

УДК 612:796

DOI 10.29039/2413-1725-2023-9-1-171-182

РЕГУЛЯТОРНЫЕ МАРКЕРЫ ИЗМЕНЕНИЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ ДЫХАНИЯ СПОРТСМЕНОВ

Погодина С. В., Юферев В. С., Епишкин И. В.

*ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского», Симферополь,
Республика Крым, Россия
E-mail: igor.epishkin@gmail.com*

Представлена авторская методика определения регуляторных маркеров изменений функционального состояния системы дыхания спортсменок с использованием периодограммного Фурье анализа дыхательного ритма (ДР). Обследованы высококвалифицированные спортсменки 16–26 лет с овариально-менструальным циклом (ОМЦ) и 37–45 лет с ановуляторным менструальным циклом (АМЦ). Установлены достоверные изменения величин периодов дыхательного цикла в течение ОМЦ (дыхание на высокой частоте с 13-го по 16-й день, на низкой частоте с 8-го по 9-й день от начала МЦ) и АМЦ (дыхание на высокой частоте с 20-го по 22-й день от начала МЦ). Данные изменения были сопряжены с изменениями активности симпатических и парасимпатических влияний, выявленных при анализе вариабельности сердечного ритма (ВСР). Определены значимые корреляционные взаимосвязи между показателями дыхания и ВСР. Периодограммный анализ ДР является более точным в прогнозе функциональных сдвигов в системе дыхания спортсменок в течение МЦ.

Ключевые слова: регуляторные маркеры, система дыхания, дыхательный ритм, периодограммный анализ Фурье, периоды менструального цикла, высококвалифицированные спортсменки 16–45 лет.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение физиологических особенностей регуляции вегетативных функций в организме человека при разных эндогенных условиях является одним из наиболее актуальных научных аспектов общей и прикладной физиологии, поскольку касается исследования управляющих механизмов и возможности их коррекции [1]. Известно, что исследование центральных механизмов регуляции дыхания методически очень сложно и требует специального дорогостоящего лабораторного оборудования [2]. Поэтому чаще всего оценку регуляторных процессов в системе дыхания осуществляют на основе анализа вентиляторных показателей, характеризующих изменения зависимости поток-объем и объем-время при патологических отклонениях [3]. Несмотря на все положительные стороны этой методики, она имеет ряд недостатков, касающихся сложности выявления текущих функциональных изменений в системе дыхания, обусловленных физиологическими отклоняющими условиями в организме – например, такими как периодические нейрогормональные изменения в менструальном цикле женщины [4]. Данные литературы свидетельствуют о необходимости мониторинга дыхательных функций

и их респираторной поддержки в разные периоды менструального цикла (МЦ) у высококвалифицированных спортсменок, так как стабильная эффективная регуляция дыхания обеспечивает высокий уровень реализации биоэнергетических возможностей организма при напряженной мышечной деятельности [5].

Для выявления текущих физиологических отклонений в регуляции системы дыхания спортсменок имеются следующие теоретические предпосылки. Частота дыхания, и определяемый ею дыхательный ритм, являются результатом многоконтурного управления регуляторными системами [6]. Ведущим регуляторным контуром в системе дыхания является вегетативная нервная регуляция [7]. В менструальном цикле женщины имеют место периоды с преобладанием влияний симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы (ВНС) [8]. Основным структурным компонентом дыхательного ритма является длительность дыхательного цикла, которая формирует паттерны дыхания и коррелирует с показателями вегетативного баланса. Дыхательный ритм является периодическим процессом, и поэтому может быть исследован с использованием методов математического анализа для оценки текущих регуляторных изменений в разные периоды МЦ [9].

Целью работы явилось изучение возможности оценки периодических регуляторных изменений в системе дыхания спортсменок путем математического анализа сигналов фонограммы дыхательного ритма и сопоставление сигнальных показателей с уровнем дыхательных функций.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проведено в возрастных группах профессиональных спортсменок (Мастера спорта, Мастера спорта международного класса, $n=48$), тренирующихся в видах спорта с преимущественным развитием аэробной выносливости (длинные дистанции спортивного плавания, лёгкой атлетики и велоспорта) и имеющих разный характер нейрогормональной регуляции МЦ [10]: овариально-менструальный цикл (ОМЦ), (спортсменки 16-26 лет, $n=32$); ановуляторный менструальный цикл (АМЦ) (спортсменки 37–45 лет, $n=16$). Продолжительность МЦ 28–32 дня. Изучение исследуемых показателей осуществлялось в разные периоды МЦ – за менструальный период принимали 1–2-й день от начала МЦ, за постменструальный 8–9-й день, за овуляторный 13–16-й день, за постовуляторный 20–22-й день, за предменструальный 26–27-й день.

Протокол исследования включал в себя три эмпирические серии. Серия исследований структуры дыхательного ритма спортсменок проводилась по методике, которая предусматривала запись фонограммы дыхания с помощью микрофона на цифровой носитель (рис. 1) [11].

Источник звука, образовывался при поступлении в носоглотку человека вдыхаемого и выведении из неё выдыхаемого воздуха. Микрофон фиксировался напротив входа в носовую полость. Для математической обработки фонограммы использовалась компьютерная программа для выявления периодических сигналов во временных рядах [12]. На вход программе подавались записанные данные дыхания, которые исследовались на наличие периодичности. На выходе программа определяла

наличие разных периодов во временных рядах исследуемого периодического процесса. Математическая обработка фонограммы дыхания проводилась с использованием параметрического периодограммного анализа Фурье [13].

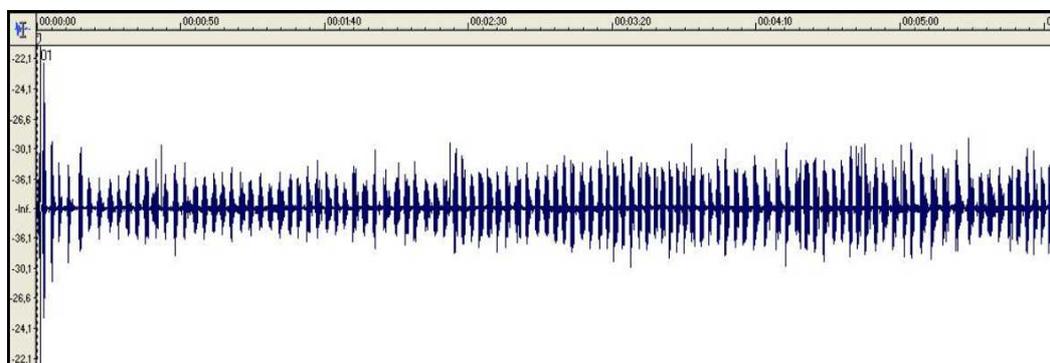


Рис.1. Фрагмент фонограммы дыхания в состоянии покоя

В серии исследований вегетативной нервной регуляции использовали технологию анализа вариабельности сердечного ритма (ВСР) с помощью восьмиканального тетраполярного реографа РЕОКОМ Стандарт (производство ХАИ-МЕДИКА, Украина). ВСР изучали путем записи 5-минутных фрагментов электрокардиограммы и анализа кардиоинтервалограмм (КИГ) [14]. В свою очередь для анализа волновой структуры ритма сердца применяли спектральный анализ. Определяли мощность и соотношение трех видов волн разной частотной характеристики: HF (мс^{-2}) – с высокочастотными колебаниями в границах от 0,15 до 0,4 Гц, LF (мс^{-2}) низкочастотными колебаниями в границах от 0,04 до 0,15 Гц и VLF (мс^{-2}) – с колебаниями очень низкой частоты – в границах от 0 до 0,04 Гц.

Исследование функций системы внешнего дыхания проводили спиропневмотахометрическим методом с помощью спирометра пневмотахометрического типа SPIROBANK G (производство Италия), с последующей компьютерной обработкой регистрируемых показателей. В качестве исследуемых показателей вентиляции использовали: объем лёгочной вентиляции (V_E , л), относительный объем лёгочной вентиляции (V_E , $\text{мл}\cdot\text{кг}^{-1}$), дыхательный объем (V_T , мл), относительный дыхательный объем (V_T , $\text{мл}\cdot\text{кг}^{-1}$), частоту дыхания (f_T , мин^{-1}). Все объёмные показатели приведены к условиям ВTPS. 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 (PEO_2 , мм рт. ст.), напряжение двуокиси углерода в выдыхаемом воздухе (PECO_2 , мм рт. ст.), скорость потребления кислорода (VO_2 , мл/мин), скорость выделения двуокиси углерода (VCO_2 , мл/мин), газообменное отношение (VCO_2/VO_2 , усл. ед.), вентиляторный эквивалент кислорода (ВЭО_2 , усл. ед.), вентиляторный эквивалент двуокиси углерода (ВЭCO_2 , усл. ед.), кислородную стоимость дыхательного цикла (VO_2/f , мл/мин/цикл). Все газообменные

показатели приведены к условиям STPD. Для изучения вегетативных и вентиляторных реакций использовали условия стандартного велоэргометрического теста ступенчато-возрастающей нагрузки с выполнением не менее 5-минут физической работы в следующих режимах (W): аэробный (восстанавливающий) W_1 – 50 Вт, ЧСС – 130–140 уд/мин), аэробно-анаэробный (развивающий) W_2 – 100–120 Вт, ЧСС 150–160 уд/мин), анаэробно-аэробный (W_3 – 150–220 Вт, ЧСС – 170–185 уд/мин) [2]. Полученный цифровой материал обрабатывали на персональном компьютере используя программы STATISTICA 10.0 и «OriginPro 8.5.1». Проверка соответствия распределения статистических данных закону нормального распределения с помощью критерия Шапиро-Уилка. Статистическую обработку материала проводили путём вычисления среднего значения исследуемых величин и ошибки среднего арифметического. Статистически значимые различия между выборками определяли с помощью t-критерия Стьюдента. Статистически значимыми различия считали при $p < 0,05$. Также использовали корреляционный анализ, в котором оценка взаимосвязи исследуемых показателей осуществлялась определением коэффициента корреляции (r) Пирсона.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В серии исследований амплитудно-частотных характеристик выходных колебаний волновой структуры периодограммы дыхательного ритма спортсменов методом Фурье-анализа определяли наличие основного периода дыхательного цикла на периодограмме, что проявлялось в присутствии ярко-выраженного пика в определенной полосе частот. В случае, показанном на рис. 2, пик в середине периодограммы указывает на присутствие в дыхательном ритме периода, на частоте (ν) равной $0,4 \text{ с}^{-1}$. Если учесть, что $\nu = 1/t$ периода, где ν – частота, а t – время периода, то время периода будет равно 2,5 с.

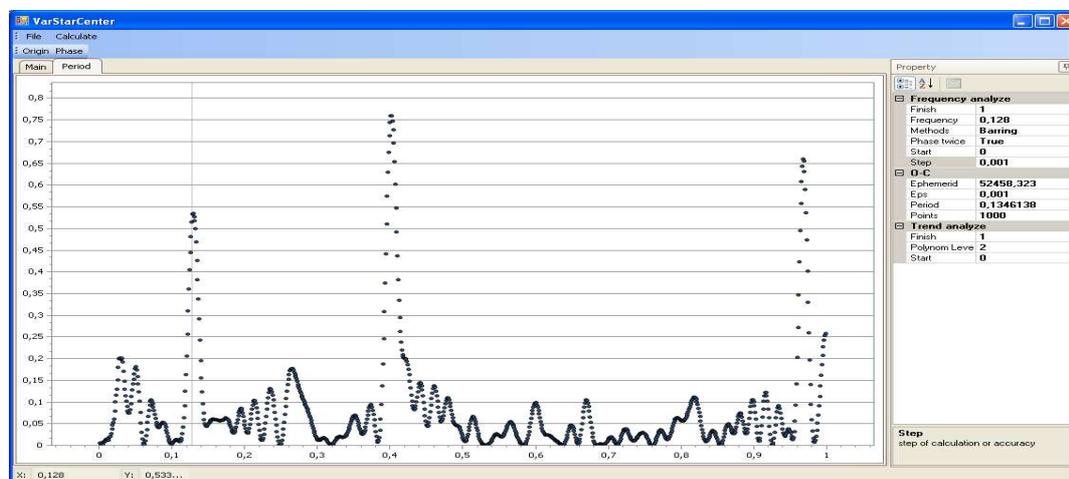


Рис. 2. Периодограмма дыхательного ритма, полученная в результате преобразования Фурье.

Было отмечено, что в разные периоды МЦ частота дыхания спортсменов изменяется. Так, у спортсменов с ОМЦ дыхание на сравнительно высокой частоте ($0,36 \pm 0,175 \text{ с}^{-1}$) регистрировали в период с 13-го по 16-й день, что говорит об укорочении длительности дыхательного цикла и учащении дыхания в данный период времени. В свою очередь дыхание на сравнительно низкой частоте ($0,19 \pm 0,138 \text{ с}^{-1}$) отмечали в период с 8-го по 9-й день, что свидетельствует об увеличении длительности дыхательного цикла и об урежении дыхания. Для спортсменов с АМЦ характерным явилось постепенное повышение частоты дыхания от начала АМЦ к периоду с 20-го по 22-й день ($0,33 \pm 0,021 \text{ с}^{-1}$) и снижение частоты дыхания в период с 26-го по 27-й день ($0,23 \pm 0,021 \text{ с}^{-1}$).

В серии исследований ВСП изучали процессы нервной вегетативной регуляции и далее изменения в ритме дыхания сопоставляли с активностью симпатического и парасимпатического отделов ВНС в разные периоды МЦ. Значения мощности LF- и HF-волн, характеризующих степень симпатических и парасимпатических влияний, свидетельствовали о том, что в возрастных группах спортсменов в состоянии покоя имело место сопряжённое повышение тонуса симпатического и парасимпатического отделов ВНС в периоды первой половины МЦ и сопряжённое их снижение во второй половине цикла [15]. Отсутствие соответствия между динамикой изменений частоты дыхания и сдвигов вегетативной нервной регуляторной активности указывает на разные степени стационарности динамических рядов и отражает различия в регуляции кровообращения и дыхания в исходном состоянии.

Таблица 1.

Изменение частоты дыхания (\dot{v}) в разные периоды ОМЦ и АМЦ

Дни МЦ	ОМЦ \dot{v} (с^{-1})	АМЦ \dot{v} (с^{-1})
1–3 день	$0,23 \pm 0,051$	$0,26 \pm 0,007$
8–9 день	$0,19 \pm 0,138^*$	$0,28 \pm 0,012^*$
13–16 день	$0,36 \pm 0,075^{***}$	$0,31 \pm 0,053^*$
20–22 день	$0,26 \pm 0,057^{**}$	$0,33 \pm 0,021^*$
26–27 день	$0,24 \pm 0,094$	$0,23 \pm 0,021^{**}$

Примечание: достоверные различия указаны по отношению к показателям предыдущего периода МЦ, * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

В то же время факт влияния периодов МЦ на вегетативный тонус может обуславливать изменение характера вегетативных реакций. В связи с этим дозированная высокоинтенсивная физическая нагрузка может явиться критерием, определяющим истинный уровень нервной регуляции. Определение вегетативного тонуса во время интенсивной мышечной работы в режимах W_2 и W_3 показало, что кинетика вегетативных реакций находится в причинно-следственных отношениях с динамикой частоты дыхания. Сопоставление данных ВСП и периодограмм дыхания, указывает на совпадение периодов дыхательного цикла в сравнительно высоком диапазоне частот и реакцией, связанной с повышением симпатического тонуса во

время высокоинтенсивной мышечной работы в режиме W_3 , что у спортсменок с ОМЦ приходится на период с 13-го по 16-й день, а у спортсменок с АМЦ на период с 20-го по 22-й день. В свою очередь совпадение периодов дыхательного цикла в сравнительно высоком диапазоне частот и реакцией, связанной с повышением парасимпатического тонуса во время нагрузки, регистрировали у спортсменок с ОМЦ в период с 8-го по 9-й день (рис. 3).

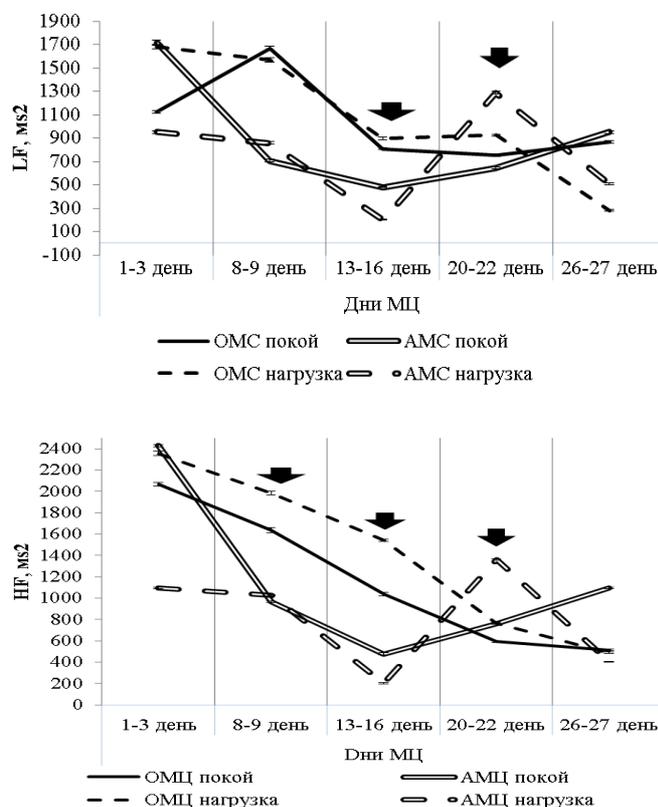


Рис. 3. Достоверные изменения (\downarrow) спектральных характеристик вариабельности сердечного ритма у высококвалифицированных спортсменок в разные периоды ОМЦ и АМЦ в исходном состоянии и при мышечной работе в режиме W_3 .

Результаты серии исследований функций внешнего дыхания показали, что перестройки в структуре вентиляторной реакции значительно выражены в периоды ОМЦ и АМЦ, для которых характерным явились изменения диапазона частоты дыхания. Так, уже в условиях выполнения физической работы в режиме W_2 у спортсменок с ОМЦ установлен фазовый овуляторный сдвиг в сторону усиления лёгочной вентиляции и газообменных процессов, повышения VO_2 в дыхательном цикле, формирование условий для напряжения кислородного режима и, в частности, для снижения его экономичности. Так, прирост величины показателя V_E ($699,72 \pm 12,04$ %, $p < 0,05$) в период овуляции был наибольшим. Аналогичная

тенденция выявлена и в отношении показателей V_T и f_T , которая выражалась в наибольшем их приросте в период овуляции (рис. 4).

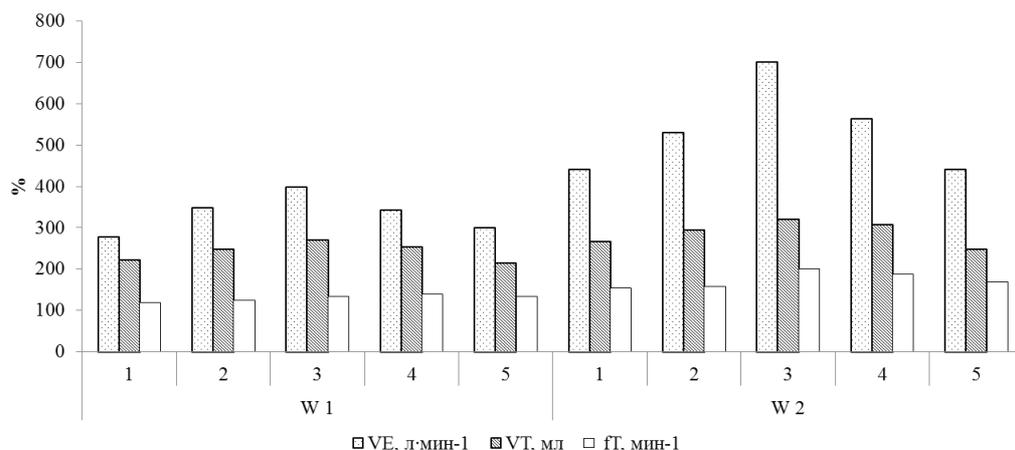


Рис. 4. Особенности изменения параметров вентиляции и газообмена у высококвалифицированных спортсменок в разные периоды ОМЦ в различных пороговых режимах нагрузки (изменения выражены в % от исходного уровня, принятого за 100 %)

Примечание: W₁ – аэробный режим; W₂ – анаэробно-аэробный режим; 1 – 1–3 день, 2 – 8–9 день, 3 – 13–16 день, 4 – 20–22 день, 5 – 26–27 день от начала ОМЦ.

В период с 8-го по 9-й день в условиях режима работы W₂ установлена достоверно низкая величина интенсивности элиминации VCO_2 ($2398,39 \pm 15,12$ мл*мин⁻¹, $p < 0,05$), что способствует удержанию его оптимальных величин в организме. При данных условиях газового режима вентиляторные эквиваленты поддерживаются на оптимальном стабильном уровне, тогда как энергетическая стоимость дыхания (VO_2/f) снижается до $80,13 \pm 1,14$ мл/мин/цикл, $p < 0,05$ (рис. 5). У спортсменок с АМЦ отмечали постепенное усиление вентиляции и газообмена в период с 20-го по 22-й день (рис. 6). Так, в данный период АМЦ в условиях режима работы W₂ наибольший прирост показателя V_E выявлен в период с 20–22 день ($880,14 \pm 15,21$ %, $p < 0,01$), а наименьший – в период с 26–27 день ($439,07 \pm 13,05$ %, $p < 0,05$). Также в период с 20–22 день выявлен наибольший прирост интенсивности VCO_2 ($809,45 \pm 16,03$ %, $p < 0,05$). В свою очередь наименьший прирост VCO_2 наблюдался в период с 26–27 день ($465,19 \pm 11,52$ %, $p < 0,05$).

Высокий реактивный ответ V_E и вызванное этим значительное повышение вентиляторных эквивалентов в период с 20-го по 22-й день обуславливали падение эффективности дыхательных паттернов. Очевидно, основной причиной снижения эффективности дыхания в период с 20-го по 22-й день явилась высокая частота дыхания (период дыхательного цикла находился на периодограмме в сравнительно высоком диапазоне частот $0,33 \pm 0,021$ с⁻¹), что повлекло за собой повышение вентиляторных эквивалентов при высокоинтенсивной работе в режиме W₂ (рис. 7).

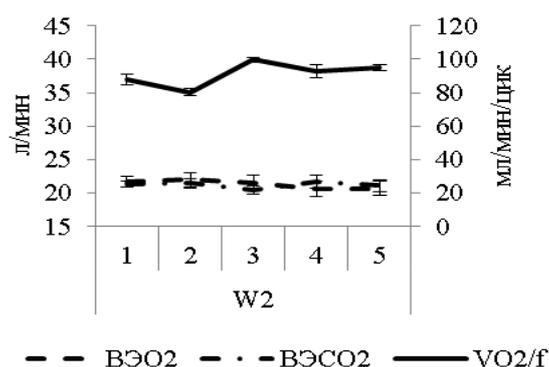


Рис. 5. Особенности изменения величин вентиляционных эквивалентов (ВЭО₂ и ВЭСО₂) и кислородной стоимости дыхательного цикла (VO₂/f), ($\bar{x} \pm Sx$) у высококвалифицированных спортсменок в разные периоды ОМЦ в условиях режима работы W₂

Примечание: 1 – 1–3 день, 2 – 8–9 день, 3 – 13–16 день, 4 – 20–22 день, 5 – 26–27 день от начала МЦ.

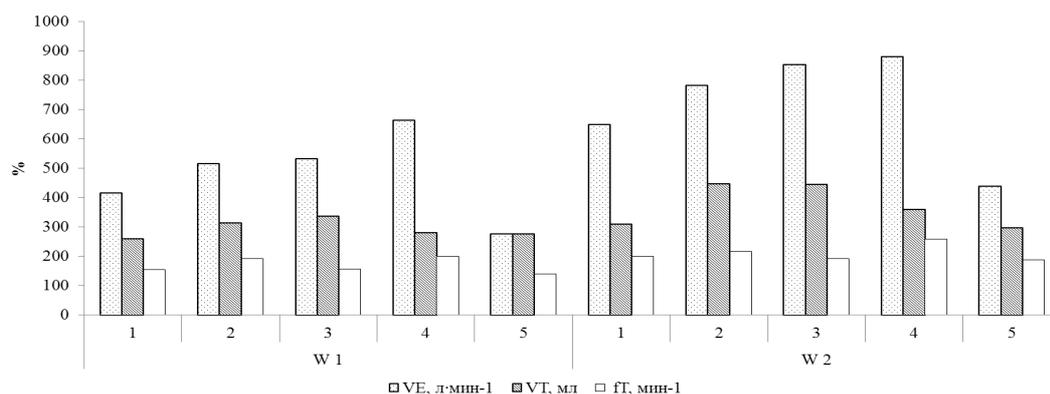


Рис.6. Особенности изменения параметров вентиляции и газообмена у высококвалифицированных спортсменок в разные периоды АМЦ в условиях пороговых режимов нагрузки (изменения выражены в % от исходного уровня, принятого за 100 %)

Примечание: W₁ – аэробный режим; W₂ – анаэробно-аэробный режим; 1 – 1–3 день, 2 – 8–9 день, 3 – 13–16 день, 4 – 20–22 день, 5 – 26–27 день от начала МЦ.

Для детального анализа причин, обуславливающих изменения вентиляторных и газовых параметров в разные периоды ОМЦ и АМЦ необходимо их сопоставить с показателями вегетативной регуляции. Для этого был проведён корреляционный анализ между параметрами системы дыхания и спектральными показателями блока

ВСР. Установлены статистически значимые ($p < 0,05$) положительные корреляционные взаимосвязи между V_E , V_E , VO_2 и LF-компонентом (соответственно $r=0,81$; $0,69$; $0,92$) в период овуляции, что говорит о влиянии симпатической активности на усиление вентиляторных параметров и объясняет высокую реактивность системы дыхания в данный период МЦ. В свою очередь в первой половине ОМЦ выявлены статистически значимые ($p < 0,05$) отрицательные корреляционные взаимосвязи между V_E , V_T , VO_2 , VCO_2 и HF-компонентом в период с 8-го по 9-й день ($r= -0,91$; $-0,57$; $-0,75$, $-0,66$). То есть относительное снижение элиминации VCO_2 в данный период ОМЦ можно связать со сравнительно высоким тонусом парасимпатической нервной системы.

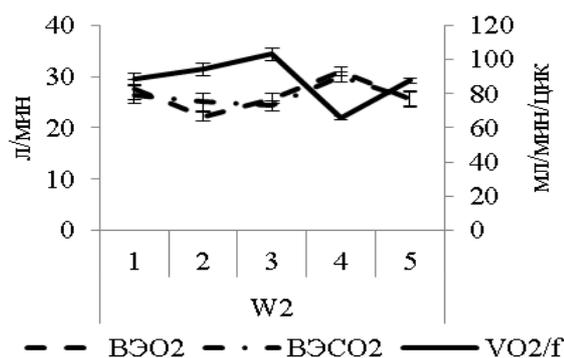


Рис. 7. Особенности изменений величин вентиляционных эквивалентов (ВЭО₂ и ВЭСО₂) и кислородной стоимости дыхательного цикла (VO₂/f), ($\bar{x} \pm S_x$) у высококвалифицированных спортсменок с АМЦ в условиях режима работа W₂.
Примечание: 1 – 1–3 день, 2 – 8–9 день, 3 – 13–16 день, 4 – 20–22 день, 5 – 26–27 день от начала МЦ.

При анализе статистически значимых ($p < 0,05$) взаимосвязей вентиляторных параметров V_E , V_T и параметра LF у спортсменок с АМЦ выявлено постепенное повышение значений r между данными показателями в менструальном, постменструальном, овуляторном и постовуляторном периодах (соответственно r при взаимосвязи LF - V_E : $0,35$; $0,59$, $0,97$, $0,99$; соответственно r при взаимосвязи LF - V_T : $0,25$, $0,35$, $0,99$, 1), и изменение знака коэффициентов корреляции на отрицательный в предменструальный период ($r= -0,87$). Аналогичная тенденция отмечена и в статистически значимых ($p < 0,05$) корреляционных взаимосвязях $VO_2 - LF$ (соответственно в менструальном, постменструальном, овуляторном и постовуляторном периодах $r=0,5$, $r=0,6$, $r=0,87$, $r=0,92$). Таким образом, имеющиеся корреляционные взаимосвязи между вентиляторными и газообменными параметрами и показателями вегетативной регуляции свидетельствуют о сопряжённом изменении вегетативного баланса и дыхательных функций у спортсменок в течение ОМЦ и АМЦ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В структуре дыхательного ритма спортсменок 16–45 лет в разные периоды ОМЦ и АМЦ выявлены статистически значимые изменения диапазонов частоты дыхания.
2. Значимые изменения величин периодов дыхательного цикла на периодограмме дыхательного ритма спортсменок соотносятся с периодическими изменениями активности симпатического и парасимпатического отделов ВНС в течение ОМЦ и АМЦ.
3. В периодах овуляторного и ановуляторного менструального цикла, в которых характерны сдвиги частоты дыхания и симпато-парасимпатического баланса установлены статистически значимые корреляционные взаимосвязи между показателями дыхания и вариабельности сердечного ритма, что позволяет высказать предположение об однонаправленном регуляторном влиянии вегетативной нервной системы на дыхательный ритм.
4. Использование периодограммного Фурье анализа структуры дыхательного ритма и сигнального маркера – диапазона частоты периода дыхательного цикла позволяет прогнозировать и определять вектор нервных регулирующих влияний, которые в определенный временной период ОМЦ или АМЦ реализуются в разных функциональных состояниях системы дыхания спортсменок.

Список литературы

1. Покровский В. М. Сердечно-дыхательный синхронизм у человека / В. М. Покровский, В. Г. Абушкевич, И. И. Борисова, Е. Г. Потягайло, А. Г. Похотько, С. М. Хакон, Е. В. Харитоновна // Физиология человека. – 2002. – Т. 28, № 6. – С. 100–103.
2. Бреслав И. С. Паттерны дыхания человека при гиперкапнии и гипоксии / И. С. Бреслав, А. М. Шмелева, С. М. Сидиков // Физиологический журнал СССР им. И. М. Сеченова. – 1983. – Т. 69, № 4. – С. 466–471.
3. Агаджанян Н. А. Особенности адаптивных реакций кардиореспираторной системы у лиц с различным уровнем лёгочной вентиляции при сочетанном воздействии гипоксии и гиперкапнии / Н. А. Агаджанян, В. Г. Двоеносов // Вестник Уральской медицинской академической науки. – 2010. – Т. 32, № 4. – С. 17–21.
4. Мейгал А. Ю. Нелинейные параметры кардиоинтервалограммы женщины в зависимости от сезона года и фазы менструального цикла / А. Ю. Мейгал, Н. В. Воронова, Л. Е. Елаева, Г. И. Кузьмина // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Медико-биологические науки. – 2015. – № 3. – С. 14–22.
5. А.с. № 28737. Украина: Комп'ютерна програма для визначення періодичних і хаотичних компонент в тимчасових рядах / Ткаченко С. С., Погодіна С. В., Гребнева О. М. (Україна). – № 28737.; Опубл. 3.02.2009, Бюл. № 14.
6. Гришин О. В. Вариабельность лёгочного газообмена и дыхательного ритма / О. В. Гришин, В. Г. Гришин, Ю. В. Коваленко // Физиология человека. – 2012. – Т. 38, № 2. – С. 87–93.
7. Grishin O. V. The variability of pulmonary gas exchange and respiratory pattern / O. V. Grishin, Y. V. Kovalenko, V. G. Grishin. // Human Physiology. – 2012. – Vol. 38, № 2. – С. 194–199.
8. Погодина С. В. Вариабельность сердечного ритма спортсменок в различных фазах менструального цикла / С. В. Погодина, В. С. Юферев // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2012. – Т. 25(64), № 1. – С. 188–195.

9. Гринченко В. Т. Ранговые респиросонограммы шумов дыхания // В. Т. Гринченко, В. В. Крижановский, В. В. Крижановский (мл.) / Акустичний вісник. – 2003. – Т. 6, № 2. – С. 34-42.
10. Christensen A. Hormonal regulation of female reproduction / A. Christensen, G. E. Bentley, R. Cabrera [et. al.] // Hormone and Metabolic Research. – 2012. – Vol. 44(8). – P. 587–91.
11. Пат. 200713736 Украина, МПК А 61 В 5/08. Спосіб дослідження регуляції подиху при різних впливах, що збурюють на організм людини / Погодина С.В.; заявитель и патентообладатель Таврический национальный университет. – № 3184; заявл. 07.12.07; опубл. 25.04.08, Бюл. № 8.
12. Калиткин Н. Н. Численные методы / Калиткин Н. Н. – СПб.: БХВ - Петербург, 2011 – 592 с.
13. Емельянов И. П. Структура биологических ритмов человека в процессе адаптации. Статистический анализ и моделирование. – Новосибирск: Наука, 1986. – 182 с.
14. Алексанянц Г. Д. Интегративная оценка регуляторно-адаптивных возможностей женского организма в спортивной медицине / Г. Д. Алексанянц, В. М. Покровский, И. И. Куценко // Теория и практика физической культуры. – 2009. – № 7. – С. 7–11.
15. Eckberg D. L. Sympathovagal balance: a critical appraisal / D. L. Eckberg // Circulation. – 1997. – №96. – P. 3224–3232.

REGULATORY MARKERS OF CHANGES OF THE FUNCTIONAL STATUS OF THE SYSTEM OF BREATHING

Pogodina S. V., Yuferev V. S., Epishkin I. V.

*V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russia
E-mail: igor.epishkin@gmail.com*

The problem of assessing regulatory changes in the respiratory system during physiological changes in the vegetative nervous and hormonal profile of professional athletes in different periods of the menstrual cycle is described in the article. Observations were conducted for athletes of age ranges (16–26 and 37–45 years), specializing in long distances of sports swimming, athletics and cycling. A series of studies with the use of immunoenzyme, rheographic, spiropnevmotachometric and gasometric types of analysis were conducted. In the in vitro test in the range of 37–45 years anovulatory nature is defined and in the range of 16–26 years ovulatory character of the menstrual cycle is defined. The author's technique of definition of signal indicators and diagnostics of periodic changes in the respiratory rhythm using the phonogram of respiration and Fourier analysis are detailed. The material on the influence of the regulatory factors of the anovulatory and ovarian-menstrual cycle on the respiratory rhythm of athletes is presented. In athletes with ovarian-menstrual cycle, respiration at a relatively high frequency ($0.36 \pm 0.175 \text{ s}^{-1}$) was recorded from 13 to 16 days from the onset of menstruation, which indicates the increased rate of respiration. A relatively low respiratory rate ($0.19 \pm 0.138 \text{ s}^{-1}$), that is, a rare rhythm of respiration, was noted between 8 and 9 days. For athletes with anovulatory menstruation cycle is characterized by an increase in the frequency of respiration from the menstrual period to the period from 20 to 22 days ($0.33 \pm 0.021 \text{ s}^{-1}$) and decrease in the respiratory rate during the period from 26 to 27 days ($0.23 \pm 0.021 \text{ s}^{-1}$). Significant changes in the periods of the respiratory cycle on the respiratory periodogram of athletes were correlated with changes in the activity of

segmental parts of the autonomic nervous system. Statistically significant correlations between the parameters of the ventilator and nervous regulatory functions were revealed. The obtained data accent attention on the effective use of periodogram analysis of respiratory rhythm for predicting periodic changes in respiratory function of athletes, depending on the conditions of preservation of the ovarian-menstrual function.

Keywords: regulatory markers, breathing system, respiratory rhythm, Fourier periodogram analysis, periods of menstrual cycle, highly qualified athletes 16–45 years old.

References

1. Pokrovskij V. M., Abushkevich V. G., Borisova I. I., Potyagajlo E. G. et. al. Cardiac-respiratory synchronism in humans, *Human physiology*, **28(6)**, 100 (2002).
2. Breslav I. S., Glebovskij V. D. Regulation of respiration. (Science, 1981).
3. Agadzhanyan N. A., Dvoenosov V. G. Features of adaptive reactions of cardiorespiratory system in persons with different levels of pulmonary ventilation with combined effects of hypoxia and hypercapnia. *Bulletin of the Ural Medical Science*, **32(4)**, 17 (2010).
4. Mejgal A. YU., Voronova N. V., Elaeva L. E., Kuz'mina G. I. Nonlinear parameters of the cardiointervalogram of a woman depending on the season of the year and the phase of the menstrual cycle. *Bulletin of the Northern (Arctic) Federal University*, **3**, 14 (2015).
5. Tkachenko S. S., Pogodina S. V., Grebneva O. M. Computer program for the determination of periodic and chaotic components in time series. A.S. № 28737. UA. (2009).
6. Grishin O. V., Grishin V. G., Kovalenko YU. V. Variability of pulmonary gas exchange and respiratory rhythm. *Human physiology*, **38(2)**, 87 (2012).
7. Grishin O.V., Kovalenko Y.V., Grishin V.G. The variability of pulmonary gas exchange and respiratory pattern. *Human Physiology*, **38(2)**, 194 (2012).
8. Pogodina S. V., Yuferev V. S. The variability of the heart rate of athletes in different phases of the menstrual cycle. *Scientific notes of the V.I. Vernadsky Taurida national Univ.*, **25(64)**, 1, 188 (2012).
9. Grinchenko V. T., Krizhansovkij V. V., Krizhanovskij V. V. (ml.) Rank respirosograms of respiratory noise. *Acoustical Visum.*, **6(2)**, 34 (2003).
10. Christensen A., Bentley G. E., Cabrera R. et. al. Hormonal regulation of female reproduction. *Hormone and Metabolic Research*, **44(8)**, 587 (2012).
11. Pogodina S. V. A method for studying the regulation of breathing with various stimulants on the human body. Pat. 200713736 UA. (2007).
12. Kalitkin N.N. *Numerical methods*, 592p. (BHV, 2011).
13. Emel'yanov I. P. *The structure of human biological rhythms in the process of adaptation. Statistical analysis and modeling*, 182 p. (Science, 1986).
14. Aleksanyanc G. D., Pokrovskij V. M., Kucenko I. I. Integrative assessment of regulatory and adaptive capabilities of the female body in sports medicine. *Theory and Practice of Phys. Cult.*, **7**, 7 (2009).
15. Eckberg D. L. Sympathovagal balance: a critical appraisal. *Circulation*, **96**, 3224 (1997).