

МЕДИКО-БИОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ СПОРТУ ВИЩИХ ДОСЯГНЕНЬ

Изменение чувствительности кардиореспираторной системы к гиперкапнии на разных этапах адаптации к физическим нагрузкам скоростно-силовой направленности

Е. Н. Лысенко

Научно-исследовательский институт Национального университета
физического воспитания и спорта Украины, Киев, Украина

Резюме. Досліджено особливості фізіологічної реактивності кардіореспіраторної системи на зрушення дихального гомеостазису у кваліфікованих спортсменів та її взаємозумовленість з характеристиками спеціальної працездатності в спринті. Встановлено, що у кваліфікованих спортсменів-спринтерів з високим вихідним рівнем чутливості кардіореспіраторної системи (КРС) на $\text{CO}_2\text{-H}^+$ -стимул з підвищенням рівня спеціальної тренуваності відбувається не зростання рівня чутливості КРС на $\text{CO}_2\text{-H}^+$ -стимул, як вважали, а його зниження.

Ключові слова: кваліфіковані спортсмени, спринт, чутливість, реактивність, кардіореспіраторна система, гіперкапнічні зрушення дихального гомеостазису, фізичні навантаження.

Summary. The present article deals with research of the features in physical reactivity of cardiorespiratory system to the shifts occurring in respiratory homeostasis of skilled athletes and its mutual conditionality with characteristics in response of cardiorespiratory system, It was stated, that in skilled sprint athletes having high output level of cardiorespiratory system sensitivity to $\text{CO}_2\text{-H}^+$ -stimulus, when the level of special trainability is increased, there occurs not increase, as has been supposed, but decrease in the level of cardiorespiratory system sensitivity to $\text{CO}_2\text{-H}^+$ -stimulus,

Key words: skilled athletes, sprint, sensitivity, reactivity, cardiorespiratory system, hypercapnic shifts in respiratory homeostasis, physical loads.

Постановка проблемы. Физические нагрузки, в частности спортивные тренировки в одном из видов спортивных специализаций в течение ряда лет, накладывают отпечаток на уровень чувствительности вентиляторных и циркуляторных реакций к гипоксическим и гиперкапническим сдвигам дыхательного гомеостазиса и в состоянии покоя, и при выполнении физических нагрузок. Результатом их длительного воздействия при тренировке на выносливость является снижение чувствительности вентиляторной и циркуляторной реакции к гиперкапнии и гипоксии, барорецепторного рефлекса и рефлекса Геринга—Брейера наряду с повышением нейrogenных компонентов реакции, роли

проприорецепции работающих мышц, что сочеталось с увеличением устойчивости и эффективности функционирования кардиореспираторной системы (КРС) в условиях действия гиперкапнии и значительно больше — при гипоксии [2, 10, 13, 15, 31, 32]. Подобные изменения направлены прежде всего на формирование эффективной для каждого вида мышечной деятельности динамической структуры реакции КРС по скорости развертывания функциональных реакций, их максимального уровня, устойчивости и экономичности [10, 14, 15, 17].

Вентиляторная чувствительность к CO_2 и устойчивость к максимальным гиперкапническим сдвигам ($P_{\text{A}}\text{CO}_2\text{max}$) может быть диагностическим

признаком для оценки специальной работоспособности спортсменов. Так, для спортсменов стайерских специализаций и гребцов на байдарке — при сравнении со средними данными нетренированных людей — отмечается более высокая устойчивость к переносу максимальных гиперкапнических сдвигов дыхательного гомеостаза и сниженная вентиляторная чувствительность к CO_2 . По данным С. М. Кучкина [9], у легкоатлетов-бегунов на длинные дистанции (стайеров) чувствительность вентиляторной реакции на CO_2 ниже, чем у бегунов на короткие дистанции (спринтеров): $\Delta V_E / \Delta P_A \text{CO}_2$ составляет 1,60 против $2,36 \text{ л} \cdot \text{мин}^{-1} \cdot \text{мм рт.ст.}^{-1}$, что согласуется с результатами исследования других авторов [2, 3, 12, 16, 17]. В то же время у спринтеров по сравнению с нетренированными людьми отмечается пониженная чувствительность дыхательного центра к CO_2 [15, 22]. Например, спринтерам необходимо в два раза большее увеличение содержания CO_2 в крови и альвеолярном воздухе, чтобы при задержке дыхания у них появилось непроизвольное сокращение диафрагмы [15, 22].

Исследованиями В. С. Мищенко [14, 15, 17] показано, что снижение чувствительности реакций КРС отражает увеличение ее функциональных возможностей, что подтверждает высокую степень обратной связи уровня чувствительности функциональных реакций к действию прогрессирующей гиперкапнической или гипоксической стимуляции с максимальным значением потребления O_2 с другими максимальными характеристиками функционирования КРС в условиях напряженных физических нагрузок, а также со степенью экономизации функций и уровнем физической работоспособности при высокой степени адаптации. При этом чувствительность КРС к гипоксии и гиперкапнии остается у высокоотренированных лиц более сниженной при всех субмаксимальных уровнях мощности физической работы.

При продолжительном влиянии физических нагрузок, требующих максимальной мобилизации аэробных возможностей организма и способствующих развитию выносливости, изменение чувствительности КРС к сдвигам дыхательного гомеостаза достаточно хорошо изучена по направленности: происходит снижение ее чувствительности к гиперкапнии и гипоксии и повышается специальная работоспособность спортсменов [15, 9, 26, 29]. Однако анализ литературы выявил некоторый разнобой мнений относительно влияния анаэробного характера скоростно-силовой направленности на уровень

физиологической реактивности спортивной тренировки преимущественно, например, в беге на короткие дистанции [1, 9].

Цель исследования — изучить изменение чувствительности кардиореспираторной системы к гиперкапническому стимулу на разных этапах адаптации к физическим нагрузкам скоростно-силового характера у квалифицированных спортсменов-спринтеров.

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

Методы исследования. В исследованиях, проводившихся в течение 2,5 лет на экспериментальной базе Научно-исследовательского института Национального университета физического воспитания и спорта Украины, принимали участие 19 квалифицированных спортсменов-спринтеров (КМС и МС). В годичном цикле подготовки было выделено пять точек — этапов адаптации, которые характеризовались определенными направленностью, сочетанием и длительностью применения тренировочных нагрузок [24]. За начальные (исходные) были приняты результаты исследований, проведенные после окончания соревновательного периода (I этап адаптации). Далее та же группа спортсменов участвовала в исследованиях начале переходного периода (II этап), начале подготовительного периода подготовки (III этап), середине подготовительного (IV этап) и начале соревновательного (V этап) периодов.

Реакцию КРС на прогрессирующий гиперкапнический CO_2 - H^+ -стимул и физические нагрузки разного характера энергообеспечения оценивали в лабораторных условиях в конце каждого этапа адаптации. Использовался эргоспирометрический комплекс «Охусон Про» («Jager», Германия), который позволял в реальном масштабе времени регистрировать легочную вентиляцию (V_E), частоту дыхания (f_T), дыхательный объем (V_T), частоту сердечных сокращений (ЧСС), концентрацию O_2 и CO_2 в выдыхаемом и альвеолярном воздухе, потребление O_2 (VO_2), выделение CO_2 (VCO_2). Выполнение тестирующих физических нагрузок проводились на тредмиле LE-200 (Германия) и велоэргометре для анаэробных тестов «Monark-894E» (Швеция). Для оценки анаэробных алактатных (креатинфосфатных) возможностей организма спортсменов использовали 15-секундную работу максимальной интенсивности ($W_{\text{max } 15\text{c}}$), а для оценки анаэробных гликолитических

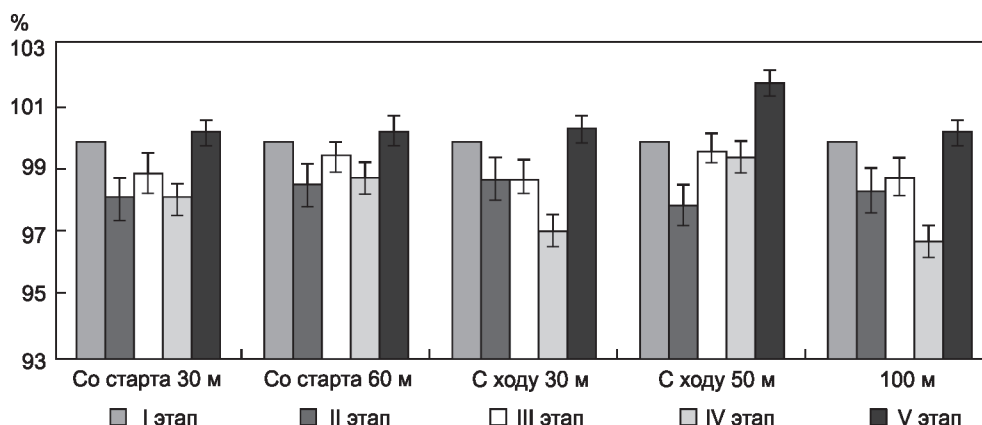


Рисунок 1 – Динамика скорости бега на дистанции разной продолжительности у квалифицированных спортсменов-спринтеров на разных этапах адаптации к напряженным тренировочным нагрузкам (изменения выражены в % исходного уровня, принятого за 100 % – I этап адаптации)

возможностей – 60-секундную работу максимальной интенсивности ($W_{\max 60c}$) [6, 8, 10, 11, 13].

Прогрессирующий гиперкапнический стимул ($\text{CO}_2\text{-H}^+$ -стимул) на фоне повышенного содержания O_2 (50–60 %) в газовой смеси создавали методом возвратного дыхания. Чувствительность вентиляторной реакции на $\text{CO}_2\text{-H}^+$ -стимул определяли на основании зависимости V_E от напряжения углекислого газа в артериальной крови ($P_A\text{CO}_2$), отражающей прирост легочной вентиляции на 1 мм рт.ст. увеличения $P_A\text{CO}_2$ ($\Delta V_E / \Delta P_A\text{CO}_2$, мл·мин⁻¹·мм рт.ст.⁻¹) [13, 14], а чувствительность циркуляторной реакции – по приросту ЧСС ($\Delta\text{ЧСС} / \Delta P_A\text{CO}_2$, уд·мин⁻¹·мм рт.ст.⁻¹). Порог чувствительности вентиляторной реакции к CO_2 отражает величина $P_A\text{CO}_2$, при которой в данных условиях зависимости $V_E\text{-}P_A\text{CO}_2$ наступает точка «апноэ». Определяли величины V_E , ЧСС и уровень дыхательной аритмии сердечного ритма (КДА) при стандартной величине $P_A\text{CO}_2 = 50$ мм рт.ст. Обработку данных проводили по специально разработанному алгоритму [15, 9].

Скоростно-силовые свойства нервно-мышечного аппарата (НМА) и специальную физическую работоспособность спортсменов-спринтеров оценивали через каждые две недели в естественных условиях тренировочного занятия. Методом хронодиноэрографии [24] определяли максимальную мощность развиваемого мышечного усилия, (F_{\max} , кг), скоростно-силовой индекс (F_{83} , кг·с⁻¹), стартовую силу мышц ($Q_{0,1}$, кг·0,1с⁻¹), сократительные свойства мышц (ССМ, кг), сопротивляемость мышц утомлению (СМУ, с). Для определения специальной физической работоспособности спортсменов-спринтеров (оценки уровня скоростных и скоростно-силовых возможностей) использовали тесты: бег с ходу на дистанции 30 и 50 м, бег с низкого старта на 30, 50 и 60 м, бег на дистанции 100 м; прыжки в длину с места, тройной прыжок с места, 10-кратные

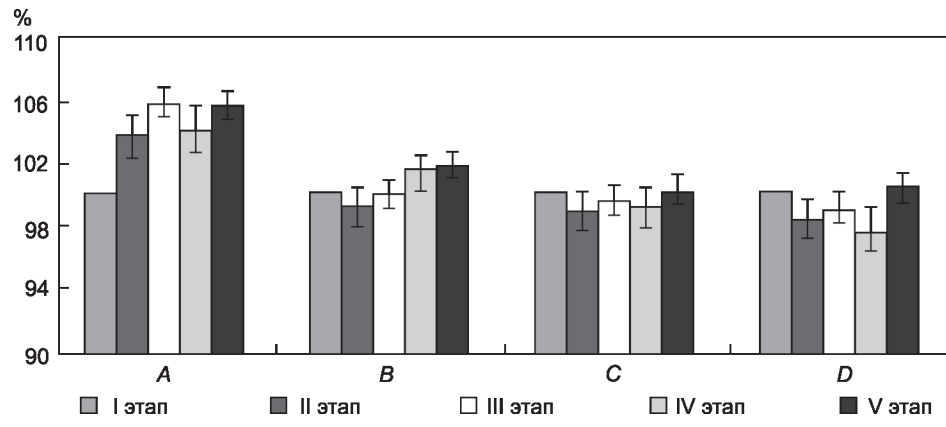
прыжки; прыжки на маховой и толчковой ноге на отрезке 30 м с максимальной скоростью [4, 18, 19, 24, 30].

Статистическую обработку экспериментального материала осуществляли с помощью пакета стандартных компьютерных программ математической статистики «Microsoft Excel», «Statistica-6» [6, 8]. Для сравнения в динамике показателей, имеющих разные единицы измерения, величину их изменения оценивали в процентах относительно исходных данных (I этап адаптации был принят за 100 %). При проведении комплексных биологических обследований с участием спортсменов придерживались разработанной в Лаборатории теории и методики спортивной подготовки и резервных возможностей спортсменов НИИ НУФВСУ «Программы комплексного биологического исследования особенностей функциональных возможностей спортсменов», а также законодательства Украины об охране здоровья, Хельсинской декларации 2000 г., директивы Европейского общества 86/609 относительно участия людей в медико-биологических исследованиях.

Результаты исследования и их обсуждение.

Согласно результатам предыдущих исследований [9, 12, 17], квалифицированных спортсменов, которые длительно и успешно специализировались на коротких соревновательных дистанциях, отличал высокий уровень чувствительности и общей реактивности КРС на $\text{CO}_2\text{-H}^+$ -стимул ($\Delta V_E / \Delta P_A\text{CO}_2 = 2,27 \pm 0,16$ л·мин⁻¹·мм рт.ст.⁻¹, $\Delta\text{ЧСС} / \Delta P_A\text{CO}_2 = 1,29 \pm 0,13$ уд·мин⁻¹·мм рт.ст.⁻¹), а квалифицированных спортсменов, которые специализировались на длинных соревновательных дистанциях, – сниженный уровень реактивности ($\Delta V_E / \Delta P_A\text{CO}_2 = 1,09 \pm 0,14$ л·мин⁻¹·мм рт.ст.⁻¹, $\Delta\text{ЧСС} / \Delta P_A\text{CO}_2 = 0,64 \pm 0,14$ уд·мин⁻¹ × мм рт.ст.⁻¹), что и подтверждает данные других авторов [9, 15].

Рисунок 2 — Динамика показателей, характеризующих уровень скоростно-силовых возможностей квалифицированных спортсменов-спринтеров на разных этапах адаптации к напряженным тренировочным нагрузкам (изменения выражены в % исходного уровня, принятого за 100 % — I этап адаптации):
 A — прыжки в длину с места; B — тройной прыжок с места; C — 10-кратный прыжок с места; D — скорость прыжков на одной ноге на дистанции 30 м



Эффективность процесса адаптации организма спортсмена к тренировочным нагрузкам в пределах годичного цикла подготовки рассматривалась на основании учета уровня специальной физической работоспособности, как интегральной характеристики проявления функциональных приспособлений организма к напряженным физическим нагрузкам [10–12, 15, 17].

Самый высокий уровень специальной работоспособности спортсменов отмечался сразу после окончания соревновательного периода (I этапа адаптации) и в начале следующего соревновательного периода (V этапа) — рис. 1, рис. 2. Обращает на себя внимание то, что после соревновательного периода (I этапа) высокий уровень специальной работоспособности сочетался с наибольшим ухудшением скоростно-силовых свойств НМА за весь период спортивной подготовки (рис. 3). Это может быть результатом постоянного недовосстановления организма спортсменов и накопления утомления, что прежде всего и отражалось на скоростно-силовых свойствах НМА. В начале нового соревновательного

периода (V этапа) отмечался высокий уровень специальной работоспособности спортсменов, что сочеталось с повышенным уровнем скоростно-силовых характеристик НМА, как по величине скоростно-силового индекса, стартовой силы, так и по максимальному уровню мощности развиваемого усилия.

После восстановления — в переходный период и в начале нового периода подготовки, когда в тренировке преобладали нагрузка аэробного характера (II этап), — отмечалось снижение уровня специальной работоспособности спортсменов, что сопровождалось дальнейшим ухудшением скоростно-силовых свойств НМА.

Увеличение на III этапе адаптации в тренировочном процессе доли нагрузок аэробно-анаэробного характера и подключение нагрузок преимущественно с анаэробным гликолитическим механизмом энергообеспечения отражалось в улучшении скоростно-силовых свойств НМА, что выражалось в увеличении максимальной мощности развиваемого мышечного усилия на $11,60 \pm 1,09 \%$, стартовой силы мышц на $19,11 \pm 1,24 \%$, а скоростно-силового индекса

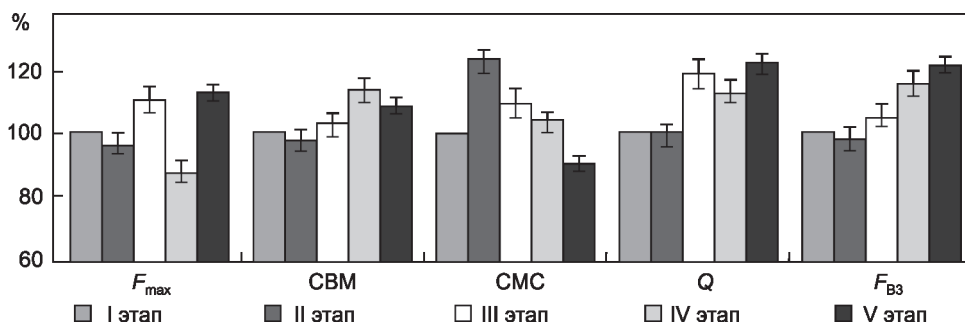


Рисунок 3 — Динамика показателей, характеризующих уровень скоростно-силовых свойств нервно-мышечного аппарата у квалифицированных спортсменов-спринтеров на разных этапах адаптации к напряженным тренировочным нагрузкам (изменения выражены в % исходного уровня, принятого за 100 % — I этап адаптации):

F_{max} — максимальная мощность развиваемого усилия; CBM — сократительные свойства мышц; CMC — устойчивость мышц к утомлению; Q — стартовая сила; F_{BS} — скоростно-силовой индекс

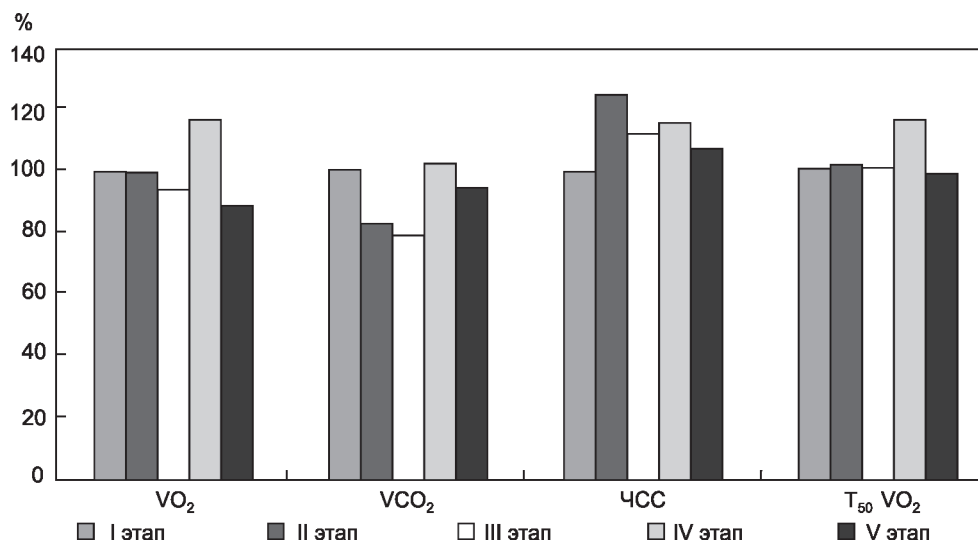


Рисунок 4 – Изменение уровня потребления O₂ (VO₂), выделение CO₂ (VCO₂), частоты сердечных сокращений (ЧСС) и полупериода реакции для увеличения потребления O₂ (T₅₀VO₂) в условиях аэробной нагрузки на разных этапах адаптации квалифицированных спортсменов-спринтеров к тренировочным нагрузкам (изменения выражены в % исходного уровня, принятого за 100 % – I этап адаптации)

на $5,57 \pm 1,13$ % относительно I этапа ($p < 0,05$). Уровень специальной работоспособности снижен, но отмечалось относительно II этапа адаптации незначительное повышение скорости бега и результатов в прыжковых тестах.

Сосредоточение большого объема нагрузок специальной силовой и прыжковой подготовки на III и IV этапах привело к незначительному снижению уровня специальной работоспособности и ухудшению скоростно-силовых свойств НМА в конце IV этапа адаптации. После снижения на V этапе объемов соответствующих нагрузок и в начале соревновательного периода наблюдалось повышение уровня специальной работоспособности спортсменов-спринтеров и скоростно-силовых возможностей НМА ($p < 0,05$).

После переходного периода (II этапа адаптации) отмечалось снижение по сравнению с I этапом уровня анаэробных креатинфосфатных возможностей организма $W_{\max 15c}$ на $4,15 \pm 1,39$ %, а гликолитических $W_{\max 60c}$ – на $3,22 \pm 0,79$ %. В дальнейшем наблюдалось постепенное повышение уровня анаэробных креатинфосфатных возможностей спортсменов, а на начало соревновательного периода (V этапа) – увеличение $W_{\max 15c}$ относительно I этапа на $11,21 \pm 2,03$ % ($p < 0,05$). Уровень анаэробных гликолитических возможностей организма, наоборот, продолжал постепенно снижаться, и относительно низкий его уровень отмечался на IV этапе ($p < 0,05$), но на начало соревновательного периода (V этапа) зафиксировано незначительное повышение $W_{\max 60c}$ (на $4,01 \pm 1,98$ %) по сравнению с предыдущим периодом. Обнаружена прямая взаимосвязь характеристик специальной физической работоспособности с уровнем анаэробных

креатинфосфатных возможностей $W_{\max 15c}$ и обратная – с уровнем анаэробных гликолитических возможностей $W_{\max 60c}$.

При анализе изменений уровня реакции КРС в условиях аэробной нагрузки средней мощности с дистанционным уровнем потреблением O₂, равным $55,39 \pm 2,74$ % $\dot{V}O_{2max}$, на разных этапах адаптации спортсменов к тренировочным нагрузкам в беге на 100 м (рис. 4) обнаружено, что в пределах годичного цикла подготовки высокий уровень V_E, VCO₂, VO₂ и ЧСС отмечался на IV этапе и свидетельствовал о сниженном уровне экономичности функционирования КРС в условиях аэробной нагрузки средней мощности относительно других этапов адаптации. На начало соревновательного периода (V этапа) снижался уровень реакции КРС в условиях аэробной нагрузки средней мощности, что свидетельствовало о повышении уровня экономичности функционирования. С повышением уровня тренированности спортсменов-спринтеров также понижался уровень максимальной реакции КРС в условиях 60-секундной нагрузки максимальной интенсивности с анаэробным гликолитическим механизмом энергообеспечения.

При анализе скорости разворачивания функциональных реакций на разных этапах адаптации учитывали представленные в литературе данные, что в процессе долговременной адаптации к тренировочным нагрузкам повышение экономичности функционирования КРС сопровождается снижением скорости разворачивания ее функциональных реакций в условиях физических нагрузок разного характера [11, 12, 15, 16, 21]. Динамика скорости разворачивания реакций КРС по величине полупериода реакции увеличения

потребления O_2 ($T_{50}VO_2$, с) в условиях аэробной нагрузки средней мощности (см. рис. 4) и скорости увеличения потребления O_2 при 60-секундной нагрузке максимальной интенсивности на разных этапах адаптации.

На IV этапе адаптации сниженный уровень специальной физической работоспособности спортсменов сочетался со снижением скорости развертывания функциональных реакций в условиях физических нагрузок на $25,32 \pm 3,07$ % и увеличением полупериода реакции для VO_2 на $17,96 \pm 2,96$ % относительно I этапа адаптации (конца соревновательного периода). В период высокого уровня специальной работоспособности спортсменов (V этап адаптации, начало соревновательного периода) отмечалось достоверное повышение скорости увеличения VO_2 на $30,91 \pm 4,21$ % и снижение полупериода реакции для VO_2 на $20,35 \pm 2,73$ % относительно предыдущего этапа адаптации (IV этапа). После уменьшения на V этапе объемов соответствующих нагрузок в начале соревновательного периода наблюдался прирост уровня специальной работоспособности спринтеров, существенное повышение уровня скоростно-силовых возможностей НМА.

Это опровергает данные других исследователей: длительное выполнения тренировочных нагрузок скоростно-силовой направленности с анаэробным характером энергообеспечения вызывает снижение экономичности функционирования КРС спринтеров в условиях физических нагрузок [1, 20]. До некоторой степени полученные нами результаты подтверждают исследования Г. Л. Шрейберга и М. М. Шарова [23], которые отмечали, что у спринтеров непосредственно перед соревнованиями создаются условия для увеличения использования кортикостероидов, необходимых для экономного использования энергетических ресурсов, что свидетельствует о повышении экономичности функционирования функциональных систем организма с повышением уровня специальной работоспособности спортсменов.

Таким образом, в пределах годового цикла подготовки у спортсменов-спринтеров сниженная скорость развертывания реакций кардиореспираторной системы сочеталась с пониженным уровнем специальной физической работоспособности, а высокая скорость — с высоким уровнем специальной работоспособности — подтверждала результаты других исследователей [15, 17, 25, 28]. Но при этом следует отметить другую закономерность: повышение уровня тренированности спортсменов-бегунов на короткие дистанции

сопровождается увеличением скорости развертывания функциональных реакций и уровня экономичности функционирования КРС в условиях нагрузок аэробного характера.

Очевидно, выявленная прямая взаимосвязь уровня экономичности функционирования и скорости развертывания реакций КРС ($r = 0,574$, $p < 0,05$) в условиях физических нагрузок связана с особенностями направленности процесса долговременной адаптации спортсменов к тренировочным нагрузкам скоростно-силового характера в легкоатлетическом беге на короткие дистанции. У квалифицированных спортсменов-спринтеров с высоким уровнем физиологической реактивности КРС на сдвиги дыхательного гомеостаза в пределах годового цикла адаптации к напряженным тренировочным нагрузкам скоростно-силовой направленности повышение уровня тренированности сопровождалось снижением уровня реакции КРС при выполнении физических нагрузок разного характера и повышением экономичности ее функционирования, что сочеталось с увеличением скорости развертывания функциональных реакций в условиях физических нагрузок.

Изменения характеристик чувствительности и общей реактивности КРС на CO_2-H^+ -стимул на разных этапах адаптации приведены в таблице 1 и проанализированы, учитывая наличие периодов относительно повышенного и пониженного уровня специальной физической работоспособности спортсменов в пределах годового цикла адаптации к тренировочным нагрузкам.

После окончания соревновательного периода (I этап адаптации) повышенный уровень специальной физической работоспособности спортсменов сочетался с пониженным уровнем чувствительности КРС на CO_2-H^+ -стимул. На II этапе адаптации, после переходного периода, относительно пониженный уровень специальной физической работоспособности и экономичности функционирования КРС в условиях физических нагрузок сопровождался достоверным увеличением чувствительности вентиляторной реакции на CO_2-H^+ -стимул ($\Delta V_E / \Delta P_A CO_2$) на $35,72 \pm 5,94$ %, циркуляторной ($\Delta ЧСС / \Delta P_A CO_2$) на $45,37 \pm 4,87$ % относительно I этапа ($p < 0,05$). Кроме этого, II этап адаптации отличался достоверным увеличением уровня вентиляторной реакции (V_{E50}) на $86,56 \pm 11,24$ % при стандартной величине напряжения CO_2 в альвеолярном воздухе, равном 50 мм рт.ст., а циркуляторной реакции ($ЧСС_{50}$) — на $25,17 \pm 7,84$ % ($p < 0,05$).

В дальнейшем изменения характеристик чувствительности вентиляторной и циркуляторной реакции на CO_2-H^+ -стимул на разных этапах

ТАБЛИЦА 1 – Динамика характеристик физиологической реактивности кардиореспираторной системы и вегетативной регуляции сердечного ритма в условиях действия прогрессирующей гиперкапнической стимуляции на разных этапах адаптации квалифицированных спортсменов к тренировочным нагрузкам в беге на дистанции 100 м (M ± SD)

Показатель	I этап конец сорев- новательного периода	II этап переходный период	III этап развитие общей и специальной выносливости	IV этап развитие скоростно- силовой выносливости	V этап начало сорев- новательного периода	P (t-тест) < 0,05
Прирост на 1 мм рт.ст. увеличения P _A CO ₂ : ΔV _E /ΔP _A CO ₂ , л·мин ⁻¹ ·мм рт.ст. ⁻¹ ΔЧСС/ΔP _A CO ₂ , уд·мин ⁻¹ ·мм рт.ст. ⁻¹	1,523 ± 0,171 1,69 ± 0,24	2,067 ± 0,284 1,92 ± 0,37	2,306 ± 0,237 1,09 ± 0,29	2,363 ± 0,206 1,11 ± 0,17	1,981 ± 0,184 1,01 ± 0,12	1–3,4 1–3,4,5; 2–3,4,5,
Легочная вентиляция при P _A CO ₂ 50 мм рт. ст. (V _{E50}), л·мин ⁻¹	20,16 ± 2,11	37,61 ± 3,22	38,31 ± 2,96	27,66 ± 2,18	30,16 ± 1,97	1–2,3,4,5; 4–2,3
Частота сердечных сокращений при P _A CO ₂ 50 мм рт. ст. (ЧСС ₅₀), уд·мин ⁻¹	73,04 ± 3,78	91,71 ± 4,65	77,31 ± 5,28	66,57 ± 3,26	63,24 ± 2,11	2–1,3,4,5
Коэффициент дыхательной аритмии сердечного ритма при P _A CO ₂ 50 мм рт. ст. (КДА ₅₀), %	15,48 ± 2,04	11,12 ± 2,29	8,37 ± 2,03	11,24 ± 1,48	15,33 ± 1,18	1–3,4; 2–5;3–1,5; 4–1,5
P _A CO ₂ начала снижения дыхательной аритмии сердечного ритма (P _A CO ₂ ↓КДА _{max}), мм рт.ст.	54,01 ± 4,17	42,27 ± 4,78	44,12 ± 4,13	51,54 ± 2,08	52,77 ± 1,93	1–2,3; 2–1,4,5; 3–1,4,5

адаптации не однонаправленные. Так, каждый период (III и IV этапы), по мере увеличения интенсивности тренировочных нагрузок и адаптации организма спортсменов к ним, отмечалось постепенное увеличение чувствительности вентиляторной реакции на CO₂-H⁺-стимул по величине ΔV_E/ΔP_ACO₂ в среднем на 10,02 ± 1,29 %. Однако к началу соревновательного периода (V этап) высокий уровень специальной физической работоспособности спортсменов и экономичности функционирования КРС при физических нагрузках сочетался со снижением уровня чувствительности вентиляторной реакции на CO₂-H⁺-стимул на 25,07 ± 2,3 % по сравнению с IV этапом, и величина ΔV_E/ΔP_ACO₂ в этот период составляла 1,98 ± 0,18 л·мин⁻¹·мм рт.ст.⁻¹ (см. табл.1).

Снижение чувствительности циркуляторной реакции в CO₂-H⁺-стимул на 71,05 ± 4,07 % относительно предыдущего этапа отмечалось уже на III этапе адаптации, после периода выполнения спортсменами больших объемов тренировочных нагрузок преимущественно аэробного характера. На следующих этапах адаптации фиксировалось снижение чувствительности циркуляторной реакции в среднем на 12,03 ± 2,19 % каждый этап, и на начало соревновательного периода (V этапа) величина ΔЧСС/ΔP_ACO₂ составляла 1,01 ± 0,12 уд·мин⁻¹·мм рт.ст.⁻¹, т. е. 59,76 ± 4,07 % относительно I этапа адаптации.

В процессе адаптации спортсменов-спринтеров при напряженных тренировочных нагрузках в условиях действия гиперкапнии отмечалось увеличение активности парасимпатического отдела

вегетативной нервной системы, повышение устойчивости вегетативной регуляции в регуляции сердечного ритма по величине P_ACO₂ начала снижения дыхательной аритмии (P_ACO₂↓КДА_{max}).

Исследования показали наличие вероятной связи между уровнями специальной работоспособности спортсменов и физиологической реактивности. Так, обнаружена противоположная взаимообусловленность между уровнем скоростно-силовых возможностей НМА и характеристиками реактивности КРС (V_{E50} r = -0,59, ЧСС₅₀ r = -0,68, p < 0,05). Такая же направленность взаимосвязей отмечена и для уровня чувствительности вентиляторной реакции, но их выраженность значительно меньше: ΔV_E/ΔP_ACO₂ r = -0,46, p < 0,05.

Согласно литературным данным, выполнение спортсменами, которые длительно специализировались на коротких соревновательных дистанциях (в беге на 100–400 м, плавании на 50 м), нагрузки скоростно-силовой направленности – преимущественно анаэробного характера энергообеспечения – способствовали повышению чувствительности КРС на CO₂-H⁺-стимул [15, 9, 1]. Кроме того, считают, что для спринтерской тренировки характерно повышение в соревновательном периоде чувствительности КРС на CO₂-H⁺-стимул, а высокая чувствительность к CO₂ является фактором увеличения скорости развертывания функциональных реакций на физическую нагрузку [1, 12, 15].

Полученные нами результаты не согласуются с приведенными выше данными. У квалифицированных спортсменов с высоким уровнем

чувствительности КРС на $\text{CO}_2\text{--H}^+$ -стимул в процессе адаптации к специализированным напряженным тренировочным нагрузкам — преимущественно анаэробного характера — с повышением уровня специальной работоспособности (в соревновательном периоде) отмечалось снижение чувствительности вентиляторной и циркуляторной реакции на $\text{CO}_2\text{--H}^+$ -стимул относительно исходного уровня (начало сезона). В условиях физических нагрузок подобное снижение чувствительности к CO_2 сопровождалось повышением уровня экономичности функционирования КРС

и скорости развертывания функциональных реакций. Кроме того, следует отметить, что у лиц с высокой степенью адаптации к мышечной деятельности и уровнем тренированности (у спортсменов-лидеров сборной команды Украины по легкоатлетическому бегу на дистанции 100 м) отмечался сниженный, по сравнению с другими спортсменами команды, уровень характеристик физиологической реактивности кардиореспираторной системы на гиперкапнические сдвиги дыхательного гомеостаза (табл. 2). Полученные нами результаты в некоторой степени подтверждают исследования В. С. Шестакова [22], который выявил у спринтеров пониженную, по сравнению с нетренированными людьми, чувствительность дыхательного центра к CO_2 , что, очевидно, является следствием долговременной адаптации организма спортсменов к тренировочным нагрузкам в легкоатлетическом беге на короткие дистанции.

Таким образом, наши данные показывают, что высокий исходный уровень чувствительности реакций КРС к $\text{CO}_2\text{--H}^+$ -стимулу у квалифицированных спортсменов-спринтеров является результатом многолетнего отбора для демонстрации высокой эффективности соревновательной деятельности на коротких соревновательных дистанциях. Однако в процессе адаптации организма к напряженным тренировочным и соревновательным нагрузкам скоростно-силовой направленности сохраняется общая закономерность, выявленная для процесса адаптации организма спортсменов-стайеров к длительным

ТАБЛИЦА 2 — Характеристика физиологической реактивности кардиореспираторной системы на гиперкапнические сдвиги дыхательного гомеостаза в состоянии покоя у квалифицированных спортсменов-спринтеров

Показатель	Средние значения по команде (M ± SD)	Индивидуальные значения показателей	
		лидера	аутсайдера
$\Delta V_E / \Delta P_A \text{CO}_2$, л · кг ⁻¹ · мин ⁻¹ · мм рт.ст. ⁻¹	26,50 ± 2,08	24,47	28,59
$\Delta \text{ЧСС} / \Delta P_A \text{CO}_2$, уд · мин ⁻¹ · мм рт.ст. ⁻¹	1,29 ± 0,13	1,17	1,39
V_{E50} , мл · мин ⁻¹	39,06 ± 2,49	36,67	41,58
ЧСС_{50} , уд · мин ⁻¹	74,37 ± 2,89	71,48	77,24
КДА_{50} , %	12,30 ± 1,01	13,28	11,16
$P_A \text{CO}_2 \downarrow \text{КДА}_{\text{max}}$, мм рт.ст.	49,91 ± 0,98	48,36	50,74

нагрузкам, для чего требуется проявление выносливости. При этом происходит снижение чувствительности КРС к $\text{CO}_2\text{--H}^+$ -стимулу при повышении уровня специальной тренированности спринтеров, но в пределах, которые определялись индивидуальными наследственными особенностями физиологической реактивности организма.

Выводы

1. Для эффективной адаптации организма высококвалифицированных спортсменов к тренировочным и соревновательным нагрузкам скоростно-силовой направленности и достижения высокого спортивного результата на коротких соревновательных дистанциях необходим высокий исходный уровень чувствительности и общей реактивности кардиореспираторной системы на $\text{CO}_2\text{--H}^+$ -стимул.

2. Повышение уровня специальной тренированности спортсменов-бегунов на короткие соревновательные дистанции сопровождается увеличением скорости развертывания функциональных реакций и уровня экономичности функционирования кардиореспираторной системы в условиях физических нагрузок.

3. В процессе долговременной адаптации организма спортсменов-спринтеров к физическим нагрузкам скоростно-силовой направленности и с повышением уровня их специальной тренированности происходит снижение уровня чувствительности кардиореспираторной системы на гиперкапнические сдвиги дыхательного гомеостаза.

References

1. Agadzhanian N. A. Peculiarities of cardiorespiratory system adaptation in persons with different level of pulmonary ventilation during combined effect of hypoxia and hypercapnia / N. A. Agadzhanian, V. G. Dvoyanosov. // Vestn. Ural. med. akadem. nauki. — 2010. — Vol. 32, N 4. — P. 17–21.

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. академ. науки. — 2010. — Т. 32, № 4. — С. 17–21.

2. *Богданович Л. В.* Реактивность системы дыхания юных спортсменов с различной направленностью тренировочного процесса / Л. В. Богданович // Управление тренировочным процессом на основе учета индивидуальных особенностей юных спортсменов. — Х., 1991. — С. 179–180.
3. *Буков Ю. А.* Оценка вентиляторной реакции на гиперкапнию и ее значение в профессиональной ориентации людей / Ю. А. Буков, С. И. Шпак, Л. М. Букова // Материалы наук. конф. «Индивідуальні психофізіологічні властивості людини та професійна діяльність». — К.; Черкаси, 1997. — С. 10.
4. *Вилков И. П.* Взаимосвязь показателей специальной физической подготовленности и соревновательной деятельности в спринтерском беге / И. П. Вилков, Б. Н. Юшко // Теория и практика физ. культуры. — 1988. — № 12. — С. 31–34.
5. *Дьяченко А. Ю.* Совершенствование специальной выносливости квалифицированных спортсменов в академической гребле / А. Ю. Дьяченко. — К: НПФ «Славутич-Дельфин». — 2004. — 338 с.
6. *Защирский В. М.* Спортивная метрология / В. М. Защирский. — М.: Физкультура и спорт, 1982. — 256 с.
7. *Исаев Г. Г.* Механизм «быстрого нейрогенного компонента» вентиляторной реакции при инициации двигательной активности / Г. Г. Исаев, Ю. П. Герасименко. // Физиология человека. — 2005. — Т. 31, № 5. — С. 73–79.
8. *Климовицкий В. Г.* Применение математической статистики в медико-биологических исследованиях / В. Г. Климовицкий, А. В. Колодежный, Н. А. Вертыло. — Донецк: Донецчина, 2004. — 216 с.
9. *Кучкин С. Н.* Физиологические механизмы оптимизации рабочего гиперпноза при адаптации к мышечной деятельности / С. Н. Кучкин, И. И. Поветкина // Кислородные режимы организма, работоспособность, утомление при напряженной мышечной деятельности. — Вильнюс, 1989. — Ч. 1. — С. 83–88.
10. *Лысенко Е. Н.* Проявление устойчивости реакций кардиореспираторной системы у квалифицированных спортсменов в условиях достижения максимального уровня потребления O_2 / Е. Н. Лысенко // Спорт. медицина. — 2008 — № 1. — С. 42–47.
11. *Лысенко Е. Н.* Прогнозирование физической работоспособности и реакций кардиореспираторной системы при нагрузках аэробного характера у спортсменов высокого класса / Е. Н. Лысенко // Вестн. спорт. науки. — 2013. — № 4. — С. 33–38.
12. *Лысенко Е. Н.* Типы физиологической реактивности системы дыхания и специфика проявлений специальной работоспособности спортсменов / Е. Н. Лысенко // Вестн. Тверского гос. ун-та. Сер.: Биология и экология. — Тверской гос. ун-т. — 2013. — № 29. — С. 176–184.
13. *Мищенко В. С.* Изменение физиологической реактивности системы дыхания, как мера адаптации к напряженной мышечной тренировке на выносливость в спорте / В. С. Мищенко // Адаптация спортсменов к тренировочной и спортивной деятельности. — К.: КГИФК, 1984. — С. 73–84.
14. *Мищенко В. С.* Физиологические механизмы оптимизации реактивности системы дыхания человека при развитии ее функциональных возможностей в условиях напряженной спортивной тренировки / В. С. Мищенко // Медико-биологические основы подготовки квалифицированных спортсменов. — К.: КГИФК, 1986. — С. 67–82.
15. *Мищенко В. С.* Функциональная подготовленность, как интегральная характеристика предпосылки высокой работоспособности спортсменов: Методическое пособие / В. С. Мищенко, А. И. Павлик, В. Ф. Дьяченко — К.: ГНИИФКиС, 1999. — 129 с.
16. *Мищенко В. С.* Дозирование однонаправленных нагрузок в микроциклах тренировки квалифицированных пловцов на основании контроля физиологической реактивности / В. С. Мищенко, А. И. Павлик, Д. Е. Сиверский // 2. *Bogdanovich L. V.* Reactivity of respiratory system of young athletes with different direction of training process / L. V. Bogdanovich // Training process managing on the basis of account for individual features of young athletes. — Kharkov, 1991. — P. 179–180.
3. *Bukov Y. A.* Estimating ventilator response to hypercapnia and its significance in professional orientation of people / Y. A. Bukov, S. I. Shpak, L. M. Bukova // Materials of conference «Individual psychophysiological features of human and professional activity». — Kyiv—Cherkasy, 1997. — P. 10.
4. *Vilkov I. P.* Correlation between special fitness indices and competitive activity in sprint running / I. P. Vilkov, B. N. Yushko // Teoriya i praktika fiz. kultury. — 1988. — N 12. — P. 31–34.
5. *Dyachenko A. Y.* Improvement of special endurance of skilled rowers / A. Y. Dyachenko. — Kiev: NPF «Slavutych-Delfin». — 2004. — 338 p.
6. *Zatsiorsky V. M.* Sports metrology / V. M. Zatsiorsky. — Moscow: Fizkultura i sport, 1982. — 256 p.
7. *Isayev G. G.* Mechanism of «fast neurogenic component» of ventilator response during motor activity initiation / G. G. Isayev, Y. P. Gerasimenko. // Fiziologiya cheloveka. — 2005. — Vol. 31, N 5. — P. 73–79.
8. *Klimovitskiy V. G.* Application of mathematical statistics in medico-biological studies / V. G. Klimovitskiy, A. V. Kolodezhny, N. A. Vertylo. — Donetsk: Donechchyna, 2004. — 216 p.
9. *Kuchkin S. N.* Physiological mechanisms of optimizing during adaptation to muscular activity / S. N. Kuchkin, I. I. Poletkina // ody oxygen regimes, work capacity, fatigue during strenuous muscular activity. — Vilnius, 1989. — P. 1. — P. 83–88.
10. *Lysenko E. N.* Manifestation of stability of cardiorespiratory system responses in skilled athletes during maximum O_2 intake / E. N. Lysenko // Sport. meditsina. — 2008. — N 1. — P. 42–47.
11. *Lysenko E. N.* Forecasting work capacity and cardiorespiratory system responses under aerobic loads in skilled athletes / E. N. Lysenko // Vestn. sport. nauki. — 2013. — N 4. — P. 33–38.
12. *Lysenko E. N.* Types of physiological reactivity of respiratory system and specifics of special work capacity manifestation / E. N. Lysenko // Vestn. Tverskogo gos. un-ta. Ser.: Biologiya i ekologiya. — Tverskoy gos. un-t. — 2013. — N 29. — P. 176–184.
13. *Mishchenko V. S.* Change of physiological reactivity of respiratory system as a measure of adaptation to strenuous endurance training in sport / V. S. Mishchenko // Athletes' adaptation to training and sporting activity. — Kiev: KSIPC, 1984. — P. 73–84.
14. *Mishchenko V. S.* Physiological mechanisms of optimizing reactivity of human respiratory system during development of its functional capacities under conditions of strenuous training / V. S. Mishchenko // Medico-biological bases of skilled athletes' preparation. — Kiev: KSIPC, 1986. — P. 67–82.
15. *Mishchenko V. S.* Functional fitness as an integrally characteristic of prerequisites of high work capacity of athletes: Methodical guide / V. S. Mishchenko, A. I. Pavlik, V. F. Dyachenko — Kiev: SSRIPCS, 1999. — 129 p.
16. *Mishchenko V. S.* Dosing directed loads in training microcycles of skilled swimmers on the basis of physiological reactivity control / V. S. Mishchenko, A. I. Pavlik, D. E. Siverskiy // Managing adaptation process of skilled athletes. — Kiev: KSIPC, 1992. — P. 46–56.
17. *Mishchenko V. S.* Reactive features of cardiorespiratory system as the reflection of adaptation to strenuous

Управление процессом адаптации организма спортсменов высокой квалификации. — К.: КГИФК, 1992. — С. 46–56.

17. *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.: Наук. світ, 2007. — 351 с.

18. *Озолин Э. С.* Спринтерский бег / Э. С. Озолин. — М.: Физкультура и спорт, 1986. — 159 с.

19. *Платонов В. Н.* Система подготовки спортсменов в Олимпийском спорте. Общая теория и ее практические приложения / В. Н. Платонов. — К.: Олимп. лит., 2004. — 808 с.

20. *Сиренко В. А.* Построение круглогодичной тренировки на основе учета взаимосвязи динамики развития функциональной подготовленности и специальной выносливости легкоатлетов-бегунов на средние дистанции / В. А. Сиренко, В. Н. Архипов, Л. Н. Жданович // Теория и практика физ. культуры. — 1990. — № 4. — С. 21–24.

21. *Сиренко В.* Тактика соревновательной деятельности квалифицированных бегунов на средние и длинные дистанции / В. Сиренко, В. Мищенко, В. Добровольский // Наука в олимп. спорте. — 1998. — № 1. — С. 43–50.

22. *Шестаков В. С.* Взаимосвязь биоэнергетических показателей с эргометрическими характеристиками кривой скорости в спринтерском беге / В. С. Шестаков // Проблемы оптимизации тренировочного процесса. Биоэнергетические критерии спортивной работоспособности. — М., 1978. — С. 133–40.

23. *Шрейберг Г. Л.* Система гипоталамус-кора надпочечников у бегунов на короткие дистанции / Г. Л. Шрейберг, Н. Н. Шаров, В. В. Мехрикадзе // Гуморально-гормональная регуляция энергетического метаболизма в спорте. — М., 1983. — С. 108.

24. *Юшко Б. Н.* Планирование тренировочных нагрузок и динамики функциональной подготовленности легкоатлетов-спринтеров / Б. Н. Юшко, П. А. Радзиевский, И. П. Вилков // Теория и практика физ. культуры и спорта. — 1987. — № 11. — С. 31–34.

25. *Graig N. P.* Influence of test duration and event specificity on maximal accumulated oxygen deficit of high performance track cyclists / N. P. Graig, K. I. Norton, R. A. J. Conyers, S. M. Woolford // J. Sports Med., Stuttgart. — 1995. — Vol. 16, N 8. — P. 534–540.

26. *Katayama K.* Ventilatory chemosensitive adaptations to intermittent hypoxic exposure with endurance training and detraining / K. Katayama, Y. Sato, Y. Morotome, N. Shima // J. Appl. Physiol. — 1999. — Vol. 86, N 6. — P. 1805–1811.

27. *Keul J.* Adaptation to training and performance in elite athletes / J. Keul, D. Konig, M. Huonker et al.] // Res. Quarterly for Exercise and Sport. — 1996. — Vol. 67, N 3. — P. 29–36.

28. *Mader A.* The regulation of energy supply in sprint and middle distance running. Experimental results and interpretation by computer — simulation / A. Mader // Book of Abstract. — Nice, 1996. — P. 100–101.

29. *Miyamura M.* Adaptive changes in hypercapnic ventilatory response during training and detraining / M. Miyamura, K. Ishida // Eur. J. Appl. Physiol. — 1990. — Vol. 60. — P. 353–359.

30. *Nurmekivi A.* On the harmonious developing of middle distance runner's muscles oxidative and contractive properties during the preparatory period / A. Nurmekivi, H. Lemberg // Coaching & Sport Sci. J. — 1997. — N 4. — P. 21–27.

31. *Okuma T.* Ventilatory response to hypercapnia during sprint and long-distance swimmers / T. Okuma, N. Fujitsuke // Eur. J. Appl. Physiol. — 1980. — Vol. 43. — P. 235–241.

32. *Ohyabu Y.* Ventilatory and heart rate chemosensitivity in track-and-field athletes / Y. Ohyabu, A. Usami, I. Ohyabu [et al.] // Eur. J. Appl. Physiol. — 1990. — Vol. 59. — P. 460–464.

sports training / V. S. Mishchenko, E. N. Lysenko, V. E. Vinogradov. — Kyiv: Nauk. svit, 2007. — 351 p.

18. *Ozolin A. S.* Sprint running / A. S. Ozolin. — Moscow: Fizkultura i sport, 1986. — 159 p.

19. *Platonov V. N.* System of athletes' preparation in the Olympic sport (General theory and its practical application) / V. N. Platonov — Kiev: Olimpiyskaya literatura, 2004. — 808 p.

20. *Sirenko V. A.* Annual training design on the basis of account for association between dynamics of development of functional fitness and special endurance of middle distance runners / V. A. Sirenko, V. N. Arkhipov, L. N. Zhdanovich // Teoriya i praktika fiz. kultury. — 1990. — N 4. — P. 21–24.

21. *Sirenko V. A.* Tactics of competitive activity of skilled middle and long distance runners / V. Sirenko, V. Mishchenko, V. Dobrovolskyi // Nauka v olimpiyskom sporte. — 1998. — N 1. — P. 43–50.

22. *Shestakov V. S.* Association between bioenergy indices and ergometric characteristics of velocity curve in sprint running / V. S. Shestakov // Problems of training process optimization. Bioenergy criteria of sports work capacity. — Moscow, 1978. — P. 133–40.

23. *Shrayberg G. L.* Hypotalamus-adrenal cortex in sprinters / G. L. Shrayberg, N. N. Sharov, V. V. Mekhrikadze // Humoral and hormonal regulation of energy metabolism in sport. — Moscow, 1983. — P. 108.

24. *Yushko B. N.* Planning of training loads and dynamics of functional fitness of sprinters / B. N. Yushko, P. A. Radziyevsky, I. P. Vilkov // Teoriya i praktika fiz. kultury i sporta. — 1987. — N 11. — P. 31–34.

25. *Graig N. P.* Influence of test duration and event specificity on maximal accumulated oxygen deficit of high performance track cyclists / N. P. Graig, K. I. Norton, R. A. J. Conyers, S. M. Woolford // J. Sports Med., Stuttgart. — 1995. — Vol. 16, N 8. — P. 534–540.

26. *Katayama K.* Ventilatory chemosensitive adaptations to intermittent hypoxic exposure with endurance training and detraining / K. Katayama, Y. Sato, Y. Morotome, N. Shima // J. Appl. Physiol. — 1999. — Vol. 86, N 6. — P. 1805–1811.

27. *Keul J.* Adaptation to training and performance in elite athletes / J. Keul, D. Konig, M. Huonker et al.] // Res. Quarterly for Exercise and Sport. — 1996. — Vol. 67, N 3. — P. 29–36.

28. *Mader A.* The regulation of energy supply in sprint and middle distance running. Experimental results and interpretation by computer — simulation / A. Mader // Book of Abstract. — Nice, 1996. — P. 100–101.

29. *Miyamura M.* Adaptive changes in hypercapnic ventilatory response during training and detraining / M. Miyamura, K. Ishida // Eur. J. Appl. Physiol. — 1990. — Vol. 60. — P. 353–359.

30. *Nurmekivi A.* On the harmonious developing of middle distance runner's muscles oxidative and contractive properties during the preparatory period / A. Nurmekivi, H. Lemberg // Coaching & Sport Sci. J. — 1997. — N 4. — P. 21–27.

31. *Okuma T.* Ventilatory response to hypercapnia during sprint and long-distance swimmers / T. Okuma, N. Fujitsuke // Eur. J. Appl. Physiol. — 1980. — Vol. 43. — P. 235–241.

32. *Ohyabu Y.* Ventilatory and heart rate chemosensitivity in track-and-field athletes / Y. Ohyabu, A. Usami, I. Ohyabu [et al.] // Eur. J. Appl. Physiol. — 1990. — Vol. 59. — P. 460–464.