



## ГОМЕОСТАЗ И АДАПТАЦИЯ: ПАТОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОМАТОВЕГЕТАТИВНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ОНТОГЕНЕЗЕ

© А.А. Артеменков

Череповецкий государственный университет, Череповец, Россия

Для цитирования: Артеменков А.А. Гомеостаз и адаптация: патофизиологические аспекты соматовегетативного взаимодействия в онтогенезе // Педиатр. – 2021. – Т. 12. – № 4. – С. 89–101. <https://doi.org/10.17816/PED12489-101>

Поступила: 14.06.2021

Одобрена: 29.07.2021

Принята к печати: 27.08.2021

В обзоре представлены сведения о соматовегетативном взаимодействии кровообращения и дыхания с точки зрения представлений профессора Юрия Петровича Пушкарева. Приводятся данные, говорящие о сложности и многосторонности проблемы гомеостаза и адаптации, нерешенности многих вопросов, имеющих важное значение для понимания стабильности внутренней среды организма и установления границ «нормы». Показано, что в пределах нейрогуморальной системы организма постоянно осуществляется взаимодействие различных компонентов функциональных систем, обеспечивающих сопряжение дыхания и кровообращения с образованием межсистемных связей. Рассматриваются некоторые аспекты становления функций у животных и человека в постнатальном онтогенезе. Сделан акцент на то, что гомеостаз есть внутреннее равновесие показателей в организме, но его значения постоянно изменяются за счет центропериферической интеграции функций. Подчеркнуто, что процесс достижения полезного приспособительного результата характеризуется асимметрией физиологических показателей, а межсистемное взаимодействие обеспечивает уравновешивание констант гомеостаза в условиях адаптации к условиям внешней среды. При надпороговых воздействиях внешней среды и сдвиге параметров гомеостаза в организме возникают компенсаторно-приспособительные реакции, направленные на поддержание определенного уровня стационарного состояния, устранение или ограничение действия вредного фактора и оптимизацию взаимодействия организма и среды за счет образования межсистемных связей. Проанализированы патофизиологические механизмы изменения функций при некоторых заболеваниях и при стрессовых воздействиях. Дальнейшее изучение соматовегетативного взаимодействия в контексте идей Ю.П. Пушкарева позволит вскрыть истинные механизмы синхронизации функций в организме животных и человека для понимания его существования как независимой саморегулирующейся системы.

**Ключевые слова:** онтогенез; соматовегетативное взаимодействие; гомеостаз; адаптация; интеграция; компенсация.

## HOMEOSTASIS AND ADAPTATION: PATHOPHYSIOLOGICAL ASPECTS OF SOMATO-VEGETATIVE INTERACTION IN ONTOGENESIS

© Alexey A. Artemenkov

Cherepovets State University, Cherepovets, Russia

For citation: Artemenkov AA. Homeostasis and adaptation: pathophysiological aspects of somato-vegetative interaction in ontogenesis. Pediatrician (St. Petersburg). 2021;12(4):89-101. <https://doi.org/10.17816/PED12489-101>

Received: 14.06.2021

Revised: 29.07.2021

Accepted: 27.08.2021

The review presents information on the somatovascular interaction of blood circulation and respiration from the point of view of the views of Professor Yu.P. Pushkarev. Data are presented that speak of the complexity and complexity of the problem of homeostasis and adaptation, the unresolved many issues that are important for understanding the stability of the internal environment of the body and establishing the limits of the "norm". It has been shown that within the neurohumoral system of the body, the interaction of various components of functional systems is constantly carried out, ensuring the conjugation of respiration and blood circulation with the formation of intersystem links. Some aspects of the formation of functions in animals and humans in postnatal ontogenesis are considered. It is emphasized that homeostasis is an internal balance of indicators in the body, but its values are constantly changing due to the center-peripheral integration of functions. It was emphasized that the process of achieving a beneficial adaptive result is characterized by the asymmetry of physiological indicators, and the intersystem interaction ensures the balancing of homeostasis constants in terms of adaptation to environmental conditions. It has been shown that over-threshold environmental influences and homeostasis

parameters shift in the body, compensatory-adaptive reactions occur, aimed at maintaining a certain level of stationary state, eliminating or limiting the effect of the harmful factor and optimizing the interaction of the organism and the environment due to the formation of intersystem links. Analyzed the pathophysiological mechanisms of changes in function in certain diseases and stress effects. It is shown that the further study of the somatovegetative interaction in the context of the ideas of Yu.P. Pushkarev will allow revealing the true mechanisms of synchronization of functions in the organism of animals and humans in order to understand its existence as an independent self-regulating system.

**Keywords:** ontogenesis; somatovegetative interaction; homeostasis; adaptation; integration; compensation.

## ВВЕДЕНИЕ

Представления о соматовегетативном взаимодействии в постнатальном онтогенезе и межсистемных связях как в условиях стабильного существования организма, так и при реализации компенсаторно-приспособительных процессов были разработаны профессором Юрием Петровичем Пушкаревым. Как известный специалист в области физиологии нервной системы Ю.П. Пушкарев внес значительный вклад в изучение механизмов нервной регуляции соматических и вегетативных функций у животных и человека. Им были детально исследованы количественные характеристики медиаторных превращений в синапсах спинного мозга и в вегетативных ганглиях. В опытах на животных было доказано, что в условиях гипогликемии и при сахарном диабете нарушается функция пресинаптических терминалей преганглионарных нейронов и интенсивность выделения медиатора в синаптическую щель. Экспериментально подтверждено, что гиперсимпатикотония является основной причиной возникновения и развития артериальной гипертензии. Была также уточнена роль периферических вегетативных ганглиев в вегетативной регуляции висцеральных органов. Эти важные исследования послужили основой для изучения вегетативных нервных образований, регулирующих дыхательную функцию. В дальнейшем Ю.П. Пушкаревым была впервые разработана методика комплексной оценки соматовисцеральных асимметрий и вегетативного статуса у детей разного возраста, а также и у животных. Была показана тесная связь между соматическими и вегетативными асимметриями в онтогенезе, выявлена латерализация структур, участвующих в регуляции кардиореспираторной системы. Полученные результаты заложили основу для дальнейшего изучения механизмов вегетативной регуляции висцеральных органов его последователями. Поэтому и в настоящее время межсистемное (соматовегетативное) взаимодействие в функциональных системах организма животных и человека всесторонне изучается учениками Ю.П. Пушкарева.

Действительно, стабильность гомеостаза и надежность функционирования организма человека

и животных во многом обеспечивается соматовегетативным взаимодействием, частным случаем которого является кардиореспираторное сопряжение. Данное взаимодействие выражается в модуляции импульсной активности ряда вегетативных и соматических нервов, в связи с чем в организме длительное время сохраняется постоянство внутренней среды и оптимальная адаптация.

Гомеостаз и адаптация — основные свойства живых организмов, сформировавшихся в процессе эволюции у многоклеточных организмов. Биологическая связь адаптации и гомеостаза состоит в установлении и поддержании гомеостаза, позволяющего организмам существовать в изменяющейся внешней среде. Но несмотря на столь длительное время изучения постоянства внутренней среды организма, проблема гомеостаза и адаптации остается актуальной для физиологии и по настоящее время в виду того, что пока нет полной ясности в понимании столь сложной системы взаимодействий «гомеостаз – адаптация – дезадаптация – компенсация». Физиологическое значение кардиореспираторной связи в нормальных, патологических и экстремальных условиях до сих пор не выяснено. Этот феномен подлежит постоянному исследованию, как экспериментальному, так и теоретическому, с использованием математических моделей [37].

Ю.В. Наточин указывает на многогранность понятия «гомеостаз» и отсутствие ответа на некоторые исходные и ключевые вопросы, которые остались для исследователей вне рассмотрения [20]. Например: «Почему и каким образом устанавливаются датчики нормы?», «Что служит стандартом и почему природа выбрала именно те значения, на которые настроена система?» Эти вопросы ранее не ставились исследователями, но они важны для понимания ряда ключевых проблем физиологии. Автор указывает на то, что в них речь идет не только о физиологических основах приведения к определенному стандарту каждого показателя, но и как устроен сам стандарт. Этот вопрос так же пока не решен. Ю.В. Наточин придерживается мнения, что необходимо также обратить внимание на те состояния организма, когда сдвинуто значе-

ние «эндогенного эталона». В данном случае надо не изменять направленность физиологических процессов, а попытаться восстановить «эталон», выяснить механизм его нарушения, что в итоге облегчит возвращение нарушенных параметров в границы нормы.

Заметим, что дело еще и в том, что, с одной стороны, адаптацию мы чаще всего рассматриваем как проявление гомеостаза. Действительно, возникшее в процессе эволюционного развития устойчивое состояние внутренней среды (гомеостаз) позволяет организму приспособиться к окружающей среде. В этом случае адаптацию организма определяют гомеостатические процессы и реакции, поддерживающие стационарный уровень физиолого-биохимических параметров. Иными словами, оптимальная адаптация — это сложившаяся система реакций, необходимых организму в данных конкретных условиях для нормальной жизнедеятельности. То есть мы можем с большой уверенностью сказать, что любой вид адаптации организма строится на основе гомеостаза. Причем механизмы гомеостаза могут быть крайне разнообразными и направленными на устранение вредного воздействия, стремящегося вывести из равновесия тот или иной показатель и сдвинуть его за границы нормы.

Однако адаптироваться может только целостный живой организм, а не отдельная клетка или орган (хотя при долговременной адаптации изменения возникают на клеточном и субклеточном уровнях). И поэтому адаптация подчиняется не только гомеостатическим закономерностям. Тем не менее приобретенные в ходе адаптации структурно-функциональные свойства организма (системный структурный след) создают защитные приспособительные эффекты, а адаптационная стабилизация структур, выражаясь в увеличении резистентности тканей организма к многообразным факторам среды, обеспечивает ему возможность для дальнейшего развития и совершенствования [16].

Внутренняя среда организма — это лишь небольшая его часть. С этой точки зрения адаптация не может быть признаком гомеостаза. Но ясно одно — адаптация всегда направлена на поиск наиболее устойчивого состояния системы для удержания показателей организма в состоянии физиологической нормы, несмотря на изменение условий существования. Изменение условий среды чаще всего приводит к дезадаптации организма и включению компенсаторных реакций, направленных на устранение нового уровня реагирования и восстановление нарушенного гомеостаза [15]. Но все же гомеостаз — это не простое постоянство физико-химических свойств организма.

Это особая устойчивость, которая характеризуется стабильностью постоянно меняющихся процессов в условиях «нормы». В этом случае биологическая характеристика гомеостаза определяется не только длительностью адаптационных процессов, но и их значимостью. Реакции, обеспечивающие гомеостаз, могут быть направлены на поддержание уровней стационарного состояния, на координацию комплексных процессов для устранения или ограничения действия вредоносных факторов, на выработку или сохранение оптимальных форм взаимодействия организма и среды в изменяющихся условиях существования. Все эти процессы и определяют адаптацию, а любой вид адаптации создается на основе гомеостаза [9].

Но для раскрытия сущности гомеостаза и адаптации необходимо понимание всего комплекса проблем, лежащих не только в онтогенетической, но и в эволюционной плоскости, поскольку приспособление организмов к различным факторам происходит путем естественного отбора. В процессе отбора в популяциях человека и животных происходит выживание наиболее приспособленных организмов, обладающих более стабильным гомеостазом. Именно поэтому в ходе эволюционного развития у организмов, от простейших до многоклеточных, сформировались структуры и механизмы, поддерживающие гомеостаз.

*Цель настоящей работы — обобщить имеющиеся данные о механизмах поддержания гомеостаза и адаптации с точки зрения научных идей Ю.П. Пушкирева о соматовегетативном взаимодействии в постнатальном онтогенезе и надежности физиологических систем.*

### **Нейрогуморальное взаимодействие компонентов гомеостаза и адаптации**

Одной из наиболее признанных теорий, объясняющих природу приспособительных процессов любой степени сложности, в том числе функциональных систем гомеостатического уровня регуляции и мультипараметрического взаимодействия, является концепция функциональных систем П.К. Анохина. Согласно данной теории в деятельности функциональных систем гомеостатического уровня изменение одного показателя внутренней среды немедленно оказывается на результатах деятельности других, связанных с ним функциональных систем. На основе мультипараметрического взаимодействия различных функциональных систем строится гомеостаз в целом, а адаптивные результаты через обратную афферентацию отпечатываются на структурах акцептора результатов действия в форме информационных голограмических образов [2, 30].

Однако в процессах гомеостатического регулирования принимают участие высшие отделы мозга. Факты, полученные в работе [53], указывают, что кора головного мозга участвует, например, в изменениях кардиореспираторной синхронизации во время выполнения умственных задач. И хотя межсистемные взаимодействия подчиняются коре головного мозга, следует сказать, что основным механизмом поддержания жизнедеятельности организма на постоянном уровне служит саморегуляция физиологических функций. Она сформировалась непосредственно в ходе естественного отбора. В процессе приспособления к среде обитания, организмами были выработаны регуляторные механизмы различной физиологической природы (нервно-гуморальные и иммунные). Эти механизмы направлены на достижение и поддержание относительного динамического постоянства внутренней среды организма. Именно множество отдельных механизмов, регулирующих внутри- и внесистемные взаимодействия, которые оказывают противоположные воздействия, уравновешивающие друг друга, приводят к установлению подвижного физиологического фона и позволяет организму поддерживать относительное динамическое постоянство, несмотря на изменения окружающей среды и сдвиги, возникающие в процессе жизнедеятельности животных и человека [14].

Подтверждением этому стали эксперименты на новорожденных крысятах, которые позволили сделать заключение, что сразу после рождения соматовисцеральные межсистемные взаимодействия реализуются в основном посредством медленноволновых колебаний около- и многоминутного диапазона. При этом ритмы декасекундного диапазона не играют существенной роли в интегративных процессах. В данном случае кардиореспираторные взаимодействия, более выраженные у интактных животных в около- и многоминутном диапазоне модуляций, снижаются, а в декасекундном диапазоне модуляций — незначительно усиливаются [27]. С другой стороны, у человека (новорожденных детей) связь между работой сердца и легкими осуществляется через хемосенсорные пути ствола мозга и вегетативную нервную систему, что приводит к кардиореспираторной синхронизации. Такие непрерывные изменения физиологического взаимодействия в онтогенезе могут служить для определения зрелости у недоношенных детей [40]. Надежность функционирования физиологических систем в раннем онтогенезе обеспечивается их повышенной функциональной активностью в состоянии относительного покоя. Период выраженных качественных изменений деятельности физиоло-

гических систем составляет 6–7 лет. В 9–10 лет при возросших регуляторных воздействиях центральной нервной системы (ЦНС) и гипоталамо-гипофизарной оси на другие органы и системы развитие системной организации характеризуется высокой степенью специализации и интеграции отдельных системных элементов [26].

Итак, не вызывает сомнения, что гомеостаз обеспечивает внутреннее равновесие и стабильность функционирования человеческого организма. Он как резерв адаптации отображает ее величину. Это позволяет считать гомеостаз основой для адаптации организма при действии на него факторов среды существования [23]. Среди гормональных регуляторов функций и гомеостаза следует выделить окситоцин, который с функционально взаимосвязанными медиаторами, пептидными и стероидными гормонами принимает участие в механизмах формирования соматовисцеральных расстройств на различных этапах онтогенеза [33]. Но следует заметить, что даже на поздних этапах онтогенетического развития (у пожилых лиц) выявляется функционирование центральных механизмов соматовегетативного взаимодействия [32]. Можно не сомневаться, что гетерохронность развития в онтогенезе сердечно-сосудистой системы и неэффективность кардиореспираторного сопряжения приводит к рассогласованию механизмов регуляции вегетативных функций. В этом случае жизнедеятельность осуществляется в режиме неустойчивой адаптации, которая отражается в растущем организме повышенной утомляемостью и снижением устойчивости к неблагоприятным воздействиям [17, 18]. Эти факты указывают на то, что межсистемные связи служат основой для развития устойчивости организма к воздействию факторов стресса и адаптационного синдрома. Особенности межсистемной интеграции кардиореспираторной системы состоят в изменении показателей мозговой активности в условиях образовательного процесса. Так, например, формирование адаптивного результата при обучении в условиях эмоционального стресса происходит только у 40 % студентов, а у 60 % выявляются недостаточные адаптационные способности, что приводит к психовегетативным нарушениям в организме [45]. Иное дело, если рассинхронизация деятельности сердечно-сосудистой и дыхательной систем наблюдается, например, при гравитационном (ортостатическом) и тепловом стрессе [48, 54].

Становление системных механизмов адаптации хорошо прослеживается и в ходе онтогенетического развития. Качественные и количественные адаптивные перестройки параметров внутренней

среды организма, полученные по мере роста и развития человека в покое и после физических нагрузок, характеризуются большей эффективностью и экономичностью работы систем при мышечной деятельности и в восстановительный период у испытуемых на более поздних этапах онтогенеза. Экспериментальные данные свидетельствуют, что при повреждении любой функциональной системы и нарушении гомеостатического регулирования функций выявляется выраженный динамизм мобилизации защитных механизмов, заметная перестройка предшествующих отношений между центром и периферией на основе реализации корково-подкорковой констелляции, отражающей сопряжение моторных и вегетативных функций. Но оптимальному взаимодействию сопряженных функций, по-видимому, способствует и асимметрия их элементов. Очевидно, что всякие изменения, происходящие в определенной функциональной системе организма, есть результат взаимодействия ее с внешним окружением и формирования внутрисистемных связей. При этом необходимым условием проявления изменений служит асимметрия, неравновесность взаимодействий, в какой-то момент и в какой-то мере нарушающих гомеостаз. Поэтому конкретным принципом анализа физиологических систем можно считать принцип асимметричного взаимодействия в физиологической системе [25].

Таким образом, можно полагать, что характеристика взаимосвязанных функций и теснота их связи — важнейшие критерии, отражающие генетически предопределенную или сформированную способность ЦНС к синхронизации (мобилизации) функциональных систем организма.

### Гомеостаз и кардиореспираторное сопряжение

На всех этапах постнатального морфофункционального синхроноза имеет место системная периодизация развития, то есть генетически детерминированная смена доминирующих функциональных механизмов. Эти критические периоды жизни человека связаны с глубинными перестройками взаимоотношений эффекторов реализации гомеостаза и реализуются на уровне «базового модуля» организации. Причем совершенно очевидно, что различные нейронные ансамбли ЦНС способны принимать участие в реализации не одного, а нескольких механизмов системной деятельности. Но степень участия той или иной структуры ЦНС на каждом из этапов осуществления системных процессов различна и весьма изменчива в процессе онтогенеза по мере образования и закрепления адаптивных навыков. Таким образом, прослеживается тесная корреляционная связь между сомати-

ческими и висцеральными системами в онтогенезе животных и человека, их зависимость от степени созревания отдельных компонентов функциональных систем. Кроме того, в постнатальном онтогенезе отмечена и латеральная асимметрия структур, участвующих в регуляции кардиореспираторной системы на корково-таламическом, стволовом и периферическом уровнях. Определено, что процесс достижения полезного адаптивного результата характеризуется асимметрией физиологических показателей, прежде всего кардиореспираторного сопряжения — главного признака соматовисцерального взаимодействия. Высокие значения коэффициента функциональной асимметрии связаны с мобилизацией адаптивных процессов, а его снижение — с достижением полезного приспособительного результата [4].

Установлено также, что усиление межсистемной интеграции обеспечивает оптимальность хемореактивных ответов на гипоксические и гиперкапнические возмущения газового гомеостаза организма и отражает «точность» адаптивных настроек кардиореспираторной системы у спортсменов при интенсивных аэробных нагрузках [7]. Таким образом, подтверждена взаимосвязь показателей вариабельности ритма сердца и внешнего дыхания у спортсменов с различной направленностью тренировочного процесса. У спортсменов, тренирующихся на развитие скоростно-силовых качеств, не столь эффективно совершаются механизмы экономизации кардиореспираторной системы в покое, как у лиц, тренирующихся на выносливость [10]. С другой стороны, ясно, что изменение показателей кардиореспираторной системы организма во время физической нагрузки происходит преимущественно в подсистемах, наиболее активно участвующих в обеспечении выполняемых человеком двигательных действий [8]. Напротив, в расслабленном состоянии и во время медленного сна степень кардиореспираторной синхронизации увеличивается с соответствующим вкладом симпатической и парасимпатической активности [42].

Вместе с тем возрастает значимость скорости переходных процессов при восстановлении баланса параметров вегетативной нервной системы по показателям вариабельности сердечного ритма в обеспечении высокой функциональной устойчивости и нормализации гомеостаза. Доказан факт эффективного воздействия упражнений на организм для ускорения нормализации баланса вегетативной регуляции и гомеостаза после двигательной деятельности [35]. Имеются данные, что эмоциональная визуальная стимуляция также влияет на синхронизацию дыхания и частоту сердечных сокращений.

И даже, как ни парадоксально, найдены убедительные доказательства выраженной кардиореспираторной синхронизации во время возбуждения, нежели во время нейтральных состояний [51].

Следовательно, мы имеем дело со взаимодействием дыхания и кровообращения в различных условиях жизнедеятельности, при патологических состояниях и в экстремальных условиях. Это убедительно доказывает, что регуляция приспособительных изменений организма осуществляется благодаря постоянному взаимодействию физиологических систем. Корреляционные связи, возникающие между системой дыхания и кровообращения, определяют возможность их взаимной компенсации: любое нарушение одной из системных функций вызывает компенсаторное усиление реакций другой системы. Конечный этап приспособительных реакций — это сохранение кислородного гомеостаза для обеспечения необходимых физиологических функций [11].

Некоторые авторы считают, что сердечно-дыхательный синхронизм и асимметрия показателей вегетативных показателей достаточно прочно обеспечивают стабильность параметров гомеостаза. Установлено, что проведение пробы сердечно-дыхательного синхронизма приводит к недостаточному снижению ударного и сердечного индексов и повышению общего периферического сопротивления сосудов. Иначе говоря, мозговая гемодинамика при выполнении пробы с физической нагрузкой может характеризоваться значительной асимметрией [12, 31]. Здесь следует обратить внимание на возможную связь сдвига фаз между колебаниями дыхания, скоростью мозгового кровотока, величиной артериального давления с ауторегуляцией кровоснабжения головного мозга [50].

Иными словами, коэффициент билатеральной функциональной асимметрии, выявляемый не только в состоянии покоя, но и при дозированных функциональных пробах, латерализованных температурных, электрических и других воздействиях, можно рассматривать как неспецифический критерий, отражающий как местные системные, так и корково-висцеральные взаимоотношения и позволяющий дать новую количественную информацию о жизнедеятельности в норме и при патологии. Он также может служить дополнительной характеристикой вегетативного статуса, прогностическим критерием тяжести патологических исходов экстремальных состояний.

#### **Гомеостаз и сопряженная компенсация функций**

Среди систем жизнеобеспечения, направленных на поддержание постоянства внутренней среды организма в норме и при патологии, тра-

диционно первостепенное значение в физиологических и клинических исследованиях уделяется кровообращению и дыханию. В условиях дозированных респираторных и мышечных нагрузок сопряжение дыхания и кровообращения выражается в неоднозначных формах, с отсутствием линейной корреляционной зависимости, что, вероятно, свидетельствует о многовариантности вовлечения и сочетания механизмов, регулирующих деятельность этих систем. Но в ряду механизмов, включающихся при физических и респираторных нагрузках, психоэмоциональном напряжении, проявляются проприоцептивные влияния с мышечного аппарата, в том числе и с дыхательных мышц, с рецепторов дыхательных путей, и, наконец, самые мощные гиперкапнические и гипоксические влияния [3].

К.В. Судаков указывает, что информация в функциональных системах, определяющих поведенческую деятельность человека, возникает прежде всего как отношение регулируемого ими гомеостатического показателя к результатам поведенческой деятельности. В системной и результативной деятельности человека выявляются геометрические образы когерентных связей альфа-ритма энцефалограммы, динамически меняющиеся на различных стадиях, отражающие многоуровневую организацию акцептора результатов действия [28, 29].

Очевидно, что гомеостаз распространяется на многочисленные параметры внутриклеточной и межклеточной среды, крови и представляется гомеостатической кривой, которая у теплокровных животных и человека может колебаться при изменении поведения и образа жизни. Сегодня считается, что здоровье — это состояние организма, при котором его ресурсов достаточно, чтобы поддерживать гомеостаз, а после его нарушений к гомеостазу возвращаться. Таким образом, состояние здоровья человека отражает именно гомеостаз организма, его способность поддерживать относительную стабильность внутренней среды при изменении внешнего окружения [21]. Важным обстоятельством стало понимание, что при неинвазивной стимуляции спинного мозга соматовисцеральные взаимоотношения обеспечивают активацию абдоминальной мускулатуры и поверхностного кровотока, оказывают выраженное воздействие на спонтанную вентиляцию легких и увеличивают перфузию кожи нижней конечности [19]. С другой стороны, мы видим, что при невротической депрессии имеет место дисфункция процессов межкорковой и корково-подкорковой интеграции, приводящая к нарушению системной ор-

ганизации упорядоченных взаимодействий активности передних и задних отделов обоих полушарий мозга [13]. И все же можно констатировать, что выявляющийся сердечно-дыхательный синхронизм у человека зависит от типа нервной системы, при психоэмоциональном стрессе и соматической патологии. И действительно, значимые показатели сердечно-дыхательного синхронизма характеризуют регуляторно-адаптационные возможности организма взрослых и детей [22]. Согласно этому факту гомеостатический ответ во время стресса и медитации сопровождается изменениями активности соматических и вегетативных нервных образований. При этом кардиореспираторная синхронизация, происходящая во время парасимпатической реакции, в период медитации модулирует деятельность мозга и вегетативной нервной системы [39, 41]. Поэтому частые и длительные стрессы постепенно «накапливаются» и могут вызывать проблемы, связанные со здоровьем. Можно допустить, что любая стрессовая ситуация вызывает изменения в гемодинамике и способствует рассогласованию межсистемного взаимодействия [43].

Недавние исследования на животных позволили установить важное значение кардиореспираторного сопряжения в патогенезе гипертонии. У здоровых людей, имеющих в анамнезе генетическую предрасположенность к гипертонии, изучение кардиореспираторного сопряжения выявило раннее нарушение межсистемных связей [52]. Напротив, кардиореспираторная синхронизация и расслабление человека в состоянии бодрствования являются показателями его здоровья. Если релаксация во время дневного отдыха близка к глубокой релаксации сна, то человек чувствует себя здоровым, у него лучше психическое самочувствие и менее выражено депрессивное настроение [38].

Это допускает приспособление человека к условиям внешней среды через социальные и биологические механизмы адаптации. Но адаптивные процессы имеют свои особенности, которые проявляются в этнических, биохимических, генетических изменениях, позволяющих составить представление об экологическом портрете человека [1]. Адаптация представляет собой сложный процесс взаимодействия организма и внешней среды, приводящий к изменению структуры и функции тканей. Главным свойством организма являются его компенсаторно-приспособительные реакции, которые обеспечивают постоянство гомеостаза. Хотя в большинстве случаев способность организма противостоять воздействию окружающей среды и есть гомеостаз. Иными словами, гомеостаз — это способность организма к приспособлению к окру-

жающей его среде, дающая ему возможность быть независимым от нее в течение длительного времени. Гомеостаз — интегральный физиолого-биохимический показатель функционирования всех систем организма.

Морфофункциональным субстратом гомеостаза служат клетки, ткани, органы и системы органов целого организма, а также нервно-гуморальная система регуляции функций. Но все же высшим центром гомеостаза следует считать гипotalamus, который обеспечивает метаболический и температурный гомеостаз, поскольку терморегуляция — это своего рода эволюционная адаптация, которая рассматривается как стратегия выживания организма [46]. В этом отношении особенности локальных сетей гипotalамических ядер и принципы действия нейропептидов лежат в основе гомеостатической регуляции гипotalамусом не только гомеостаза, но и эндогенного времени организма [34].

Анализ данных исследований показал, что кардиореспираторная система задействована в синхронизированной динамике с очень специфическим времененным паттерном: колебания часто выходят из синхронности, но возвращаются в синхронное состояние очень быстро. Такая синхронность зависит от возраста и состояния здоровья. У здоровых лиц наблюдается большая кардиореспираторная синхронизация между ритмами дыхания и работой сердца, нежели у пациентов с ишемической болезнью сердца. Тем не менее есть случаи возникновения множественных коротких эпизодов десинхронизации независимо от возраста и наличия заболевания. Итак, можно сделать вывод, что короткая динамика десинхронизации может облегчить взаимную координацию сердечного и дыхательного ритмов, создавая прерывистые синхронные эпизоды. Это может способствовать адаптации кардиореспираторной системы к различным внешним и внутренним факторам. По всей вероятности, кардиореспираторная синхронизация — ведущий маркер изменений в контроле дыхания [36, 47].

Следовательно, в организме, представляющем собой единую гомеостатическую систему, в результате непрерывного нейрогуморального взаимодействия компонентов этой системы формируется их функциональная сопряженность, гарантирующая минимизацию энергетических затрат на приспособительные процессы. В том случае, если функциональный дефект выражен сильно и не может быть компенсирован на местном уровне перестройкой активности поврежденной структуры, тогда компенсаторная реакция приобретает генерализованный характер, охватывает многие системы организма на всех уровнях их организации.

Она начинается с осуществления срочных, а затем долговременных компенсаторных реакций, которые можно назвать адаптацией [24]. Для тренировки кардиореспираторной синхронизации в настоящее время используют диафрагмальное дыхание, медленные регулярные дыхательные упражнения, точечный массаж и адаптогены, с помощью которых можно нормализовать баланс вегетативной нервной системы, уменьшить негативные эмоции и в конечном счете повысить адаптивность организма [5, 44, 49, 55].

Поэтому изменения вегетативного статуса при респираторных и физических нагрузках распространяются на все вегетативные реакции и вегетативный тонус, реактивность и вегетативное обеспечение деятельности. Характерно и то, что активация симпато-адреналовой системы является целесообразным средством адаптации и оптимизации энергообмена. Можно полагать, что надежность функционирования физиологических систем и сохранение гомеостаза на постоянном уровне в ходе онтогенеза обеспечивается переходом от генерализации и высокой лабильной функциональной активности к специализации, экономизации и интеграции отдельных звеньев функциональных систем. Но можно допустить, что различного рода дезадаптивные проявления органически связаны с состоянием функциональных систем организма. И что особенно важно — в патогенезе дезадаптивных расстройств лежат нарушения соматовегетативных взаимосвязей в структурах ЦНС [6].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несомненно, гомеостаз и адаптация — это эволюционно сложившиеся процессы, направленные на обеспечение оптимальной жизнедеятельности животных и человека в среде обитания. По сути дела, это два взаимосвязанных и взаимозависимых процесса, в основе которых лежат соматовегетативные межсистемные связи, обусловливающие стабильность внутренней среды у многоклеточных организмов в онтогенезе. Основным механизмом поддержания такой стабильности служит модуляция импульсной активности соматических и вегетативных нервов при сохранении корково-подкорковой интеграции функций. Причем на всех этапах онтогенетического развития осуществляется нейрогуморальная регуляция компонентов гомеостаза и адаптации. Частным случаем соматовегетативного взаимодействия является кардиореспираторное сопряжение и асимметрия вегетативных показателей. Поэтому конкретным принципом деятельности функциональных систем организма представляется принцип асимметричного взаимодействия.

Но при значительных внешних воздействиях возникает дезадаптация, поломка структур гомеостаза и его нарушение. При этом происходит нарушение межсистемного взаимодействия, возникновение десинхронизации функций, нарушение центропериферической интеграции нервно-гуморальных процессов и, как следствие, развертывание компенсаторно-приспособительных реакций.

Понятно, что при повреждении любой функциональной системы и нарушении гомеостаза в организме активизируются компенсаторно-приспособительные механизмы и отмечается заметная перестройка предшествующих отношений между центром и периферией на основе корково-подкоркового взаимодействия, отражающего сопряжение соматических и вегетативных функций.

И в заключение можно отметить важность дальнейшей разработки идей Ю.П. Пушкарева о соматовегетативном взаимодействии в физиологических системах для установления истинных механизмов сопряжения функций организма при нормальной жизнедеятельности человека в постоянно меняющихся условиях внешней среды.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Конфликт интересов.** Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Источник финансирования.** Автор заявляет об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агаджанян Н.А., Коновалова Г.М., Ожева Р.Ш., Уракова Т.Ю. Воздействие внешних факторов на формирование адаптационных реакций организма человека // Новые технологии. 2010. Т. 2. С. 142–144.
2. Анохин П.К. Очерки по физиологии функциональных систем. Москва: Медицина, 2013. 447 с.
3. Артеменков А.А., Синельникова Е.В. Сопряжение дыхания и кровообращения как показатель компенсаторных возможностей организма // Материалы конференции молодых физиологов и биохимиков России «Биохимические и биофизические механизмы физиологических функций». Санкт-Петербург, 1995. С. 14.
4. Артеменков А.А., Герасимов А.П., Синельникова Е.В., Смирнов О.Н. Коэффициент билатеральной асимметрии в оценке эффективности межсистемного взаимодействия // Труды межведомственного научного совета по экспериментальной и прикладной физиологии. Развитие теории функциональных систем. Москва, 1999. 360 с.

5. Артеменков А.А. Комплексная программа оздоровления студентов с дезадаптивными расстройствами // Российский медицинский журнал. 2017. Т. 23, № 3. С. 142–147. DOI: 10.18821/0869-2106-2017-23-3-142-147
6. Артеменков А.А. Дезадаптивные нарушения у человека и их компенсация. Череповец: Изд-во ЧГУ, 2018. 141 с.
7. Билиоз Н.В., Баранов В.И., Боброва Ю.В., и др. Особенности межсистемной интеграции хемореактивности кардиореспираторной системы спортсменов в зависимости от уровня спортивной квалификации // Ульяновский медико-биологический журнал. 2018. № 3. С. 133–144. DOI: 10.23648/UMBJ.2018.31.17224
8. Ванюшин Ю.С., Хайрулин Р.Р., Елистратов Д.Е. Диагностика функционального состояния спортсменов по показателям кардиореспираторной системы // Вестник ЧГПУ им. И.Я. Яковлева. 2017. № 1. С. 12–17.
9. Горизонтов П.Д. Гомеостаз. Москва: Медицина, 1976. 576 с.
10. Гречишко С.С., Шаханова А.В., Даутов Ю.Ю. Взаимосвязь показателей вариабельности ритма сердца и внешнего дыхания у спортсменов с различной направленностью тренировочного процесса // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. 2012. № 1. С. 98–107.
11. Донина Ж.А. Межсистемные взаимоотношения дыхания и кровообращения // Физиология человека. 2011. Т. 37, № 2. С. 117–128.
12. Заболотских А.И., Заболотских Н.В. Влияние пробы сердечно-дыхательного синхронизма на основные параметры центральной гемодинамики // Кубанский научный медицинский вестник. 2014. № 5. С. 52–55. DOI: 10.25207/1608-6228-2014-5-52-55
13. Ивонин А.А., Цицерошин М.Н., Куценко Д.О., и др. Особенности нарушений процессов межкорковой и корково-подкорковой интеграции при различных клинических проявлениях невротической депрессии // Физиология человека. 2008. Т. 34, № 6. С. 10–22.
14. Казаков В.Н. Гомеостаз. Сообщение 2. Организм и управление функциями // Архив клинической и экспериментальной медицины. 2018. Т. 27, № 1. С. 91–98.
15. Маслов Ю.С. Гомеостаз — основное свойство живых организмов // Медицина XXI век. 2007. № 6. С. 74–81.
16. Меерсон Ф.З. Защитные эффекты адаптации и некоторые перспективы развития адаптационной медицины // Успехи физиологических наук. 1991. Т. 22, № 2. С. 52–89.
17. Минина Е.Н., Богач И.Н., Файнзильберг Л.С. Новые подходы к оценке кардиореспираторного сопряжения // Проблемы современной науки и образования. 2015. № 11. С. 70–75.
18. Минина Е.Н., Ластовецкий А.Г. Экспресс-оценка риска нарушения сердечной деятельности у обучающихся с использованием фазометрии ЭКГ сигнала // Вестник новых медицинских технологий. 2018. Т. 25, № 2. С. 76–83. DOI: 10.24411/1609-2163-2018-16054
19. Мошонкина Т.Р., Миняева А.В., Лобов Г.И., Герасименко Ю.П. Сомато-висцеральные взаимодействия при неинвазивной стимуляции спинного мозга // Материалы XXIII съезда физиологического общества им. И.П. Павлова с международным участием. Воронеж: Издательство ИСТОКИ, 2017. С. 1597–1599.
20. Наточин Ю.В. Гомеостаз. Успехи физиологических наук. 2017. Т. 48, № 4. С. 3–15.
21. Новосельцев В.Н. Здоровье организма и гомеостаз // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2011. № 10. С. 119–122.
22. Потягайло Е.Г., Покровский В.М. Сердечно-дыхательный синхронизм в оценке функционального состояния и регуляторно-адаптационных возможностей организма у детей // Физиология человека. 2003. Т. 29, № 1. С. 59.
23. Путров С.Ю. О гомеостазе биологического организма человека как наиболее желательном режиме функционирования системы // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2015. № 1. С. 261–264.
24. Пушкарев Ю.П., Артеменков А.А., Герасимов А.П., и др. Компенсаторно-адаптационные возможности организма взрослых и детей // Тезисы докладов Международ. науч. – практ. конф. «Гигиена экология и репродуктивное здоровье подростков»; Санкт-Петербург; 17–18 мая 1999 г. / под ред. Ю.А. Гуркина. Санкт-Петербург: СПбГПМА, 1999. С. 10–11.
25. Пушкарев Ю.П., Артеменков А.А., Герасимов А.П., Синельникова Е.В. Становление системных механизмов адаптации в онтогенезе // Материалы симпозиума с международным участием «Оптимизация сердца и мозга немедикоментозными методами». Тамбов: ТГУ, 2000. С. 102–104.
26. Пушкарев Ю.П. Динамика соматовегетативного взаимодействия в онтогенезе животных и человека // Педиатр. 2014. Т. 5, № 1. С. 103–106.
27. Сизонов В.А., Дмитриева Л.Е., Кузнецов С.В. Сомато-висцеральные межсистемные взаимодействия у новорожденных крысят на фоне депрессии моторной активности // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. 2015. Т. 51, № 4. С. 290–298.
28. Судаков К.В. К теории о единстве материального и идеального в деятельности человека // Человек. 2011. № 1. С. 70–75.
29. Судаков К.В., Джебраилова Т.Д., Коробейникова И.И. Геометрические образы когерентных взаимоотношений альфа-ритма электроэнцефалограммы в динамике системной результативной деятельности

- человека // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2011. Т. 97, № 6. С. 580–589.
30. Судаков К.В. Голографическое построение интегративной деятельности головного мозга // Известия РАН. 2012. № 1. С. 61–71.
31. Ткаченко Д.С., Чуб И.С. Влияние физической нагрузки на тонус сосудов головного мозга у студентов // Международный студенческий научный вестник. 2016. № 6. С. 121.
32. Устьянцева О.Ю. Особенности реакции центральной гемодинамики у пожилых людей с разным уровнем физической тренированности на кратковременную физическую нагрузку с высокой проприоцептивной активацией // Аспирантский вестник Поволжья. 2014. Т. 14, № 5–6. С. 23–25.
33. Чернышева М.П., Ноздрачев А.Д. Нонапептид оксиотоцин: соматические и висцеральные функции при некоторых психопатологиях // Психофармакология и биологическая наркология. 2009. Т. 9, № 3–4. С. 2574–2590.
34. Чернышева М.П., Ноздрачев А.Д. Нейроэндокринный гипоталамус как гомеостат эндогенного времени // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. 2017. Т. 53, № 1. С. 3–15.
35. Шептикова Т.С., Шептиков С.А. Способ ускоренного баланса кардиоритма после физических упражнений // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгавта. 2016. № 4. С. 311–315. DOI: 10.5930/issn.1994-4683.2016.04.134.p311-315
36. Ahn S., Solfest J., Rubchinsky L.L. Fine temporal structure of cardiorespiratory synchronization // Am J Physiol Heart Circ Physiol. 2014. Vol. 306, No. 5. P. 755–763. DOI: 10.1152/ajpheart.00314.2013
37. Ben-Tal A. Computational models for the study of heart-lung interactions in mammals // Wiley Interdiscip Rev Syst Biol Med. 2012. Vol. 4, No. 2. P. 163–170. DOI: 10.1002/wsbm.167
38. Bonin von D., Grote V., Buri C., et al. Adaption of cardio-respiratory balance during day-rest compared to deep sleep – an indicator for quality of life? // Psychiatry Res. 2014. Vol. 219, No. 3. P. 638–644.
39. Chang C.H., Lo P.C. Effects of long-term dharma-chan meditation on cardiorespiratory synchronization and heart rate variability behavior // Rejuvenation Res. 2013. Vol. 16, No. 2. P. 115–123. DOI: 10.1089/rej.2012.1363
40. Clark M.T., Rusin C.G., Hudson J.L., et al. Breath-by-breath analysis of cardiorespiratory interaction for quantifying developmental maturity in premature infants // J Appl Physiol (1985). 2012. Vol. 112, No. 5. P. 859–867.
41. Jerath R., Harden K., Crawford M., et al. Role of cardiorespiratory synchronization and sleep physiology: effects on membrane potential in the restorative functions of sleep // Sleep Med. 2014. Vol. 15, No. 3. P. 279–288. DOI: 10.1016/j.sleep.2013.10.017
42. Jerath R., Barnes V.A., Crawford M.W. Mind-body response and neurophysiological changes during stress and meditation: central role of homeostasis // J Biol Regul Homeost Agents. 2014. Vol. 28, No. 4. P. 545–554.
43. Koshova S.P., Krut A.H. Characteristics of stress resistance and adaptive potential in the training of doctors in the system of postgraduate education // Wiad Lek. 2018. Vol. 71, No. 7. P. 1379–1384.
44. Lin I.M. Effects of a cardiorespiratory synchronization training mobile application on heart rate variability and electroencephalography in healthy adults // Int J Psychophysiol. 2018. Vol. 134. P. 168–177. DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2018.09.005
45. Marakushin D., Chernobay L., Vasylieva O., Karmazina I. Intersystem integration in terms of the educational process in the initial courses of higher medical school // Georgian Med News. 2016. No. 256–257. P. 88–92.
46. Marino F.E. The influence of thermal inputs on brain regulation of exercise: An evolutionary perspective // Prog Brain Res. 2018. Vol. 240. P. 269–289. DOI: 10.1016/bs.pbr.2018.07.005
47. Nguyen C.D., Dakin C., Yuill M., et al. The effect of sigh on cardiorespiratory synchronization in healthy sleeping infants // Sleep. 2012. Vol. 35, No. 12. P. 1643–1650. DOI: 10.5665/sleep.2236
48. Nose H., Kamijo Y.I., Masuki S. Interactions between body fluid homeostasis and thermoregulation in humans // Handb Clin Neurol. 2018. Vol. 156. P. 417–429. DOI: 10.1016/B978-0-444-63912-7.00025-4
49. Panossian A., Seo E.J., Efferth T. Novel molecular mechanisms for the adaptogenic effects of herbal extracts on isolated brain cells using systems biology // Phytomedicine. 2018. Vol. 50. P. 257–284. DOI: 10.1016/j.phymed.2018.09.204
50. Uryga A., Placek M.M., Wachel P., et al. Phase shift between respiratory oscillations in cerebral blood flow velocity and arterial blood pressure // Physiol Meas. 2017. Vol. 38, No. 2. P. 310–324. DOI: 10.1088/1361-6579/38/2/310
51. Valenza G., Lanatà A., Scilingo E.P. Oscillations of heart rate and respiration synchronize during affective visual stimulation // IEEE Trans Inf Technol Biomed. 2012. Vol. 16, No. 4. P. 683–690. DOI: 10.1109/TITB.2012.2197632
52. Xie L., Li M., Dang S., et al. Impaired cardiorespiratory coupling in young normotensives with a family history of hypertension // J Hypertens. 2018. Vol. 36, No. 11. P. 2157–2167. DOI: 10.1097/HJH.0000000000001795
53. Zhang J., Yu X., Xie D. Effects of mental tasks on the cardiorespiratory synchronization // Respir Physiol Neurobiol. 2010. Vol. 170, No. 1. P. 91–95. DOI: 10.1016/j.resp.2009.11.003

54. Zhang Q., Patwardhan A.R., Knapp C.F., Evans J.M. Cardiovascular and cardiorespiratory phase synchronization in normovolemic and hypovolemic humans // *Eur J Appl Physiol.* 2015. Vol. 115, No. 2. P. 417–427. DOI: 10.1007/s00421-014-3017-4
55. Zhang Z., Wang B., Wu H., et al. Effects of slow and regular breathing exercise on cardiopulmonary coupling and blood pressure // *Med Biol Eng Comput.* 2017. Vol. 55, No. 2. P. 327–341. DOI: 10.1007/s11517-016-1517-6
- REFERENCES**
- Agadzhanyan NA, Konovalova GM, Ozheva RSh, Urakova TJu. Vozdejstvie vnesnih faktorov na formirovanie adaptacionnyh reakcij organizma cheloveka. *Novye tehnologii.* 2010;(2):142–144. (In Russ.)
  - Anohin PK. Ocherki po fiziologii funkcional'nyh sistem. Moscow: Medicina; 2013. 447 p. (In Russ.)
  - Artemenkov AA, Sinel'nikova EV. Soprjazhenie dyhanija i krovoobrashchenija kak pokazatel' kompensatornyh vozmozhnostej organizma In: Biohimicheskie i biofizicheskie mehanizmy fiziologicheskikh funkciy. Saint Petersburg, 1995. P. 14. (In Russ.)
  - Artemenkov AA, Gerasimov AP, Sinel'nikova EV, Smirnov ON. Kojefficient bilateral'noj asimetrii v oценке jeffektivnosti mezhsistemnogo vzaimodejstvija. In: Trudy mezhvedomstvennogo nauchnogo soveta po jeksperimental'noj i prikladnoj fiziologii. Razvitie teorii funkcional'nyh sistem. Moscow: 1999. 360 p. (In Russ.)
  - Artemenkov AA. The complex program of health improvement in students with deadaptation disorders. *Russian Medical Journal.* 2017;23(3):142–147. (In Russ.) DOI: 10.18821/0869-2106-2017-23-3-142-147
  - Artemenkov AA. Dezadaptivnye narushenija u cheloveka i ih kompensacija. Cherepovec: ChGU; 2018. 141 p. (In Russ.)
  - Bilioz NV, Baranov VI, Bobrova YuV, et al. Inter-system integration and chemoresponsiveness of cardiorespiratory system in athletes according to their sports qualification. *Ul'janovskij mediko-biologicheskij zhurnal.* 2018;(3):140–152. (In Russ.) DOI: 10.23648/UMBJ.2018.31.17224
  - Vanjushin YuS, Hajrulin RR, Elistratov DE. Diagnostics of the functional state of athletes according to the indicators of the cardiorespiratory system. *Vestnik ChGPU Ila Jakovleva.* 2017;(1):12–17. (In Russ.)
  - Gorizontov PD. Gomeostaz. Moscow: Medicina; 1976. 576 p. (In Russ.)
  - Grechishkina SS, Shahanova AV, Dautov YuYu. The relationship of indicators of heart rate variability and external respiration of athletes with different orientation of the training process. *Vestnik Adygejskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija 4: Estestvenno-matematicheskie i tehnicheskie nauki.* 2012;(1):98–107. (In Russ.)
  - Donina ZhA. Mezsistemnye vzaimootnoshenija dyhanija i krovoobrashchenija. *Fiziologija cheloveka.* 2011;37(2):117–128. (In Russ.)
  - Zabolotskikh AI, Zabolotskikh NV. Influence of the test of cardiorespiratory synchronism on the main parameters of central hemodynamics. *Kuban Scientific Medical Bulletin.* 2014;(5):52–55. (In Russ.) DOI: 10.25207/1608-6228-2014-5-52-55
  - Ivonin AA, Ciceroshin MN, Kucenko DO, et al. Characteristics of disturbances of intercortical and cortical-subcortical integration in various clinical forms of neurotic depression. *Fiziologija cheloveka.* 2008;34(6):10–22. (In Russ.)
  - Kazakov VN. Gomeostaz. Soobshhenie 2. Homeostasis. Report 2. The organism and functions control necrologue in memory of Victor Yuryevich Nnikolenko guidelines for authors. *Archives of clinical and experimental medicine.* 2018;27(1):91–98. (In Russ.)
  - Maslov YuS. Homeostasis is the main property of living organisms. *Medicina XXI vek.* 2007;(6):74–81. (In Russ.)
  - Meerson FZ. Zashhitnye jeffekty adaptacii i nekotorye perspektivy razvitiya adaptacionnoj mediciny. *Uspehi Fiziologicheskikh Nauk.* 1991;22(2):52–89. (In Russ.)
  - Minina EN, Bogach IN, Fajnzil'berg LS. Novye podhody k oценке kardiorespiratornogo soprjazhenija. *Problemy sovremennoj nauki i obrazovanija.* 2015;11(41):70–75. (In Russ.)
  - Minina EN, Lastoveckij AG. Expresses assessment of the risk heart disorders in the students using the phasometry of the ecg signal. *Journal of New Medical Technologies.* 2018;25(2):76–83. (In Russ.) DOI: 10.24411/1609-2163-2018-16054
  - Moshonkina TR, Minjaeva AV, Lobov GI, Gerasimenko YuP. Somato-viscerale vzaimodejstvija pri neinvazivnoj stimuljaciji spinnogo mozga. In: Materialy XXIII s"ezda fiziologicheskogo obshhestva im. IP. Pavlova s mezhdunarodnym uchastiem. Voronezh: Izd. ISTOKI; 2017. P. 1597–1599. (In Russ.)
  - Natochin YuV. Homeostasis. *Progress in Physiological Science.* 2017;48(4):3–15. (In Russ.)
  - Novosel'cev VN. Zdorov'e organizma i gomeostaz. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij.* 2011;10(1):119–122. (In Russ.)
  - Potjagajlo EG, Pokrovskij VM. Cardiorespiratory synchronism in assessing the functional state and regulatory and adaptive capabilities of the body in children. *Fiziologija cheloveka.* 2003;29(1):59–63. (In Russ.)
  - Putrov SYu. O gomeostaze biologicheskogo organizma cheloveka kak naibolee zhelatel'nom rezhime funkcionirovaniya sistemy. *Aktual'nye problemy gumanitarnyh i estestvennyh nauk.* 2015;(1):261–264. (In Russ.)

24. Pushkarev YuP, Artemenkov AA, Gerasimov AP, et al. Kompensatorno-adaptacionnye vozmozhnosti organizma vzyroslyh i detej. Proceedings of the International scientific and practical conference "Gigiena jekologija i reproduktivnoe zdorov'e podrostkov"; 1999 may 17–18; Saint Petersburg. SPbGPMA; 1999. P. 10–11. (In Russ.)
25. Pushkarev YuP, Artemenkov AA, Gerasimov AP, Sinel'nokova EV. Stanovlenie sistemnyh mehanizmov adaptacii v ontogeneze. In: Optimizacija serdca i mozga nemedikomentoznymi metodami: materialy simpoziuma s mezhdunarodnym uchastiem. Tambov: TGU; 2000. P. 102–104. (In Russ.)
26. Pushkarev YuP. Dynamics of somato-vegetative interaction in the ontogenesis of animals and humans. *Pediatr.* 2014;5(1):103–106. (In Russ.)
27. Sizonov VA, Dmitrieva LE, Kuznecov SV. Somato-visceral intersystem interactions in newborn rat pups against the background of depression of motor activity. *Zhurnal jevoljucionnoj biohimii i fiziologii.* 2015;51(4):290–298. (In Russ.)
28. Sudakov KV. Towards the theory of the unity of the material and the ideal in human activity. *Human Being.* 2011;1:70–75. (In Russ.)
29. Sudakov KV, Dzhebrailova TD, Korobejnikova II. Geometric images of coherent relationships of the alpha rhythm of the electroencephalogram in the dynamics of the systemic productive activity of a person. *Russian Journal of Physiology.* 2011;97(6):580–589. (In Russ.)
30. Sudakov KV. Holographic construction of integrative activity of the brain. *Russian Academy of Sciences. Biological Series.* 2012;1:61–71. (In Russ.)
31. Tkachenko DS, Chub IS. The influence of physical activity on the tone of the cerebral vessels in students. *Mezhdunarodnyj studencheskij nauchnyj vestnik.* 2016;6:121. (In Russ.)
32. Ust'janceva OJu. Peculiarities of reaction of central hemodynamics in elderly people with different level of physical fitness on short-term physical exertion with high proprioceptive activation. *Aspiranskij vestnik povolzh'ja.* 2014;14(5–6):23–25. (In Russ.)
33. Chernysheva MP, Nozdrachev AD. Nonapeptide oxytocin: somatic and visceral functions in some psychopathologies. *Psycho-Pharmacology Biological Narcology.* 2009;9(3–4):2574–2590. (In Russ.)
34. Chernysheva MP, Nozdrachev AD. Neuroendocrine hypothalamus as a homeostat of endogenous time. *Zhurnal jevoljucionnoj biohimii i fiziologii.* 2017;53(1):3–15. (In Russ.)
35. Sheptikina TS, Sheptikin SA. Method for accelerated heart rate balance after exercise. *Uchenye zapiski universiteta imeni PF Lesgafta.* 2016;4:311–315. (In Russ.) DOI: 10.5930/issn.1994-4683.2016.04.134.p311-315
36. Ahn S, Solfest J, Rubchinsky LL. Fine temporal structure of cardiorespiratory synchronization. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2014;306(5):755–763. DOI: 10.1152/ajpheart.00314.2013
37. Ben-Tal A. Computational models for the study of heart-lung interactions in mammals. *Wiley Interdiscip Rev Syst Biol Med.* 2012;4(2):163–170. DOI: 10.1002/wsbm.167
38. Bonin von D, Grote V, Buri C, et al. Adaption of cardio-respiratory balance during day-rest compared to deep sleep – an indicator for quality of life? *Psychiatry Res.* 2014;219(3):638–644. DOI: 10.1016/j.psychres.2014.06.004
39. Chang CH, Lo PC. Effects of long-term dharma Chan meditation on cardiorespiratory synchronization and heart rate variability behavior. *Rejuvenation Res.* 2013;16(2):115–123. DOI: 10.1089/rej.2012.1363
40. Clark MT, Rusin CG, Hudson JL, et al. Breath-by-breath analysis of cardiorespiratory interaction for quantifying developmental maturity in premature infants. *J Appl Physiol (1985).* 2012;112(5):859–867. DOI: 10.1152/japplphysiol.01152.2011
41. Jerath R, Harden K, Crawford M, et al. Role of cardiorespiratory synchronization and sleep physiology: effects on membrane potential in the restorative functions of sleep. *Sleep Med.* 2014;15(3):279–288. DOI: 10.1016/j.sleep.2013.10.017
42. Jerath R, Barnes VA, Crawford MW. Mind-body response and neurophysiological changes during stress and meditation: central role of homeostasis. *J Biol Regul Homeost Agents.* 2014;28(4):545–554.
43. Kosheva SP, Krut AH. Characteristics of stress resistance and adaptive potential in the training of doctors in the system of postgraduate education. *Wiad Lek.* 2018;71(7):1379–1384.
44. Lin IM. Effects of a cardiorespiratory synchronization training mobile application on heart rate variability and electroencephalography in healthy adults. *Int J Psychophysiol.* 2018;134:168–177. DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2018.09.005
45. Marakushin D, Chernobay L, Vasylieva O, Karmazina I. Intersystem integration in terms of the educational process in the initial courses of higher medical school. *Georgian Med News.* 2016;256–257: 88–92.
46. Marino FE. The influence of thermal inputs on brain regulation of exercise: An evolutionary perspective. *Prog Brain Res.* 2018;240:269–289. DOI: 10.1016/bs.pbr.2018.07.005
47. Nguyen CD, Dakin C, Yuill M, et al. The effect of sigh on cardiorespiratory synchronization in healthy sleeping infants. *Sleep.* 2012;35(12):1643–1650. DOI: 10.5665/sleep.2236

48. Nose H, Kamijo YI, Masuki S. Interactions between body fluid homeostasis and thermoregulation in humans. *Handb Clin Neurol.* 2018;156:417–429. DOI: 10.1016/B978-0-444-63912-7.00025-4
49. Panossian A, Seo EJ, Efferth T. Novel molecular mechanisms for the adaptogenic effects of herbal extracts on isolated brain cells using systems biolo. *Phytomedicine.* 2018;50:257–284. DOI: 10.1016/j.phymed.2018.09.204
50. Uryga A, Placek MM, Wachel P, et al. Phase shift between respiratory oscillations in cerebral blood flow velocity and arterial blood pressure. *Physiol Meas.* 2017;38(2):310–324. DOI: 10.1088/1361-6579/38/2/310
51. Valenza G, Lanatà A, Scilingo EP. Oscillations of heart rate and respiration synchronize during affective visual stimulation. *IEEE Trans Inf Technol Biomed.* 2012;16(4): 683–690. DOI: 10.1109/TITB.2012.2197632
52. Xie L, Li M, Dang S, et al. Impaired cardiorespiratory coupling in young normotensives with a family history of hypertension. *J Hypertens.* 2018;36(11): 2157–2167. DOI: 10.1097/JHH.0000000000001795
53. Zhang J, Yu X, Xie D. Effects of mental tasks on the cardiorespiratory synchronization. *Respir Physiol Neurobiol.* 2010;170(1):91–95. DOI: 10.1016/j.resp.2009.11.003
54. Zhang Q, Patwardhan AR, Knapp CF, Evans JM. Cardiovascular and cardiorespiratory phase synchronization in normovolemic and hypovolemic humans. *Eur J Appl Physiol.* 2015;115(2):417–427. DOI: 10.1007/s00421-014-3017-4
55. Zhang Z, Wang B, Wu H, et al. Effects of slow and regular breathing exercise on cardiopulmonary coupling and blood pressure. *Med Biol Eng Comput.* 2017;55(2): 327–341. DOI: 10.1007/s11517-016-1517-6

◆ Информация об авторе

Алексей Александрович Артеменков – канд. биол. наук, доцент, заведующий кафедрой теоретических основ физической культуры, спорта и здоровья. Череповецкий государственный университет, Череповец, Россия. E-mail: basis@live.ru.

◆ Information about the author

Alexey A. Artemenkov – MD, Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Head, Theoretical Foundations of Physical Culture, Sports and Health. Cherepovets State University, Cherepovets, Russia. E-mail: basis@live.ru.