

УДК 612.621.31-055.2:796.015.6

DOI 10.29039/2413-1725-2025-11-1-189-200

ОСОБЕННОСТИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ РЕАКТИВНОСТИ ДЫХАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ У ВЫСОКОКВАЛИФИЦИРОВАННЫХ СПОРТСМЕНОВ МУЖСКОГО ПОЛА В ВОЗРАСТНОМ ДИАПАЗОНЕ 17–46 ЛЕТ

Тимофеева С. Н., Погодина С. В., Тимофеев В. Д.

*ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», Симферополь,
Республика Крым, Российская Федерация
E-mail: sveta_pogodina@mail.ru*

В статье обсуждается реактивность дыхательной системы на нагрузку малой и субмаксимальной интенсивности у высококвалифицированных спортсменов в возрастном диапазоне 22–46 лет, тренирующих аэробную выносливость и у спортсменов 17–26 лет, тренирующих силовые качества. Высокая реактивность системы дыхания на малую нагрузку и снижение ответа на нагрузку субмаксимальной интенсивности выявлены у высококвалифицированных спортсменов 17–18 лет, тренирующих аэробную выносливость и у спортсменов 40–46 лет, тренирующих силовые качества, что у первых не снижает эффективности вентиляторного ответа. У высококвалифицированных спортсменов 40–46 лет выявлено относительное ограничение вентиляторного ответа на субмаксимальную нагрузку, что в большей степени проявляется у представителей силовых видов спорта.

Ключевые слова: реактивность, дыхательная система, высококвалифицированные спортсмены, широкий возрастной диапазон.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с коммерциализацией современного спорта возрастает количество высококвалифицированных спортсменов юношеского возраста [1], и спортсменов, возраст которых превышает границы четвертого десятилетия [2]. Данный факт актуализирует изучение функциональных возможностей основных систем организма высококвалифицированных спортсменов в широком возрастном диапазоне [3, 4]. В видах спорта с циклической структурой движений одной из первых реагирует на сдвиги в функциональном состоянии система дыхания [5–7]. Ранее большинство исследований было проведено в отношении реактивности дыхательной системы только в области медицины, поэтому данная тема является очень актуальной в спорте высших достижений. Учитывая изменение с возрастом оперативных регуляторных механизмов дыхательной функции (их активация или ослабление) [8], эффективность адаптации к физическим нагрузкам у высококвалифицированных спортсменов в юности и в течение длительного периода зрелости может быть достигнута за счет различных модификаций компенсаторно-

приспособительных реакций системы дыхания, в основе которых лежит оптимизация ее реактивности [6]. Изучение этих механизмов у высококвалифицированных спортсменов в широком возрастном диапазоне позволит выявить особенности возрастных адаптационных перестроек дыхательной функции и оценить потенциальные резервы дыхания спортсменов различных возрастных групп.

В связи с этим **целью работы** явилось изучение особенностей физиологической реактивности системы дыхания у высококвалифицированных спортсменов мужского пола трех возрастных групп – юношеского возраста (17–18 лет), первого периода зрелого возраста (22–26 лет) и второго периода зрелого возраста (40–46 лет).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследованиях приняли участие высококвалифицированные спортсмены мужского пола юношеского возраста 17–18 лет ($n=123$), первого периода зрелого возраста 22–26 лет ($n=82$) и второго периода зрелого возраста 40–46 лет ($n=86$). Контингент мужчин был сформирован из числа спортсменов, представителей видов спорта с преимущественным характером циклической тренировочной нагрузки, направленной на развитие аэробной выносливости (велоспорт, плавание, легкая атлетика (бег на средние и длинные дистанции) – условно обозначены группа «выносливость») и силы (гиревой спорт – условно обозначены группа «сила»). Вентиляторную функцию легких исследовали спиропневмотахометрическим методом с помощью прибора «Spirobank – G» итальянской фирмы «MIR», с последующей компьютерной обработкой регистрируемых показателей. В качестве исследуемых показателей использовали: объем легочной вентиляции (VE , л), дыхательный объем (VT , мл), частота дыхания (fT , мин^{-1}). Все объёмные показатели приводили к условиям BTPS. Определение газового состава выдыхаемого воздуха проводили с использованием оптико-акустического газоанализатора двуокиси углерода «Кедр-1А» (Россия) и термохимического газосигнализатора кислорода «Щит-3» (Украина). Изучали следующие показатели: напряжение кислорода в выдыхаемом воздухе (P_{EO_2} , мм рт.ст.), напряжение двуокиси углерода в выдыхаемом воздухе (P_{ECO_2} , мм рт.ст.), далее расчетным методом [9] определяли скорость потребления кислорода (VO_2 , мл/мин), скорость выделения двуокиси углерода (VCO_2 , мл/мин), газообменное отношение (VCO_2/VO_2 , усл. ед.). Газообменные показатели корректировались с учетом условий STPD. Исследования проводили при выполнении ступенчато-возрастающей нагрузки на велоэргометре (Kettler) в различных зонах интенсивности по частоте сердечных сокращений (ЧСС). Первоначальная ступень нагрузки (W_1) составляла 50–80 Вт при скорости педалирования 60 об/мин в течение 4–5 минут, интенсивность малая (ЧСС 130–140 уд/мин). Последующие ступени нагрузки (W_2 , W_3) увеличивали до 150–220 Вт, соответственно интенсивность средняя и субмаксимальная (соответственно ЧСС 150–160 и 170–180 уд/мин), продолжительность работы на каждой последующей ступени до 4–5 минут. Изучаемые в работе показатели регистрировались в течение 30 секунд в конце последней минуты каждой ступени нагрузки. Результаты обработаны параметрическими методами математической

статистики в программе “OriginPro 8.5.1”. Проверка на нормальность распределения проводилась по методу Шапиро-Уилка. Для определения статистически значимых различий использовали t-критерий Стьюдента. Статистически значимые различия учитывали при $p < 0,05$. Наблюдения проводились во втягивающих мезоциклах подготовительного периода годового тренировочного процесса при условии добровольного информированного согласия спортсменов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Оптимизацию паттерна дыхания связывают с возрастными особенностями регуляции [8, 10] и с уровнем тренированности организма человека, что особенно проявляется в условиях применения физических нагрузок [11]. В группе «выносливость» у высококвалифицированных спортсменов 17–18 лет на низкую интенсивность стандартной нагрузки установлен наибольший прирост легочной вентиляции от исходного состояния покоя ($185,82 \pm 8,02 \%$, $p < 0,01$) относительно других возрастных групп. Также у 17–18 летних спортсменов группы «выносливость» усиление легочной вентиляции сопровождалось значительным увеличением дыхательного объема на $212,56 \pm 12,65 \%$ ($p < 0,05$). Для 22–26 летних спортсменов в условиях малой интенсивности стандартной нагрузки характерным явилось увеличение показателя fT (на $175,29 \pm 7,19 \%$, $p < 0,01$) (рис. 1). В группе «выносливость» у 40–46 летних высококвалифицированных спортсменов реактивность дыхательной системы на малую интенсивность нагрузки была значимо ниже: показатель VE возрастал на $126,45 \pm 5,23 \%$, $p < 0,01$, увеличение fT (на $131,27 \pm 8,93 \%$) преобладало над увеличением VT ($83,32 \pm 7,92 \%$). В условиях нагрузки средней и субмаксимальной интенсивности наибольшая реактивность дыхательной системы выявлена у высококвалифицированных спортсменов в возрасте 22–26 лет. При этом значительный рост легочной вентиляции (на $1200,70 \pm 19,27 \%$, $p < 0,01$) обеспечивался за счет увеличения частоты дыхания (на $424,65 \pm 11,94 \%$, $p < 0,01$). Наименьший прирост VE выявлен у спортсменов 17–18 лет (на $417,22 \pm 10,07 \%$, $p < 0,001$). Для спортсменов 40–46 лет также характерно усиление легочной вентиляции за счет увеличения частоты дыхания, выраженное ограничение роста дыхательного объема относительно других возрастных групп.

При увеличении интенсивности нагрузки у 17–18 летних спортсменов отмечалось преобладание аэробных процессов (VCO_2/VO_2 в диапазоне значений 0,75–0,78 усл. ед.). У 22–26 летних спортсменов, напротив, преобладал анаэробный тип метаболизма (VCO_2/VO_2 в диапазоне значений 0,92–1,08 усл. ед.) Это было особенно выражено при субмаксимальной интенсивности нагрузки, что проявлялось в характере прироста потребления O_2 (17–18 лет – $458,53 \pm 9,65 \%$, 22–26 лет – $1141,37 \pm 8,87 \%$, $p < 0,001$) и выделения CO_2 (17–18 лет – $443,44 \pm 8,71 \%$, 22–26 лет – $1539,81 \pm 11,10$, $p < 0,001$ от исходного состояния). У спортсменов 40–46 лет отмечено значимое увеличение величины прироста потребления O_2 и выделения CO_2 при низкой и средней интенсивности нагрузки относительно 22–26 летних спортсменов. При выполнении субмаксимальной интенсивности нагрузки величина прироста потребления O_2 и выделения CO_2 у 40–46 летних представителей группы

«выносливость» значительно снижалась, соответственно до $1026,32 \pm 8,31 \%$ ($p < 0,05$) и $1278 \pm 11,14 \%$ ($p < 0,01$), относительно 22–26 летних спортсменов.

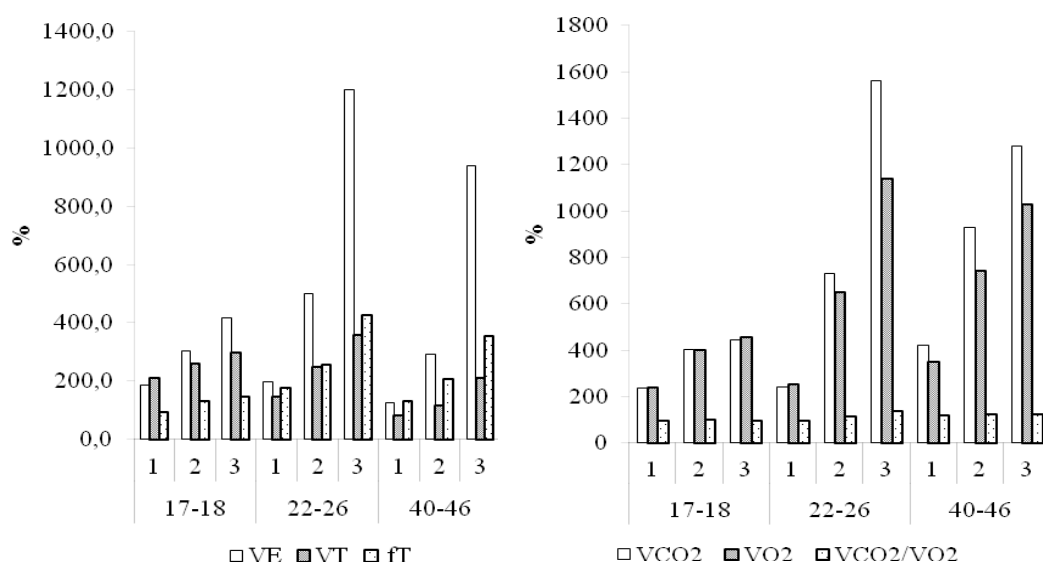


Рис. 1. Особенности изменений показателей вентиляции и газообмена у высококвалифицированных спортсменов мужского пола в группе «выносливость» в различных зонах интенсивности физических нагрузок (изменения выражены в % от исходного уровня, принятого за 100 %): 1 – ЧСС 130–140 уд/мин; 2 – ЧСС 150–160 уд/мин; 3 – ЧСС 170–180 уд/мин.

В группе «сила» на малую интенсивность стандартной нагрузки выявлен наибольший прирост легочной вентиляции у высококвалифицированных спортсменов 40–46 лет (рис. 2). В свою очередь в ответ на субмаксимальную интенсивность нагрузки в данной возрастной группе наблюдался наименьший прирост величины VE. Усиление легочной вентиляции, как в ответ на малую, так и на субмаксимальную интенсивность сопровождалось увеличением показателя fT, что повышало долю работы дыхательных мышц по преодолению резистивного сопротивления. На малую интенсивность стандартной нагрузки у спортсменов данной возрастной группы также зарегистрирован наибольший прирост потребления O_2 (до $311,07 \pm 5,76 \%$, $p < 0,05$), и выделения CO_2 (до $285,25 \pm 3,76 \%$, $p < 0,05$). Газообменное отношение составляло $0,92 \pm 0,01 \%$, $p < 0,05$. У высококвалифицированных спортсменов 22–26 лет группы «сила» регистрировали самую высокую реактивность дыхательной системы на нагрузки средней и субмаксимальной интенсивности, что сопровождалось значительным ростом величины VE за счет повышения доли VT.

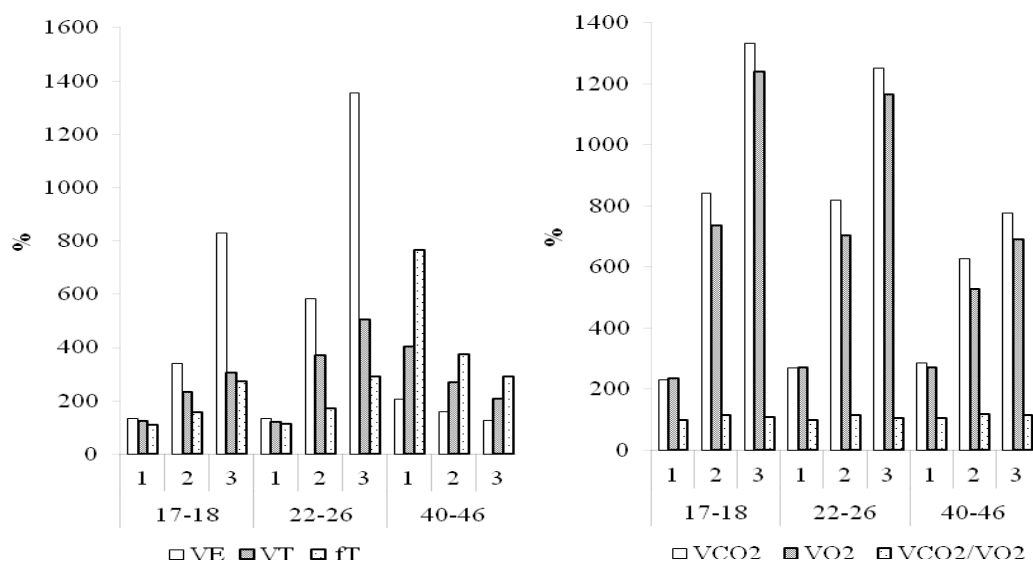


Рис. 2. Особенности изменений показателей вентиляции и газообмена у высококвалифицированных спортсменов мужского пола в группе «сила» в различных зонах интенсивности физических нагрузок (изменения выражены в % от исходного уровня, принятого за 100 %): 1 – ЧСС 130–140 уд/мин; 2 – ЧСС 150–160 уд/мин; 3 – ЧСС 170–180 уд/мин.

Для высококвалифицированных спортсменов 17–18 лет группы «сила» характерным являлся значимо меньший рост легочной вентиляции, в сравнении с 22–26-летними. При этом большие величины прироста VT у 22–26-летних высококвалифицированных спортсменов группы «сила» свидетельствовали о повышении у них доли работы по преодолению дыхательными мышцами эластического сопротивления. Это приводило к значительному приросту у 17–26-летних спортсменов интенсивности потребления кислорода (17-18 лет – $1240,09 \pm 10,01$ %, 22–26 лет – $1166,56 \pm 19,24$ %, $p < 0,05$) и выделения CO₂ (17–18 лет – $1333,06 \pm 14,03$ %, 22–26 лет – $1252,37 \pm 18,83$ %, $p < 0,05$). Прослеживалась тенденция преобладания интенсивности выделения CO₂ над уровнем потребления O₂, газообменное отношение повышалось до 0,94–0,96 усл. ед.. Наименьший прирост уровня потребления O₂ и выделения CO₂ зарегистрирован у 40–46 летних спортсменов группы «сила». Показатель газообменного отношения в данной возрастной группе увеличивался до $1,05 \pm 0,01$ % ($p < 0,01$), тогда как у 17–26 летних спортсменов группы «сила» он не превышал $0,89 \pm 0,01$ % ($p < 0,001$).

Таким образом, проведенное нами изучение вентиляторных ответов у высококвалифицированных спортсменов возрастного диапазона 17–46 лет на разнообразные по силе стимулы, которыми явилась физическая нагрузка различной интенсивности, позволило выделить два типа реагирования. Первый тип – это низкая реактивность на малую интенсивность нагрузки (слабый стимул) и высокая

на субмаксимальную нагрузку (сильный стимул) – была характерна для 22–46-летних спортсменов группы «выносливость», 17–26-летних группы «сила». Второй тип реагирования – это высокая реактивность на слабый стимул и снижение ответа на раздражитель большой интенсивности – была характерна для 17–18-летних высококвалифицированных спортсменов группы «выносливость» и 40–46-летних высококвалифицированных спортсменов группы «сила». Таким образом, для большинства групп спортсменов, характерной явилась реакция первого типа. Причем, для группы «выносливость» данный тип реакции наблюдался в старших возрастных группах, а именно в возрастном диапазоне 22–46 лет, тогда как в группе «сила» – напротив, в более молодом возрасте (в 17–26 лет). Такой тип реакции в большей степени характерен для спортсменов, тренирующих выносливость и обусловлен относительно низкими величинами $V\text{CO}_2$ в начале нагрузки и значительным увеличением интенсивности ее нарастания при повышении мощности нагрузки, что способствует повышению концентрации CO_2 в артериальной крови. Показано, что таким типом реакции системы дыхания обладают лица с более экономными реакциями дыхания и кровообращения и большей физической работоспособностью. У них при умеренной нагрузке отмечается незначительный прирост минутного объема дыхания и ЧСС, а при максимальной нагрузке – более выраженный рост этих показателей и способность переносить большие сдвиги кислотно-щелочного равновесия в сторону уменьшения показателя pH. Для таких лиц, характерна относительно низкая скорость основного обмена, что в большей степени соотносится с высокой активностью аэробных процессов образования энергии [9]. В свою очередь у высококвалифицированных спортсменов группы «выносливость» 22–26 и 40–46 лет усиление реактивности системы дыхания при нагрузках средней и субмаксимальной интенсивности проявлялось в виде значительного увеличения легочной вентиляции за счет выраженного прироста частоты дыхания. В данном случае увеличивается доля работы по преодолению резистивного сопротивления, что вызывает увеличение кислородного запроса и в первую очередь для энергоснабжения дыхательных мышц. При этом также значительно увеличивается интенсивность потребления O_2 и выведения CO_2 , повышаются значения вентиляторных эквивалентов O_2 и CO_2 [5, 12]. Такой тип вентиляторной реакции во время нагрузки субмаксимальной интенсивности обуславливает у спортсменов 22–26 лет тенденцию к преобладанию скорости выделения CO_2 над скоростью потребления O_2 (может возникнуть состояние гипокапнии в связи с дыхательной компенсацией метаболического ацидоза). Напротив, у спортсменов 40–46 лет относительное ограничение вентиляторного ответа на высокоинтенсивную нагрузку (в сравнении с 22–26-летними спортсменами) может быть вызвано возрастным снижением резервов кислородтранспортной системы, в связи с чем компенсаторно увеличивается вентиляторный эквивалент O_2 . В данном случае при интенсивной физической нагрузке повышается доля участия анаэробных источников получения энергии. Таким образом, в группе «выносливость» 40–46 лет в условиях субмаксимальной интенсивности нагрузки активация анаэробных путей получения энергии может быть обусловлена недостаточным поступлением кислорода к работающим мышцам.

Причиной этому может служить недостаточное гемодинамическое обеспечение физической нагрузки, которое заключается в ограничении максимальных величин МОК [13].

Отличительной особенностью реакции системы дыхания первого типа у высококвалифицированных спортсменов группы «сила» 17–26 лет явилось снижение эффективности вентиляторной функции в условиях субмаксимальной нагрузки, в сравнении со спортсменами группы «выносливость» 22–46 лет. При этом снижение эффективности вентиляторной функции у 17–26-летних «силовиков» было обусловлено значимым повышением количества вентилируемого воздуха, необходимого для выделения CO_2 , что свидетельствовало о более раннем наступлении порога анаэробного обмена (ПАНО) в сравнении с группой «выносливость». Очевидно, что выраженная активация анаэробных источников энергии на третьей – последней ступени нагрузки субмаксимальной интенсивности явилась критерием относительно низкой аэробной производительности высококвалифицированных спортсменов группы «сила». Если учесть, что одним из факторов, определяющих особенности метаболизма при мышечной деятельности является объем функционирующих мышц, то преобладание в процессе тренировки «силовиков» доли силового компонента рабочего движения (даже на 30–20 %) повышает мощность гликолиза. При этом активизируются ферменты гликолиза, повышается чувствительность к лактату дыхательных и гликолитических ферментов [7, 14]. В связи с этим, выявленная нами активация анаэробных источников энергообеспечения у 17–26 летних высококвалифицированных спортсменов в группе «сила» при высокой интенсивности нагрузки, очевидно является проявлением силовой специфики циклического характера работы. Необходимо отметить, что повышение уровня легочной вентиляции у 17–26 летних высококвалифицированных спортсменов в группе «сила» происходило за счет повышения доли VT в сравнении со спортсменами группы «выносливость» 22–46 лет, у которых легочная вентиляция (как показано выше) повышалась при значительном повышении доли fT. Основной причиной данного различия явился, по-видимому факт преобладания у «силовиков» 17–26 лет тахипноического типа дыхания, при котором в ответ на нагрузку уровень легочной вентиляции возрастает за счет увеличения дыхательного объема, так как данная категория лиц, используя в покое небольшой дыхательный объем, располагает большим резервом для его увеличения. Представители группы «выносливость» 22–46 лет, очевидно, преимущественно имели брадипноический тип дыхания, сформировавшийся под воздействием тренировки, направленной на развитие аэробной выносливости. У этой категории лиц, напротив, глубокий вдох сопряжен с преодолением значительного эластического сопротивления, что делает для них энергетически невыгодным дальнейшее углубление дыхания, рост вентиляции происходит за счет учащения дыхательных циклов [9].

Второй тип реакции в литературе чаще относят к реакции лиц, имеющих недостаточный уровень тренированности. Анализ данного типа вентиляторной реакции у 17–18-летних высококвалифицированных спортсменов группы «выносливость» показал, что в данном случае отмечалась высокая реактивность на

слабый стимул и почти максимальная – на средний. В свою очередь на высокий стимул реакция практически отсутствовала. С одной стороны это могло свидетельствовать о быстром исчерпании энергетических резервов при интенсивности нагрузки на уровне 150–160 уд/мин. А с другой стороны, необходимо учесть, что функция дыхательного аппарата в условиях физической нагрузки заключается, прежде всего, в обеспечении адекватного метаболическому запросу уровня минутного объема легочной вентиляции. Этот уровень может быть получен при различных сочетаниях глубины и частоты дыхания. Увеличение глубины дыхания позволяет еще больше уменьшить его частоту и поддерживать легочный газообмен при меньшем минутном объеме вентиляции [12]. Выявленная нами относительно низкая реактивность дыхательной системы у 17–18-летних спортсменов группы «выносливость» в ответ на нагрузку субмаксимальной интенсивности характеризовалась тем, что показатели прироста легочной вентиляции были наименьшими, а прирост дыхательного объема значительный. Более того, высокая реактивность системы дыхания у данной группы высококвалифицированных спортсменов на малую интенсивность нагрузки не вызывала увеличения интенсивности газообменных процессов. Значительный рост легочной вентиляции в данном случае был связан с преобладанием «рабочего стимула». То есть основной вклад принадлежал не гуморальным сдвигам. Это значит, что у 17–18 летних спортсменов группы «выносливость» нейрогенные факторы нехеморецепторной природы, управляющие по принципу возмущения, играют решающую роль в увеличении легочной вентиляции при преодолении физической нагрузки, особенно на начальной стадии [7, 15]. Это имеет большое значение в мобилизации дыхательной функции у спортсменов в ответ на последующее повышение интенсивности нагрузки. При этом причиной формирования рабочего гиперпноэ является условно-рефлекторная реакция на саму нагрузку, тогда как сдвиги гуморальных показателей (РН крови, P_aCO_2) выражены при этом не значительно [6]. По нашему мнению у 17–18-летних спортсменов в большей степени был выражен нейрогенный компонент реакции на слабый стимул нежели гуморальный, что, очевидно, связано с преобладанием у данной категории спортсменов симпатической активности и согласуется с результатами, показанными в работах [1]. Выявленный нами второй тип реагирования системы дыхания у высококвалифицированных спортсменов группы «сила» 40–46 лет характеризовался в условиях малой интенсивности нагрузки наибольшей интенсивностью потребления O_2 и выделения CO_2 , то есть кислородный запрос был значительным. Нагрузка высокой интенсивности сопровождалась незначительным приростом интенсивности потребления O_2 и выделения CO_2 . При этом газообменное отношение превышало значение 1, что свидетельствовало о выраженном преобладании анаэробного типа метаболизма. Если учесть, что в данной группе спортсменов отмечены наибольшие величины вентиляторных эквивалентов (до $47 \text{ л} \cdot \text{мин}^{-1}$) при снижении потребления O_2 на один дыхательный цикл до $52 \text{ мл} \cdot \text{мин} \cdot \text{цикл}^{-1}$, то снижение эффективности вентиляции по причине несоответствия резервов увеличения кислородного запроса и ограниченной

возможности его потребления в связи со снижением аэробных резервов энергообеспечения в условиях высокой интенсивности нагрузки [13].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Низкая реактивность системы дыхания на малую интенсивность нагрузки и высокая реактивность на нагрузку субмаксимальной интенсивности выявлена у высококвалифицированных спортсменов групп «выносливость» 22–46 лет и «сила» 17–26 лет. Напротив, высокая реактивность системы дыхания на малую нагрузку и снижение ответа на нагрузку субмаксимальной интенсивности выявлено в группе «выносливость» 17–18 лет и «сила» 40–46 лет.

У высококвалифицированных спортсменов 40–46 лет выявлено относительное ограничение вентиляторного ответа на субмаксимальную нагрузку, что в большей степени проявляется в группе «сила».

Увеличение легочной вентиляции у высококвалифицированных спортсменов в группе «сила» обеспечивается за счет роста дыхательного объема в сравнении со спортсменами группы «выносливость», у которых легочная вентиляция возрастает при значительном увеличении частоты дыхания.

В группе «сила» эффективность вентиляторного ответа на субмаксимальную нагрузку (сравнительно с группой «выносливость») ниже, что обусловлено значимым повышением количества вентилируемого воздуха, необходимого для выделения CO_2 и свидетельствует о повышении активности гликолиза, что, очевидно, является проявлением специфики долговременной адаптации в гиревом спорте.

Список литературы

1. Иорданская Ф. А. Мужчина и женщина в спорте высших достижений (проблемы полового диморфизма) / Ф. А. Иорданская – М., 2012. – 256 с.
2. Очерedyкo Б. Влияние здоровья и социальных факторов на спортивное долголетие / Б. Очерedyкo, О. Шинкарук // Наука в олимпийском спорте. – 2004. – вып. 1. – С. 108–115.
3. Bernardo A. Effects of hypertension and exercise on cardiac proteome remodeling / A. Bernardo, Petriz and Octavio L. Franco // BioMed Research International. – 2014. – вып. 63. – P. 32–41.
4. Kuipou-Kenfack E. N. Proteome analysis in the assessment of ageing / E. N. Kuipou-Kenfack, T. Koeck, H. Mischak, A. Pich, J. P. Schanstra, P. Zurbig, B. Schumacher // Ageing Research Reviews. – 2014. – №18. – P. 74–85.
5. Лысенко Е. Н. Физиологическая реактивность и особенности мобилизации функциональных возможностей высококвалифицированных спортсменов / Е. Н. Лысенко // Материалы научно-практической конференции «Спортивная медицина. Здоровье и физическая культура». – Сочи. – 2012. – С. 245–249.
6. Мищенко В. С. Оптимизация реактивности системы дыхания в процессе адаптации к напряженной мышечной деятельности / В. С. Мищенко // Пути оптимизации функции дыхания при нагрузках, патологии и в экстремальных состояниях. – Калинин., 1989. – С. 47–51.
7. Мищенко В. С. Типи фізіологічної реактивності системи дихання і специфіка прояву спеціальної працездатності спортсменів / В. С. Мищенко, О. М. Лисенко, В. Є. Виноградов // Фізіологічний журнал. – 2006. – Т. 52, вып. 4. – С. 69–77.
8. Колчинская А. З. Система дыхания, гипоксия и возраст / А. З. Колчинская // Физиологический журнал. – 1981. – Т. 27, вып. 3. – С. 419–425.

9. Березовский В. А. Вентиляторный ответ на гиперкапнический стимул, как показатель реактивности системы дыхания человека / В. А. Березовский, Т. В. Серебровская // Физиологический журнал. – 1987. – Т.33, вып. 3. – С. 12–18.
10. Маньковская И. Н. Возрастные особенности развития гипоксии скелетных мышц при острой гипоксической гипоксии / И. Н. Маньковская, М. М. Филиппов // Физиологический журнал. – 1982. – Т.2, вып. 5. – С. 548–555.
11. 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. Двоенцов // Вестник Уральской медицинской академической науки. – 2010. – Т. 32, вып. 2 – С. 17–21.
12. Шик Л. Л. Управление вентиляцией легкого при мышечной нагрузке у здоровых нетренированных лиц / Л. Л. Шик, Р. С. Винницкая, Т. А. Ханларова // Физиологический журнал. – 1987. – Т. 33, вып. 3. – С. 3–7.
13. Чеботарев Д. Ф. Особенности анаэробного энергообеспечения физической нагрузки в различные возрастные периоды / Д. Ф. Чеботарев, О. В. Коркушко, Ю. Т. Ярошенко // Физиологический журнал. – 1984. – Т. 30, вып. 1. – С. 53–59.
14. Суздальницкий Р. С. Специфические изменения в метаболизме спортсменов, тренирующихся в разных биоэнергетических режимах в ответ на стандартную нагрузку / Р. С. Суздальницкий, И. В. Меньшиков, Е. А. Модера // Теория и практика физической культуры. – 2000. – №3. – С. 16–20.
15. Мищенко В. С. Реактивные свойства кардиореспираторной системы как отражение адаптации к напряженной физической тренировке в спорте / В. С. Мищенко, Е. Н. Лысенко, В. Е. Виноградов – Киев., 2007. – 351 с.

FEATURES OF PHYSIOLOGICAL REACTIVITY OF THE RESPIRATORY SYSTEM BY HIGHLY QUALIFIED MALE ATHLETES IN THE AGE RANGE 17–46 YEARS

Timofeeva S. N., Pogodina S. V., Timofeev V. D.

*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Crimea, Russian Federation
E-mail: sveta_pogodina@mail.ru*

The article discusses the reactivity of the respiratory system to low and submaximal intensity loads in highly skilled athletes aged 22–46 years training aerobic endurance and in athletes aged 17–26 years training strength qualities. High reactivity of the respiratory system to low loads and a decrease in the response to submaximal intensity loads were found in highly skilled athletes aged 17–18 years training aerobic endurance and in athletes aged 40–46 years training strength qualities, which in the former does not reduce the effectiveness of the ventilatory response. In highly skilled athletes aged 40–46 years, a relative limitation of the ventilatory response to submaximal loads was revealed, which is more pronounced in representatives of strength sports.

Thus, our study of ventilatory responses in highly qualified athletes aged 17–46 years to stimuli of varying strength, which was physical activity of varying intensity, allowed us to identify two types of response: the first type – low reactivity to low intensity load (weak stimulus) and high reactivity to submaximal load (strong stimulus) – was typical for 22–46-year-old athletes in the “endurance” group, 17–26 year old group “strength”; the

second type – high reactivity to a weak stimulus and a decrease in response to a high-intensity stimulus – was characteristic of 17–18 year old highly qualified athletes of the “endurance” group and 40–46 year old highly qualified athletes of the “strength” group. Thus, for most groups of athletes, the reaction of the first type was typical.

Low reactivity of the respiratory system to low-intensity loads and high reactivity to loads of submaximal intensity were revealed in highly qualified athletes of the “endurance” group, 22–46 years old, and the “strength” group, 17–26 years old.

On the contrary, a high reactivity of the respiratory system to a low load and a decreased response to a load of submaximal intensity were detected in the “endurance” group of 17–18 years old and the “strength” group of 40–46 years old.

In highly qualified athletes aged 40–46 years, a relative limitation of the ventilatory response to submaximal load was revealed, which was more pronounced in the “strength” group.

An increase in pulmonary ventilation in highly qualified athletes in the “strength” group is ensured by an increase in tidal volume in comparison with athletes in the “endurance” group, in whom pulmonary ventilation increases with a significant increase in respiratory rate.

In the “strength” group, the efficiency of the ventilatory response to submaximal load (compared to the “endurance” group) is lower, which is due to a significant increase in the amount of ventilated air required for the release of CO₂ and indicates an increase in the activity of glycolysis, which, obviously, is a manifestation of the specificity of long-term adaptation in kettlebell lifting.

Keywords: reactivity, respiratory system, highly skilled athletes, a wide age range.

References

1. Iordanskaya F. A. *Muzhchina i zhenshchina v sporte vysshih dostizhenij (problemy polovogo dimorfizma)*, 256 (M., 2012).
2. Ochered'ko B., Shinkaruk O. Vliyanie zdorov'ya i social'nyh faktorov na sportivnoe dolgoletie, *Nauka v olimpijskom sporte*, **1**, 108 (2004).
3. Bernardo A., Petriz and Octavio L. Franco. Effects of hypertension and exercise on cardiac proteome remodeling, *BioMed Research International*, **63**, 32 (2014).
4. Kuipou-Kenfack E. N., T. Koeck, H. Mischak, A. Pich, J. P. Schanstra, P. Züribig, B. Schumacher. Proteome analysis in the assessment of ageing, *Ageing Research Reviews*, **18**, 74 (2014).
5. Lysenko E. N. Fiziologicheskaya reaktivnost' i osobennosti mobilizacii funkcional'nyh vozmozhnostej vysokokvalificirovannyh sportsmenov, *Materialy nauchno-prakticheskoy konferencii «Sportivnaya medicina. Zdorov'e i fizicheskaya kul'tura»*, 245 p. (2012).
6. Mishchenko V. S. Optimizaciya reaktivnosti sistemy dyhaniya v proces se adaptacii k napryazhennoj myshchechnoj deyatel'nosti, *Puti optimizacii funkcii dyhaniya pri nagruzkah, patalogii i v ekstremal'nyh sostoyaniyah*, 47 p. (1989).
7. Mishchenko V. S., Lisenko O. M., Vinogradov V. E. Tipi fiziologichnoï reaktivnosti sistemi dihaniya i specifika proyavu special'noï pracedatnosti sportsmeniv, *Fiziologichnij zhurnal*, **4**, 69 (2006).
8. Kolchinskaya A. Z. Sistema dyhaniya, gipoksiya i vozrast, *Fiziologicheskij zhurnal*, **3**, 419 (1981).
9. Berezovskij V. A., Serebrovskaya T. V. Ventilatornyj otvet na giperkapnicheskij stimul, kak pokazatel' reaktivnosti sistemy dyhaniya cheloveka, *Fiziologicheskij zhurnal*, **3**, 12 (1987).
10. Man'kovskaya I. N., Filippov M. M. Vozrastnye osobennosti razvitiya gipoksii skeletnyh myshc pri ostroj gipoksicheskoy gipoksii, *Fiziologicheskij zhurnal*, **5**, 548 (1982).

11. Agadzhanyan N. A., Dvoenovsov V. G. Osobennosti adaptivnyh reakcij kardiorespiratornoj sistemy u lic s razlichnym urovnem legochnoj ventilyacii pri sochetannom vozdejstvii gipoksii i giperkapnii, *Vestnik Ural'skoj medicinskoj akademicheskoy nauki*, **4**, 17 (2010).
12. Shik L. L., Vinnickaya R. S., Hanlarova T. A. Upravlenie ventilyaciej legkogo pri myshechnoj nagruzke u zdorovyh netrenirovannyh lic, *Fiziologicheskij zhurnal*, **3**, 3 (1987).
13. Chebotarev D. F., Korkushko O. V., Yaroshenko Yu. T. Osobennosti anaerobnogo energoobespecheniya fizicheskoy nagruzki v razlichnye vozrastnye periody, *Fiziologicheskij zhurnal*, **1**, 53 (1984).
14. Suzdal'nickij R. S., Men'shikov I. V., Modera E. A. Specificheskie izmeneniya v metabolizme sportsmenov, treniruyushchihsya v raznyh bioenergeticheskikh rezhimakh v otvet na standartnuyu nagruzku, *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury*, **3**, 16 (2000).
15. Mishchenko V. S., Lysenko E. N., Vinogradav V. E. *Reaktivnye svoystva kardiorespiratornoj sistemy kak otrazhenie adaptacii k napryazhennoj fizicheskoy trenirovke v sporte*, 351 p. (Kiev, 2007).