hamill, W. J. McDermott et al.] // European Journal of Applied Physiology. — 2012 — Vol. 112, Issue 3. — P. 929—940.
18. Skime A. Cardiovascular Responses During Groucho Running / A. Skime, T. Boone. // Journal of Exercise Physiology online. — 2011. — Vol. 14 (2). — P. 88—92.
19. Vella, C. A. Fitness, body size, ventilation and the oxygen cost of breathing in adults / C. A. Vella, R. A. Robergs, P. M. Yamada // Journal of Exercise Physiology online. — 2008. — Vol. 11 (6). — P. 67—76.
20. Wasserman K. Principles of Exercise testing and interpretation / K. Wasserman, J. Hansen, D. Sue. — Lea and Feliger, Philadelphia, 1987. — 274 p.
21. Wilmore J. H. Physiology of Sport and Exercise / J. H. Wilmore, D. L. Costill. — Champaign: Human Kinetics, 1994. — 549 p.
22. Yamashiro S. M. Respiratory cycle optimization in exercise / S. M. Yamashiro, F. S. Grodins // Journal of Applied Physiology. — 1973. — Vol. 35. — P. 522—525.

References

1. Agadzhanian N. A. Adaptation to hypoxia and bioeconomy of external respiration / N. A. Agadzhanian, V. V. Gnevushev, Yu. A. Katkov. — Moscow: Publ. House of Peoples' Friendship University, 1987. — 186 p.
2. Breslav I. S. Respiratory patterns / I. S. Breslav // Physiology, extreme states, pathology // Ed. by L. L. Shik. — Leningrad: Nauka. Leningrad division, 1984. — P. 169—200.
3. Breslav I. S. Failure phenomenon in muscle activity. The role of respiratory system / I. S. Breslav, N. I. Volkov // Human physiology. — 2002. — Vol. 28, N1. — 121—129 p.
4. Isaev G. G. Breathing control during muscular exercise. — Leningrad: Nauka, 1990. — 120 p.
5. Isaev A. P. Peculiarities of adaptation of morphofunctional parameters and external respiration system in swimmers / A. P. Isaev, S. A. Lichagina, V. V. Erlikh // Bulletin of the South Ural State University. Series: Education, health, physical culture. — 2005. — N 4(44). — P. 180—186.
6. Isaev A. P. Strategies for the formation of adaptive reactions in athletes. Basics of the theory of adaptation and principles of its formation in the sport of high and highest achievements / [A. P. Isaev, V. V. Rybakov, V. V. Erlikh et al.] // Bulletin of the South Ural State University. Series: Education, health, physical culture. — 2012. — N 21 (280). — P. 46—56.
7. Gailiune A. V. Humoral factors of fatigue development among peoples of different age during intense muscular activity / A. V. Gailiune // Oxygen regimes of the body, performance, fatigue during intense muscular activity. — Vilnius, 1989. — Part I. — P. 27—35.
8. Mishchenko V. S. Functional capacities of athletes / V. S. Mishchenko. — Kiev: Zdorovia, 1990. — 200 p.
9. Mishchenko V. S. Reactive properties of cardiorespiratory system as a reflection of adaptation to intense physical training in sport / V. S. Mishchenko, Ye. N. Lysenko, V. E. Vinogradov. — Kiev, 2007.
10. Platonov V. N. The system of athletes' training in Olympic sport. General theory and its practical application. — Kiev: Olympic literature, 2004. — 808 p.
11. Suslina I. V. Individual-typological features of functional capacities of respiratory muscles in athletes / I. V. Suslina // Fundamental studies. — 2012. — N 9—1. — P. 73—77.
12. Filippov M. M. Physiological mechanisms of development and compensation of hypoxia in adaptation to muscular activity / M. M. Filippov, D. N. Davidenko. — Saint Petersburg — Kiev: BPA, 2010. — 260 p.
13. Carey D. G. How Endurance Athletes Breathe During Incremental Exercise to Fatigue: Interaction of Tidal Volume and Frequency / D. G. Carey, G. J. Pliego, R. L. Raymond // Journal of Exercise Physiology online. — 2008. — Vol. 11 (4). — P. 44—51.
14. Cross T. J. Evidence of break—points in breathing pattern at the gas—exchange thresholds during incremental cycling in young, healthy subjects / [T. J. Cross, N. R. Morris, D. A. Schneider, S. Sabapathy] // European Journal of Applied Physiology. — 2012. — Vol. 112, Issue 3. — P. 1067—1076.
15. Grishin O. V. The variability of pulmonary gas exchange and respiratory pattern / O. V. Grishin, Y. V. Kovalenko, V. G. Grishin. // Human Physiology. — 2012. — Vol. 38, № 2. — С. 194—199.
16. Maud P. J. Physiological assessment of Human Fitness / P. J. Maud, C. Foster. — Human Kinetic Publishers. — 1995. — 304 p.
17. O'Halloran J. Locomotor—respiratory coupling patterns and oxygen consumption during walking above and below preferred stride frequency // [J. O'Halloran, J. Hamill, W. J. McDermott et al.] // European Journal of Applied Physiology. — 2012 — Vol. 112, Issue 3. — P. 929—940.
18. Skime A. Cardiovascular Responses During Groucho Running / A. Skime, T. Boone. // Journal of Exercise Physiology online. — 2011. — Vol. 14 (2). — P. 88—92.
19. Vella, C. A. Fitness, body size, ventilation and the oxygen cost of breathing in adults / C. A. Vella, R. A. Robergs, P. M. Yamada // Journal of Exercise Physiology online. — 2008. — Vol. 11 (6). — P. 67—76.
20. Wasserman K. Principles of Exercise testing and interpretation / K. Wasserman, J. Hansen, D. Sue. — Lea and Feliger, Philadelphia, 1987. — 274 p.
21. Wilmore J. H. Physiology of Sport and Exercise / J. H. Wilmore, D. L. Costill. — Champaign: Human Kinetics, 1994. — 549 p.
22. Yamashiro S. M. Respiratory cycle optimization in exercise / S. M. Yamashiro, F. S. Grodins // Journal of Applied Physiology. — 1973. — Vol. 35. — P. 522—525.

Научно-исследовательский институт
Национального университета физического воспитания и спорта Украины, Киев
luslena@rambler.ru

Поступила 9.04.2013