



内稳态与适应: 个体发育中躯体植物相互作用的病理生理方面的研究

© 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

这篇综述介绍了从Yuriy Petrovich Pushkarev教授的观点,关于血液循环和呼吸的躯体植物相互作用的信息。这些数据说明了内稳态和适应问题的复杂性和通用性,以及许多问题的未解决性质,这些问题对于理解身体内部环境的稳定性和建立规范的边界很重要。研究表明,在人体的神经体液系统中,各种功能系统的组成部分不断地相互作用,以保证呼吸和血液循环的接口,并形成系统间的连接。在动物和人类在出生后的个体发生的功能形成的一些方面被考虑。内稳态是指体内指标的内部平衡,但其值由于中心点与周缘的功能整合而不断变化。获得有用的适应结果的过程具有生理指标的不对称性,系统间的相互作用保证了适应环境条件下内稳态常数的平衡。随着超过阈值的环境影响和内稳态参数的改变,为了维持一定水平的稳定状态,会发生补偿性和适应性反应,通过系统间连接的形成,消除或限制有害因素的作用,优化身体与环境的相互作用。对某些疾病和应激影响下机体功能改变的病理生理机制进行了分析。在Y.P.Pushkarev的思想背景下,进一步研究躯体植物相互作用,将揭示动物和人体内功能同步的真正机制,从而理解其作为一个独立的自我调节系统的存在。

关键词: 个体发育; 躯体植物相互作用; 内稳态; 适应; 整合; 补偿。

The review presents information on the somatovegetative 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.

绪论

在生物体稳定存在的条件下,以及在补偿和适应过程的实施中,在出生后个体发生和系统间连接的躯体植物相互作用的概念是由Yuriy Petrovich Pushkarev教授发展的。Yuriy Petrovich Pushkarev是神经系统生理学领域的著名专家。他在动物和人类躯体和植物功能的神经调节机制研究方面做出了重要贡献。他详细研究了脊髓突触和自主神经节中介体转化的定量特征。在动物实验中,已经证明在低血糖和糖尿病的条件下,节前神经元的突触前末端的功能和向突触间隙释放介质的强度受到损害。实验证实,交感神经高度紧张症是动脉高血压发生发展的主要原因。阐明了外周自主神经节在脏器器官自主调节中的作用。这些重要的研究为自主神经形成调节呼吸功能的研究奠定了基础。在未来,Pushkarev是第一个开发出一种全面评估不同年龄儿童和动物的躯体内脏不对称和营养状况的方法的人。躯体和营养不对称之间的密切关系显示,侧化结构参与调节的心脏呼吸系统在个体发生被揭示。这些结果为其追随者进一步研究脏器器官营养调节机制奠定了基础。因此,Pushkarev的学生正在全面研究动物和人类功能系统的系统间(躯体植物)相互作用。

事实上,人与动物体内稳态的稳定性和功能的可靠性在很大程度上是由躯体植物相互作用来保证的,其中一个特殊情况是心肺耦合。心肺耦合表现在调节许多自主神经和体细胞神经的冲动活动,在此基础上,身体长期保持内部环境的稳定性和最佳适应。

内稳态和适应是生物在多细胞生物进化过程中形成的主要特性。适应和内稳态平衡之间的生物学联系在于建立和维持内环境平衡,即生物体可以生存于不断变化的外部环境中。尽管对身体内部环境的稳定性进行了如此长的研究,但内稳态和适应问题至今仍与生理学有关,因为对“内稳态—适应—不适应—补偿”这一复杂的相互作用系统的理解仍不完全清晰。心肺交互在正常、病理和极端条件下的生理意义尚不清楚。对这一现象的不断研究,既有实验研究,也有理论研究,使用的数学模型是[37]。

Yu.V.Natochin指出《内稳态》概念的通用性,以及对一些最初的和关键的问题缺乏答案,而这些问题一直没有得到研究者的考虑[20]。例如:“为什么以及如何批准标准传感器?”,“标准是什么?为什么自然选择了系统配置的值?”这些问题以前没有被研究人员提出过,但它们对于理解生理学的一些关键问题很重要。作者指出,它们不仅涉及将各项指标达到一定标准的生理基础,而且涉及标准本身如何工作。这个问题也还没有得到解决。Yu.V.Natochin认为,当“内标”的价值发生变化时,也有必要关注身体的这些状态。在这种情况下,不需要改变生理过程的方向,而是要努力恢复“标准”,找出其异常的机制,最终促进异常参数回归到规范的边界。

需要注意的是,一方面,我们通常认为适应是体内稳态的一种表现。事实上,在进化发展过程中产生的内部环境的稳定状态(内稳态)使身体能够适应环境。在这种情况下,机体的适应是由

维持稳定水平的生理生化参数的稳态过程和反应所决定的。换句话说，最佳适应是机体在特定条件下正常生活所必需的反应系统。也就是说，我们可以很有把握地说，身体的任何一种适应都是以内环境平衡为基础的。此外，内稳态的机制可以是极其多样的，旨在消除有害影响，寻求不平衡的一个或另一个指标，使其超越规范。

然而，只有完整的生物体才能适应，而不是单个细胞或器官（尽管经过长期的适应，变化发生在细胞和亚细胞水平）。因此，适应不仅受制于内稳态法则。然而，生物在适应过程中获得的结构和功能特性（系统结构痕迹）创造了保护性的适应效应，而结构的适应性稳定，表现为身体组织抵抗各种环境因素的增加，为进一步发展和改进提供了机会[16]。

身体的内部环境只是它的一小部分。从这个观点来看，适应不能是内稳态的标志。但有一点是显而易见的，适应总是旨在找到系统中最稳定的状态，使身体的指标保持在生理规范的状态，尽管存在的条件发生了变化。改变环境条件最常导致身体的不适应，包括旨在消除一个新的反应水平和恢复紊乱的内环境平衡的代偿反应[15]。但是，内稳态并不是简单的身体物理化学特性的稳定。这是一种特殊的稳定性，其特征是在《规范》条件下不断变化的过程的稳定性。在这种情况下，内稳态的生物学特征不仅由适应过程的持续时间决定，而且由适应过程的意义决定。提供内稳态的反应可以旨在维持稳态水平，协调复杂的过程，以消除或限制有害因

素的作用，在不断变化的生存条件中发展或保持有机体与环境之间相互作用的最佳形式。所有这些过程决定适应，而任何一种适应都是建立在内稳态的基础上[9]。

但为了揭示内稳态和适应的本质，有必要了解不仅存在于个体发生层面，而且存在于进化层面的所有复杂问题，因为生物体对各种因素的适应是通过自然选择发生的。在选择过程中，适者生存的生物具有更稳定的内稳态发生在人类和动物种群中。这就是为什么在进化发展的过程中，生物体，从最简单的到多细胞的，都形成了支持稳态的结构和机制。

本研究的目的是在从Pushkarev关于生后个体发生中躯体植物相互作用的科学观点和生理系统的可靠性的角度，总结关于维持内稳态平衡和适应机制的现有数据。

内稳态和适应成分的神经体液相互作用

P.K. Anokhin的功能系统是解释任何复杂程度的自适应过程的本质最公认的理论之一，包括调节和多参数交互的稳态水平的功能系统。根据这一理论，在内稳态水平的功能系统活动中，内部环境的一个指标的变化会立即影响其他相关功能系统活动的结果。内稳态建立在各种功能系统的多参数交互作用的基础上，而通过反向传入的自适应结果以信息全息图像的形式保留在动作结果的受体结构上[2, 30]。

然而, 大脑的高级部分参与了内稳态调节的过程。这项工作中获得的事实表明[53], 大脑皮层参与了, 例如, 在执行智力任务时心肺同步的变化。虽然系统间的相互作用从属于大脑皮层, 但应该说, 维持身体生命活动在恒定水平上的主要机制是生理功能的自我调节。它是在自然选择过程中直接形成的。生物在适应环境的过程中, 形成了各种生理性质的调节机制(神经体液和免疫机制)。这些机制旨在实现和维持机体内环境的相对动态稳定性。正是众多调节系统内和非系统相互作用的个体机制产生了相反的作用, 相互平衡, 导致了移动生理背景的建立, 并使身体保持相对的动态稳定性, 尽管环境的变化和变化发生在动物和人类的生命[14]。

对新生幼鼠的实验证实了这一点, 这让我们得出结论, 出生后立即躯体内脏系统间的相互作用主要是通过近分钟和多分钟范围的慢波振荡来实现的。同时, 十秒范围的节奏在整合过程中没有发挥重要作用。在这种情况下, 心肺交互作用, 在近分钟和多分钟范围内更明显的调节, 减少, 在十秒范围内轻微增加的调节[27]。另一方面, 在人类(新生儿)中, 心脏和肺之间的工作是通过脑干和自主神经系统的化学感觉通路进行的, 这导致心肺同步。在个体发生中这种持续的生理相互作用的变化可以用来决定早产儿的成熟度[40]。个体发生早期生理系统功能的可靠性是由它们在相对休息状态下的功能活动增加来保证的。生理系统活动发生显著质的变化的时期是6-7年。在9-10岁时, 随着中枢神经系统(CNS)和下丘脑-垂体轴对其他器官和系统的调节作用增加, 系

统组织的发展以个体系统要素的高度专业化和整合为特征[26]。

因此, 毫无疑问, 内稳态保持人体内部的平衡和功能的稳定。作为适应储备的内稳态反映了它的重要性。这使我们可以把内稳态看作是生物体在环境因素影响下适应环境的基础[23]。在功能和内稳态的激素调节器中, 应该指定催产素。催产素与功能上相互关联的介质、肽和类固醇激素参与了体生不同阶段的躯体内脏失调的形成机制[33]。即使在个体发育的后期(老年人), 躯体植物相互作用的中心机制的功能也被揭示出来[32]。毫无疑问, 心血管系统个体发生的异时发育和心肺耦合的低效导致了植物功能调节机制的不匹配。在这种情况下, 生命活动是在不稳定适应模式下进行的, 这体现在生长的机体疲劳增加, 对不良反应的抵抗力降低[17,18]。这些事实表明, 系统间的联系是机体抵抗应激因素和适应综合征影响的基础。心肺系统间整合的特点在于改变教育过程中大脑活动的指标。例如, 只有40%的学生在情绪紧张的条件下学习时形成适应结果, 60%的学生的适应能力不足, 导致身体的精神植物性紊乱[45]。如果心血管和呼吸系统的活动与重力(直立)和热应激不同步则是另一回事[48,54]。

在个体发育过程中, 可以清楚地看到适应性系统机制的形成。对人体内部环境参数进行定性和定量的适应性调整, 当一个人在休息和体力活动后成长和发展时, 其特点是在肌肉活动和个体发育后期的恢复期, 该系统具有更高的效率和成本效益。实验数据表明, 当

任何功能系统受到破坏,功能的平衡调节被破坏时,保护机制的动员就会呈现出明显的活力,在实现皮层-皮层下关系的基础上,中心与外周之间的关系发生了显著的重塑,反映了运动功能和营养功能的耦合。但共轭函数的最佳相互作用,显然有助于其元素的不对称性。很明显,机体某一功能系统发生的任何变化,都是机体与外界环境相互作用,形成系统内联系的结果。同时,这些变化的必要条件是相互作用的不对称和不平衡,这些不对称和不平衡在某种程度上破坏了内稳态。因此,生理系统中的非对称相互作用原理可以被认为是生理系统分析的一个具体原理[25]。

因此,可以假设,相互关联的功能的特点和它们之间联系的密切程度,是反映中枢神经系统在遗传上预定或形成的同步(调动)身体各功能系统能力的最重要的标准。

内稳态和心肺耦合

在出生后形态功能同步的所有阶段,都存在一个系统性的发育周期,即由遗传决定的主导功能机制的变化。人类生命的这些关键时期与实现内稳态的效应器之间的关系的深层重新安排有关,并在组织的《基本模块》层面上实现。此外,很明显,中枢神经系统的各种神经综能够参与系统活动的多个机制的实施,而不是一个。但是,中枢神经系统在实施系统过程的每个阶段的某个或另一个结构的参与程度是不同的,而且随着适应性技能的形成和巩固,在个体发生的过程中是非常不同的。因此,在动物和人类的个体发生中,躯体

系统和内脏系统之间存在着密切的相关性,它们依赖于功能系统个体成分的成熟程度。此外,在出生个体发育中,参与心肺系统调节的皮层-丘脑、茎和外周水平的侧方不对称结构也被注意到。可以确定的是,实现一个有用的适应性结果的过程的特征是不对称的生理指标,主要是心肺耦合—躯体内脏相互作用的主要标志。功能不对称系数的高值与适应过程的动员有关,而它的降低与实现一个有用的适应结果有关[4]。

此外,系统间整合的加强确保了对身体气体稳态的低氧和高碳酸血症干扰的化学反应的最佳性,并反映了运动员在高强度有氧负荷下心肺系统适应性设置的准确性[7]。从而证实了训练过程中不同方向的运动员心率变异性与外呼吸之间的关系。为发展速度和力量素质而训练的运动员,并没有像那些为耐力训练的运动员那样有效地改善心肺系统在休息时的节约机制[10]。另一方面,很明显,在身体活动中,心肺系统参数的变化主要发生在保证一个人执行运动动作的最积极的子系统中[8]。相反,在放松状态和慢睡眠时,心肺同步程度随着交感神经和副交感神经活动的相应贡献而增加[42]。

同时,在恢复心率变异性方面的自主神经系统参数的平衡,以确保高功能稳定性和稳态的正常化时,瞬时速度的重要性增加。事实证明运动对身体的有效作用是在运动后加速营养调节和体内平衡的正常化[35]。有证据表明,情感视觉刺激也会影响呼吸和心率的同步。甚至,有证据表明,在觉醒期间,而不是在中性状态时,有明显的心肺同步[51]。

因此,我们正在处理生命活动的各种条件、病理条件和极端条件下的呼吸和血液循环的相互作用。这证明了人体适应性变化的调节是由于生理系统的不断相互作用而进行的。呼吸系统和循环系统之间的相互关系决定了它们相互补偿的可能性:任何一个系统功能的异常都会引起另一个系统反应的补偿性放大。适应反应的最后阶段是维持氧稳态以确保必要的生理功能[11]。

一些作者认为,心肺同步和营养指标的不对称性足以有力地保证稳态参数的稳定性。研究发现,心肺同步性试验导致休克指数和心脏指数降低不足,外周血管总阻力增加。也就是说,在进行有体力活动的测试时,大脑血流动力学可能具有显著的不对称性[12,31]。在此,有必要注意呼吸波动、脑血流速度、动脉压量与脑血供自动调节之间可能存在的相移关系[50]。

所以,两侧功能不对称系数,不仅在静止状态下检测,而且通过计量功能测试、侧化温度、电和其他影响,可以视为非特异性准则。这反映了局部系统和皮层与内脏活动,并允许我们提供关于正常和病理条件下生命活动的新的定量信息。它也可以作为营养状态的一个额外特征,一个极端条件下病理结果严重程度的预后标准。

内稳态和函数的共轭补偿

在维持正常和病理条件下体内环境稳定的生命维持系统中,血液循环和呼吸传统上在生理和临床研究中是最重要的。在测量呼吸和肌肉负荷的条件下,

呼吸和血液循环的结合以模糊的形式表达,缺乏线性相关。这可能表明多变量参与和调节这些系统活动的机制的组合。这表明了这些系统活动的多变量参与和调节机制的组合。但在一些机制中,在体力和呼吸消耗、心理情绪压力、肌肉装置的本体感受影响被激活,包括呼吸肌、呼吸道受体,以及,最后,最强大的高碳酸和低氧效应[3]。

K.V.Sudakov指出,决定人类行为活动的功能系统中的信息,主要是由它们调节的内稳态指标与行为活动结果的比率。在系统和有效的人类活动中,揭示了脑电图 α 节律的相干连接的几何图像。这些图像在不同阶段动态变化,反映了行为结果的接受者的多层次组织[28,29]。

很明显,内稳态扩展到细胞内和细胞间环境、血液的许多参数,似乎是一条稳态曲线,在温血动物和人类中,它可以随着行为和生活方式的变化而波动。今天,人们相信健康是一种身体状态,在这种状态下,身体的资源有足够的的能力维持体内平衡,而在这种状态被破坏后又恢复到体内平衡。因此,人类健康状况准确地反映了机体的内稳态,即当外部环境发生变化时,机体保持内部环境相对稳定的能力[21]。通过无创的脊髓刺激,躯体内脏相互提供腹肌和浅表血流量的激活,对肺的自发通气有明显的影响,并增加下肢皮肤的灌注[19]。另一方面,我们看到在神经性抑郁症中存在着皮层间和皮层与皮层下整合过程的功能障碍。这导致了对大脑两个半球前后部分活动的有序互动的系统性组织的破坏[13]。但也可以说,一个人的心

肺同步取决于神经系统的类型、心理情绪应激和躯体病理。事实上，心肺同步的重要指标表征了成人和儿童身体的调节和适应能力[22]。根据这一事实，在压力和冥想期间的稳态反应伴随着躯体和自主神经形成活动的变化。同时，在副交感神经反应中发生的心肺同步调节了冥想时大脑和自主神经系统的活动[39,41]。因此，频繁和长期的压力会逐渐累积，并可能导致健康相关的问题。可以假设，任何应激状态都会引起血流动力学的变化，并导致系统间相互作用的失配[43]。

最近的动物研究证实了心肺耦合在高血压发病机制中的重要性。在有高血压遗传易感史的健康人中，心肺耦合的研究揭示了系统间连接的早期破坏[52]。相反，在清醒状态下心肺同步和放松是一个人健康的指标。如果白天休息时的放松接近睡眠时的深度放松，那么会感到健康，精神状态更好，抑郁情绪也不那么明显[38]。

这允许人通过社会和生物适应机制来适应环境条件。但适应过程有自己的特点，体现在种族、生化、基因的变化，让形成人的生态肖像的想法[1]。适应是机体与外界环境相互作用，导致组织结构和功能发生变化的复杂过程。机体的主要特性是机体的代偿性和适应性反应，这些反应保证了机体内环境的稳定。尽管在大多数情况下，身体抵抗环境影响的能力是内稳态。换句话说，内稳态是生物体适应环境的能力，使其有机会在很长一段时期内独立于环境。内稳态是人体所有系统功能的一个完整的生理生化指标。

内稳态的形态功能底物是整个机体的细胞、组织、器官和器官系统，以及调节功能的神经体液系统。尽管如此，下丘脑还是应该被认为是内稳态的最高中心，其提供了代谢和温度的体内平衡，由于体温调节是一种进化适应，被认为是生物体的生存策略[46]。在这方面，下丘脑核局部网络的特征和神经肽作用的原理，不仅是体内平衡的调节，而且是生物体的内源性时间的基础[34]。

这些研究的分析表明，心肺系统参与了一个非常特定的时间模式的同步动力学：波动经常不同步，但很快又回到同步状态。这种同步性取决于年龄和健康状况。与冠心病患者相比，健康人的呼吸节奏和心脏工作之间有更大的心肺同步。然而，无论年龄和疾病是否存在，也有多次短发作的不同步的病例。因此，我们可以得出结论，短动态去同步化可以促进心脏和呼吸节律的相互协调，创造间歇性同步发作。这有助于心肺系统适应各种外部和内部因素。心肺同步很可能是呼吸控制改变的主要标志[36,47]。

因此，在一个单一稳态系统的生物体中，由于该系统各组成部分的持续神经体液交互作用，形成了它们的功能共轭，这保证了适应过程的能量成本最小化。当功能缺陷明显且不能通过重组受损结构的活动在局部水平上得到补偿时，则补偿反应具有泛化性质，覆盖许多机体系统的各个组织层次（从实施紧急的，然后是长期的补偿反应开始，这可以被称为适应[24]）。为了训练心肺同步，目前使用横膈膜呼吸，缓慢的有规律的呼吸练习，穴位按压和适应原。

在其帮助下,有可能使自主神经系统的平衡正常化,减少消极情绪,最终提高身体的适应性[5,44,49,55]。

因此,在呼吸和体力消耗过程中,植物状态的变化延伸到所有的植物反应和植物张力,反应性和植物活动的维持。同时,激活交感神经与肾上腺系统是适应和优化能量交换的适当手段。可以假设生理系统功能的可靠性和在个体发生过程中保持恒定水平的稳态是由功能系统的个体环节从泛化和高不稳定的功能活动向专业化、经济化和一体化的转变来保证的。但可以认为,各种适应不良表现与机体功能系统的状态有有机联系。尤其重要的是,失调症的发病机制是基于中枢神经系统结构的躯体营养关系的异常[6]。

结论

稳态和适应是进化发展的过程,目的是确保动物和人类在栖息地的最佳生命活动。事实上,这是两个相互关联、相互依赖的过程。它们是基于躯体植物系统间的连接,其决定了多细胞生物在个体发生中的内部环境的稳定性。维持这种稳定性的主要机制是调节躯体神经和自主神经的冲动活动,同时维持皮层与皮层下的功能整合。此外,在个体发育的所有阶段,对内稳态和适应的组成部分进行神经体液调节。一种特殊的情况,躯体植物相互作用是心肺耦合和不对称的营养指标。因此,非对称相互作用的原则似乎是身体各功能系统活动的一个具体原则。

但在显著的外部影响下,会出现不适应、内稳态结构的破坏及其异常。

在这种情况下,出现系统间相互作用的破坏,功能的失同步,中枢和外周神经体液过程的整合异常,因此,会出现补偿性和适应性反应。

很明显,当任何功能系统受损和内稳态被破坏时,代偿和适应机制就会被激活。因此,在皮层与皮层下相互作用的基础上,中枢和外周之间的关系有了明显的重组,反映了躯体功能和营养功能的结合。

综上所述,Pushkarev关于生理系统中躯体植物相互作用的思想的进一步发展,对于建立在不断变化的环境条件下人类正常活动中身体功能的真正耦合机制具有重要意义。

附加信息

利益冲突。作者声明本篇文章的发表方面不存在明显或潜在的利益冲突。

资金来源。作者声称这项研究没有资金支持。

REFERENCES

1. Agadzhanjan NA, Konovalova GM, Ozheva RSh, Urakova TJu. Vozdejstvie vneshnih faktorov na formirovanie adaptacionnyh reakcij organizma cheloveka. *Novye tehnologii*. 2010;(2):142–144. (In Russ.)
2. Anohin PK. Ocherki po fiziologii funkcional'nyh sistem. Moscow: Medicina; 2013. 447 p. (In Russ.)
3. Artemenkov AA, Sinel'nikova EV. Sopryazhenie dyhanija i krovoobrashhenija kak pokazatel' kompensatornyh vozmozhnostej organizma In: *Biohimicheskie i biofizicheskie mehanizmy fiziologicheskij funkcij*. Saint Petersburg, 1995. P. 14. (In Russ.)
4. Artemenkov AA, Gerasimov AP, Sinel'nikova EV, Smirnov ON. Kojefficient bilateral'noj asimmetrii v ocenke jeffektivnosti mezhsistemnogo vzaimodejstvija. In: *Trudy mezhvedomstvennogo nauchnogo soveta po jeksperimental'noj i prikladnoj fiziolo-*

- gii. Razvitie teorii funkcional'nyh sistem. Moscow: 1999. 360 p. (In Russ.)
5. 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
6. Artemenkov AA. Dezadaptivnye narusheniya u cheloveka i ih kompensaciya. Cherepovec: ChGU; 2018. 141 p. (In Russ.)
7. 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
8. Vanjushin YuS, Hajruln RR, Elistratov DE. Diagnostics of the functional state of athletes according to the indicators of the cardiorespiratory system. *Vestnik ChGPU IJa Jakovleva*. 2017;(1):12–17. (In Russ.)
9. Gorizontov PD. Gomeostaz. Moscow: Medicina; 1976. 576 p. (In Russ.)
10. 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. Seriya 4: Estestvenno-matematicheskie i tehicheskie nauki*. 2012;(1): 98–107. (In Russ.)
11. Donina ZhA. Mezhsistemnye vzaimootnosheniya dyhaniya i krovoobrashheniya. *Fiziologija cheloveka*. 2011;37(2):117–128. (In Russ.)
12. Zabolotskih AI, Zabolotskih 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
13. 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.)
14. 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.)
15. Maslov YuS. Homeostasis is the main property of living organisms. *Medicina XXI vek*. 2007;(6):74–81. (In Russ.)
16. Meerson FZ. Zashhitnye jeffekty adaptacii i nekotorye perspektivy razvitiya adaptacionnoj mediciny. *Uspehi Fiziologicheskikh Nauk*. 1991;22(2):52–89. (In Russ.)
17. Minina EN, Bogach IN, Fajnzil'berg LS. Novye podhody k ocenke kardiorespiratornogo soprzazheniya. *Problemy sovremennoj nauki i obrazovaniya*. 2015;11(41):70–75. (In Russ.)
18. 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
19. Moshonkina TR, Minjaeva AV, Lobov GI, Gerasimenco YuP. Somato-visceral'nye vzaimodejstviya pri neinvazivnoj stimuljacii spinnogo mozga. In: Materialy XXIII s"ezda fiziologicheskogo obshhestva im. IP. Pavlova s mezhdunarodnym uchastiem. Voronezh: Izd. ISTOKI; 2017. P. 1597–1599. (In Russ.)
20. Natochin YuV. Homeostasis. *Progress in Physiological Science*. 2017;48(4):3–15. (In Russ.)
21. Novosel'cev VN. Zdorov'e organizma i gomeostaz. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij*. 2011;10(1):119–122. (In Russ.)
22. 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.)
23. Putrov SYu. O gomeostaze biologicheskogo organizma cheloveka kak naibolee zhelatel'nom rezhime funkcionirovaniya sistemy. *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk*. 2015;(1):261–264. (In Russ.)
24. Pushkarev YuP, Artemenkov AA, Gerasimov AP, et al. Kompensatorno-adaptacionnye vozmozhnosti organizma vzroslykh 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'nikova EV. Stanovlenie sistemnyh mehanizmov adaptacii v ontogeneze. In: Optimizacija serdca i mozga nemedikamentoznymi 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-cha 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. Koshova 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/HJH.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

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 гемореактивности 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. Гречишкина С.С., Шаханова А.В., Даутов Ю.Ю. Взаимосвязь показателей variability 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. Доница 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 немедицинскими 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 окситоцин: 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. Шептикина Т.С., Шептикин С.А. Способ ускоренного баланса кардиоритма после физических упражнений // Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта. 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

◆ 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.

◆ 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.