

# АКТУАЛЬНІ ПРОБЛЕМИ ФІЗИЧНОЇ РЕАБІЛІТАЦІЇ, СПОРТИВНОЇ МЕДИЦИНИ ТА АДАПТИВНОГО ФІЗИЧНОГО ВИХОВАННЯ



## ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ РЕАКТИВНОСТЬ КАРДИОРЕСПИРАТОРНОЙ СИСТЕМЫ И ХАРАКТЕР МОБИЛИЗАЦИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА СПОРТСМЕНОВ В УСЛОВИЯХ ГИПОКСИИ

*Лысенко Елена*

Научно-исследовательский институт Национального университета физического воспитания и спорта Украины

### Анотація

На підставі обстеження 54 висококваліфікованих спортсменів 19-24 років, які спеціалізуються в бігу на різні дистанції (100, 800 і 5000 м), показано вплив специфічності довгострокової адаптації організму легкоатлетів на загальний рівень аеробної потужності. Підвищення рівня реактивності кардіореспіраторної системи на  $\text{CO}_2$ - $\text{H}^+$ -стимул обумовлені переважанням у тренувальному процесі швидкісно-силових тренувальних навантажень, а зниження – переважанням тренувань, спрямованих на підвищення рівня витривалості спортсменів.

**Ключові слова:** реактивність, кардіореспіраторна система, кваліфіковані спортсмени, гіперкапінія, фізичні навантаження.

### Annotation

On the basis of investigation of 54 elite male athletes aged 19-24, specializing in different running distances (100, 800 and 5000 m), the influence of specific character of long-term adaptation in the body of athletes on general level of aerobic power. Increased reactivity cardio-respiratory system  $\text{CO}_2$ - $\text{H}^+$ -stimul are due the predominance in training of speed-power loads, and the decrease - use of training aimed at improving the level of endurance athletes.

**Key words:** reactivity, cardio-respiratory system, skilled athletes, hypercapnia, physical loads.

**Постановка проблеми.** Известно, что способность человека противостоять экстремальным факторам в значительной мере зависит от индивидуальной особенности физиологической реактивности организма, скорости вовлечения и эффективности механизмов срочной адаптации [1, 6, 7, 8, 10]. Механизмы адаптации при различных влияниях среды и физических нагрузках имеют как общие, так и индивидуальные черты. Вероятной основой возникающих индивидуальных отличий в адаптации являются наследственные особенности реактивности на гуморальные стимулы и характер метаболизма, которые находятся под генетическим контролем и взаимосвязаны с развитием и спецификой нервно-мышечного аппарата, его афферентации [1, 2, 4, 9, 10, 16].

**Анализ последних исследований и публикаций.** Чувствительность человека к гиперкапническим и гипоксическим сдвигам дыхательного гомеостазиса в значительной мере отображает общую физиологическую реактивность организма, скорость и уровень соответствующей реакции функциональных систем на действие раздражителей раз-



личного характера. Степень реактивности различных функциональных систем, независимо от типа раздражителя, тесно связана с величиной вентиляторного ответа на гиперкапнический стимул и, в меньшей мере, – с вентиляторным ответом на действие гипоксического стимула [6].

В процессе адаптации человека к изменяющимся условиям среды и, в частности, к напряженным физическим нагрузкам особую актуальность приобретают индивидуальные особенности реализации энергетических возможностей организма, которые предположительно связаны с индивидуальными особенностями физиологической реактивности КРС [5, 6, 11, 12, 13, 14, 15]. Можно предположить, что, используя различные дисциплины спорта как модель определенного вида деятельности человека, можно определить диапазон отличий физиологической реактивности организма и в дальнейшем проанализировать связанные с такими отличиями особенности реализации энергетических и функциональных возможностей человека в условиях физических нагрузок.

Работа выполнялась согласно госбюджетной научно-исследовательской теме 2.35 «Критеріи оцінки функціонального потенціалу спортсменів високого класу» (номер госрегистрации темы: №0114U001482) Министерства образования и науки Украины.

**Целью исследования** было изучение особенностей реакции кардиореспираторной системы на гиперкапнические сдвиги дыхательного гомеостаза у квалифицированных спортсменов, длительно специализировавшихся в легкоатлетическом беге на дистанции различной продолжительности, а также выявить взаимосвязь этих особенностей с характером реализации энергетического и функционального потенциала в условиях физических нагрузок.

**Методы исследования.** Исследование проводили в соревновательном периоде с участием 54 высококвалифицированных спортсменов-мужчин в возрасте 19-24 лет, которые на протяжении 5-8 лет специализировались в беге на 100 м (19 спортсменов), на 800 м (15 спортсменов) и на 5000 м (16 спортсменов).

Использовались методы комплексного тестирования характеристик физиологической реактивности КРС (чувствительности, устойчивости реакций) на гиперкапнические ( $\text{CO}_2\text{-H}^+$ ) и гипоксические сдвиги дыхательного гомеостаза в состоянии покоя и при выполнении физических нагрузок. Нарастающую степень изокапнической гипоксической стимуляции создавали методом возвратного дыхания в диапазоне изменений напряжения  $\text{O}_2$  в альвеолярном воздухе ( $\text{P}_A\text{O}_2$ ) от 135 до 45 мм рт.ст. Прогрессирующую гиперкапническую стимуляцию на фоне повышенного содержания  $\text{O}_2$  (50-60%) в газовой смеси создавали методом возвратного дыхания [8]. Для анализа реакции КРС на физические нагрузки максимальной аэробной мощности использовалась тестирующая нагрузка ступенчатовозрастающей мощности длительностью 12-18 минут до момента достижения индивидуальных границ потребления  $\text{O}_2$  (уровень “критической” мощности –  $\text{W}_{\text{кр}}$ ). Такая модель нагрузки позволяет определить максимальный уровень аэробной мощности организма (по  $\text{VO}_{2\text{max}}$ ), аэробную эффективность. Тестирующие нагрузки выполнялись на тредмиле LE-200 (Германия). Показатели реакции КРС на тестирующие воздействия регистрировали в реальном масштабе времени с помощью быстродействующего автоматизированного кардиоспирометрического комплекса “Oxycor Pro” (“Jaeger”, Германия). Концентрацию лактата в капиллярной крови определяли энзиматическим ме-

тодом (“Dr. Lange-420”).

Обработка данных проводилась по специально разработанному алгоритму [6, 7], а статистическую обработку результатов с использованием компьютерной программы “Microsoft Excel”. Для систематизации индивидуальных реакций организма на прогрессирующий  $\text{CO}_2\text{-H}^+$ -стимул использовали метод таксономического анализа. Тестирование проводилось после дня отдыха при стандартизованном режиме питания и питьевого режима. Спортсмены были осведомлены о содержании тестов и дали согласие на их проведение.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Анализ реакции КРС в условиях действия прогрессирующей гиперкапнической ( $\text{CO}_2\text{-H}^+$ ) и гипоксической стимуляции позволил выявить индивидуальные различия среди обследованных спортсменов. Применение алгоритма таксономии позволило выделить три типа реагирования КРС только на  $\text{CO}_2\text{-H}^+$ -стимул, путем объединения в один таксон (группу) лиц, которые наиболее подобно реагировали на указанный стимул (по величине и интенсивности функциональных реакций). Классификация индивидуальных реакций на гипоксический стимул не позволила четко выделить группы спортсменов по типу реагирования. В связи с этим последующий анализ реакции КРС на физические нагрузки был проведен отдельно для групп спортсменов разного типа реагирования по критериям реакции КРС на  $\text{CO}_2\text{-H}^+$ -стимул (табл. 1).

Из представленных данных в таблице 1 видно, что квалифицированные спортсмены с I типом реагирования характеризовались высоким уровнем чувствительности и общей реактивности вентиляторной (согласно величин  $\Delta V_E / \Delta P_A \text{CO}_2$ ,  $V_{E50}$ ) и циркуляторной ( $\Delta \text{ЧСС} / \Delta P_A \text{CO}_2$ ,  $\text{ЧСС}_{50}$ ). Этот тип реагирования характеризовался сниженным уровнем



**Характеристика реакции кардиореспираторной системы в условиях прогрессирующей гиперкапнической стимуляции в состоянии покоя у квалифицированных спортсменов с различным типом реагирования,  $M \pm m$**

Показатели	Группы спортсменов по типу реагирования			P(t-test) <0,05
	I тип	II тип	III тип	
Прирост легочной вентиляции на 1 мм рт.ст, увеличения $P_A CO_2$ ( $\Delta V_E / \Delta P_A CO_2$ ), л•мин <sup>-1</sup> •мм рт.ст. <sup>-1</sup>	2,27±0,16	1,59±0,11	1,09±0,14	1-2,3;2-3
Прирост частоты сердечных сокращений на 1 мм рт.ст, увеличения $P_A CO_2$ ( $\Delta ЧСС / \Delta P_A CO_2$ ), мин <sup>-1</sup> •мм рт.ст. <sup>-1</sup>	1,29±0,13	0,96±0,09	0,64±0,14	1-2,3;2-3
Порог вентиляторной реакции (точка “апноэ”), мм рт.ст,	31,35±0,88	35,42±0,91	39,63±0,79	1-2,3;2-3
Частота сердечных сокращений при $P_A CO_2$ 50 мм рт.ст, (ЧСС50), мин <sup>-1</sup>	74,37±2,89	70,81±3,24	67,09±2,08	1-3
Прирост легочной вентиляции на 1 мл увеличения дыхательного объема ( $\Delta V_E / \Delta V_T$ ), мин	20,93±1,26	16,24±1,97	11,91±1,84	1-2,3;2-3
Коэффициент дыхательной аритмии сердечного ритма при $P_A CO_2$ 50 мм рт.ст, (КДА <sub>50</sub> ), %	12,30±1,01	14,29±0,82	18,73±1,04	1-2,3;2-3
$P_A CO_2$ начала снижения максимального уровня дыхательной аритмии ( $P_A CO_2 \downarrow$ КДА), мм рт.ст,	49,91±0,98	53,04±1,08	56,18±1,18	1-2,3;2-3

порога вентиляторной реакции на  $CO_2$  (точка “апноэ”) и уровнем устойчивости регуляции сердечного ритма (КДА<sub>50</sub>,  $P_A CO_2 \downarrow$ КДА), а также повышенным уровнем чувствительности рефлекса Геринга-Брейера ( $\Delta V_E / \Delta V_T$ ). Такой тип реагирования соответствует представлениям о гиперкинетическом типе. Спортсменов с III типом реагирования отличал сниженный уровень чувствительности КРС на  $CO_2$ -H<sup>+</sup>-стимул. При этом отмечается обратная взаимосвязь: снижение чувствительности вентиляторной реакции на  $CO_2$ -H<sup>+</sup>-стимул сопровождалось повышением уровня устойчивости регуляции сердечного ритма и увеличения порога вентиляторной реакции на  $CO_2$ . Это может свидетельствовать о расширении зоны нечувствительности медулярных хеморецепторов на  $CO_2$ -H<sup>+</sup>-стимул [3, 6, 8] у спор-

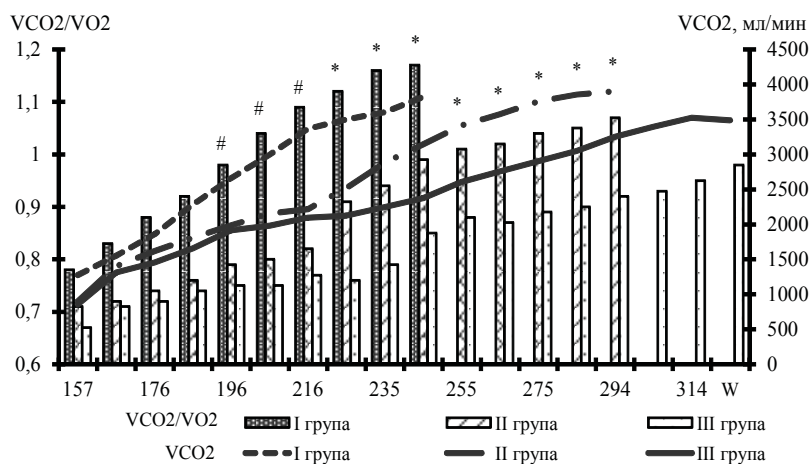
тсменов данной группы (гипоксический тип). Средний уровень чувствительности КРС на гиперкапнические и гипоксические сдвиги дыхательного гомеостаза отличал спортсменов со II типом реагирования.

Анализ показал, что с увеличением продолжительности основной соревновательной дистанции отмечается снижение чувствительности реакций (по  $\Delta V_E / \Delta P_A CO_2$   $r=-0,87$ ; по  $\Delta ЧСС / \Delta P_A CO_2$   $r=-0,82$ ), а также величины общей реакции КРС на  $CO_2$ -H<sup>+</sup>-стимул (по  $V_{E50}$   $r=-0,64$ ; по  $HR_{50}$   $r=-0,46$ ,  $p<0,05$ ). В процессе дальнейшего анализа группу лиц с высоким уровнем физиологической реактивности (I тип реагирования) в основном (93,7%) составили спортсмены, которые длительно и успешно специализировались в беге на короткие соревновательные дистанции (100 м). В группу ква-

лифицированных спортсменов со средним уровнем физиологической реактивности (II тип) входили главным образом (89,4%) бегуны на средние дистанции (800 м), а группу лиц со сниженным уровнем (III тип) составили (94,8%) спортсмены-бегуны на длинные дистанции (5000 м).

Таким образом, особенности физиологической реактивности организма определенным образом влияют на специфичность физической работоспособности и характер мобилизации аэробных и анаэробных факторов энергообеспечения нагрузки. В условиях продолжительной нагрузки ступенчато возрастающей мощности, выполняемой до “отказа”, снижение чувствительности КРС на  $CO_2$ -H<sup>+</sup>-стимул в покое сопровождается увеличением уровня физической работоспособности по  $W_{кр}$  и  $VO_{2max}$ . В данном ис-





**Рис.1. Динамика выделения  $\text{CO}_2$  ( $\text{VCO}_2$ ) и газообменного отношения ( $\text{VCO}_2/\text{VO}_2$ ) в условиях тестирующей нагрузки ступенчато возрастающей мощности “до отказа” у квалифицированных спортсменов с разным уровнем физиологической реактивности КРС на  $\text{CO}_2$ -Н+-стимул: I группа – высокий уровень физиологической реактивности, II группа – средний уровень физиологической реактивности, III группа – сниженный уровень физиологической реактивности.**

По оси ординат – выделение  $\text{CO}_2$  ( $\text{VCO}_2$ , мл·мин<sup>-1</sup>), газообменное отношение ( $\text{VCO}_2/\text{VO}_2$ ), по оси абсцисс – мощность тестирующей нагрузки (W).

Примечание: \* – достоверные отличия между всеми группами ( $p < 0,05$ );

# – достоверные отличия I группы относительно II и III групп ( $p < 0,05$ ).

следовании не выявлены достоверные отличия величины выделенного  $\text{CO}_2$  ( $\text{VCO}_2$ ) на уровне мощности нагрузки максимального потребления  $\text{O}_2$  у квалифицированных спортсменов с различным уровнем физиологической реактивности. Вместе с тем, важно отметить, что спортсмены различных групп реактивности в условиях данного теста достигают различных уровней  $\text{W}_{\text{кр}}$  и  $\text{VO}_{2\text{max}}$  ( $p < 0,05$ ). Это вызывало необходимость дополнительного анализа этого вопроса. Для этого была сопоставлена динамика  $\text{VCO}_2$  при выполнении нагрузки ступенчато возрастающей мощности у спортсменов различных групп (рис.1). Это позволило сравнить эффективность легочной вентиляции при одинаковых уровнях механической мощности нагрузки у квалифицированных спортсменов с

различным уровнем чувствительности КРС на  $\text{CO}_2$ -Н+-стимул и различной направленностью процесса долговременной адаптации к тренировочным нагрузкам.

Самый большой уровень выделения  $\text{VCO}_2$  при одинаковой величине мощности нагрузки отмечался у лиц, которые имели относительно сниженный уровень физической работоспособности и высокий уровень чувствительности КРС на  $\text{CO}_2$ -Н+-стимул. Так, у спортсменов данной группы при нагрузке 245,9 Ватт имел место достоверно более высокий уровень выделения  $\text{CO}_2$  ( $\text{VCO}_2 = 56,9 \pm 3,7$  мл·кг<sup>-1</sup>·мин<sup>-1</sup>) и газообменного отношения ( $\text{VCO}_2/\text{VO}_2 = 1,17 \pm 0,14$ ), чем у спортсменов со средним ( $\text{VCO}_2 = 38,2 \pm 2,5$  мл·кг<sup>-1</sup>·мин<sup>-1</sup>,  $\text{VCO}_2/\text{VO}_2 = 0,91 \pm 0,13$ ) и сниженным ( $\text{VCO}_2 = 34,5 \pm 3,3$  мл·кг<sup>-1</sup>·мин<sup>-1</sup>,  $\text{VCO}_2/\text{VO}_2 = 0,79 \pm 0,17$ )

уровнем физиологической реактивности на этом же уровне механической мощности нагрузки. Полученные данные свидетельствуют о более высоком уровне активности анаэробных гликолитических процессов в энергообеспечении при одинаковой мощности нагрузки у спортсменов с высоким уровнем чувствительности КРС на  $\text{CO}_2$ -Н+-стимул (бег на 100 м). Кроме того, степень относительного преобладания выделения  $\text{CO}_2$  над потреблением  $\text{O}_2$  связана с развитием двигательной гипокании, которая может являться одним из лимитирующих факторов физической работоспособности, фактором снижения эффективности функций КРС. У спортсменов с высоким уровнем физической работоспособности и со сниженной чувствительностью КРС на  $\text{CO}_2$ -Н+-стимул, которые специализировались в беге на 5000 м отмечалась относительно сниженная продукция  $\text{CO}_2$  на всех уровнях мощности нагрузки. Динамика газообменного отношения (см. рис.1) и концентрация лактата в крови свидетельствовала о преобладании в энергообеспечении физической нагрузки спортсменов данного типа реактивности аэробных факторов энергообеспечения работы при меньшей роли анаэробных факторов и меньшей выраженности дыхательной компенсации метаболического ацидоза.

Приведенные данные могут свидетельствовать о большой роли в указанных особенностях реакции КРС на продолжительную нагрузку постепенно возрастающей мощности не только уровня активности анаэробных гликолитических процессов, но и чувствительности и устойчивости КРС к  $\text{CO}_2$ -Н+-стимулу. Корреляционный анализ выявил положительную взаимосвязь между уровнем чувствительности КРС на  $\text{CO}_2$ -Н+-стимул в состоянии покоя и уровнем активности ана-





эробных гликолитических процессов в энергообеспечении в условиях продолжительной нагрузки. Прирост  $V_{CO_2}$  и его соотношение с  $VO_2$  ( $V_{CO_2}/VO_2$ ) прямо соотносилось с уровнем чувствительности вентиляторной ( $r = 0,81$  для  $\Delta V_E/\Delta P_A CO_2$ ) и циркуляторной ( $r = 0,78$  для  $\Delta ЧСС/\Delta P_A CO_2$ ) реакции на сдвиги дыхательного гомеостаза. Таким образом, специфическая адаптация к определенному виду физических нагрузок характеризуется направленной модификацией физиологической реактивности КРС (чувствительности и устойчивости) к сдвигам дыхательного гомеостаза, которая может выступать как механизм формирования мощности дыхательной компенсации метаболического ацидоза. Это позволяет использовать показатели чувствительности и устойчивости реакций КРС на  $CO_2$ -H+-стимул для прогнозирования эффектов напряженной тренировки и оценки характера адаптации.

#### Выводы.

Направленность связей между характеристиками физиологической реактивности КРС на гиперкапнические сдвиги дыхательного гомеостаза и физической работоспособности позволяет предположить наличие общей закономерности, заключающейся в том, что повышение уровня чувствительности и общей реактивности КРС на  $CO_2$ -H+-стимул взаимообусловлены преобладанием в тренировочном процессе скоростно-силовых тренировочных нагрузок преимущественно анаэробного характера, а снижение чувствительности преобладающим использованием способов тренировок, направленных на развитие аэробных возможностей организма и повышение уровня выносливости спортсменов. Это указывает на то, что изменения физиологических факторов, которые определяют уровень чувствительности реакций кар-

диореспираторной системы на сдвиги дыхательного гомеостаза, с одной стороны, отображают продолжительную кумуляцию однотипных тренировочных влияний на характер энергетического метаболизма, а с другой – тесно связаны с особенностями (специфичностью) реакции КРС в условиях физических нагрузок различного характера.

**Перспективы дальнейших исследований.** Определить наиболее благоприятные условия и характер тестирующих нагрузок (соотношение аэробных и анаэробных процессов в энергообеспечении тестов), которые необходимы для максимальной мобилизации аэробных возможностей спортсменов, специализирующихся на соревновательных дистанциях различной продолжительности.

#### Литература:

1. Березовский В.А. Рост резервного потенциала у человека при экспозиции прерывистой нормобарической гипоксии / В.А. Березовский, М.И. Левашов. // Авиакосмическая и экологическая медицина. - 2000. - Т. 34, № 2. - С.39-46.
2. Бурых Э.А. Изменения внешнего дыхания, мозгового кровотока и ЭЭГ при гипоксии у испытуемых с разной гипоксической резистентностью / Э.А. Бурых. // Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. – 2011. – Т.97, № 5. – С. 459-471.
3. Исаев Г.Г. Регуляция дыхания при мышечной работе / Г.Г. Исаев. – Л.:Наука, 1990.–120 с.
4. Кривошеков С.Г. Индивидуальные особенности внешнего дыхания при прерывистой нормобарической гипоксии / Г.М. Диверт, В.Э.Диверт. // Физиология человека - 2006. - Т. 32, № 3. - С. 62-71.
5. Лисенко О.М. Оптимізація фізіологічної реактивності системи дихання в процесі

адаптації до напруженої м'язової діяльності: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. біол. наук: спец. 03.00.13 «фізіологія людини і тварин» / О.М. Лисенко. – Київ, 2013. – 43 с.

6. Мищенко В.С. Функциональные возможности спортсменов / В.С.Мищенко. – Киев: Здоровья, 1990. – 200 с.
7. Мищенко В.С. Функциональная подготовленность, как интегральная характеристика предпосылок высокой работоспособности спортсменов: Методическое пособие / В.С. Мищенко, А.И. Павлик, В.Ф. Дяченко. – Киев: ГНИИФКиС, 1999. – 129 с.
8. 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. – Київ: Науковий світ, 2007.–351 с.
9. Платонов В.Н. Система подготовки спортсменов в Олимпийском спорте. Общая теория и ее практические приложения / В.Н. Платонов.–Киев: Олимпийская литература, 2004.–808 с.
10. Суротинин Н.Н. Эволюция резистентности и реактивности организма / Н.Н.Суротинин. - М.: Медицина. – 1981. – 235 с.
11. Ширковец Е.А. Различия факторных структур подготовленности спортсменов в зависимости от специфики мышечной деятельности и этапа подготовки / Е.А. Ширковец, Н.В. Иванова. // Вестник спортивной науки. - 2011. - № 1. - С. 41-44.
12. Harms С.А. Low chemoresponsiveness and inadequate hyperventilation contribute to exercise-induced hypoxemia / С.А. Harms, J.M. Stager. // Journal of Applied Physiology. – 1995. – Vol.79. – P.575-580.
13. Ohyabu Y. Ventilatory and heart rate chemosensitivity in track-



- and-field athletes / [Y. Ohya, A. Usami, I. Ohya et al.]. // *European Journal of Applied Physiology*. – 1990. – Vol. 59. – P. 460-464.
14. Skime A. Cardiovascular Responses During Groucho Running / A. Skime, T. Boone. // *Journal of Exercise Physiology online*. – 2011. – Vol.14 (2).– P.88-92.
15. 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.
16. Zasada M. Cardiorespiratory responsiveness throughout continuous strenuous physical exercise and its individualities in endurance athletes / [M.Zasada, W.Mishchenko, S.Sawczyn, O.Lysenko, W.Vinogradov, T.Tomiak.]. // *Medical and Biological Sciences*. – 2011. – Vol. 25, № 4. – P. 55-64.

