

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco630114>

Адаптивные реакции регуляции сердечного ритма на функциональные пробы с задержкой дыхания

Л.Е. Дерягина¹, С.В. Булатецкий²¹ Московский университет Министерства внутренних дел Российской Федерации им. В.Я. Кикотя, Москва, Россия;² Рязанский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова, Рязань, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Синхронизация биоритмов в живых организмах вызывает особый интерес исследователей с позиций теории адаптации.

Цель. Выявление особенностей реагирования регуляторных влияний на ритм сердца при пробах с произвольной задержкой дыхания на вдохе и на выдохе.

Материал и методы. В исследование методом случайного выбора включили 21 студента в возрасте $20,64 \pm 1,14$ года, массой тела $67,19 \pm 12,98$ кг, ростом $172,29 \pm 7,63$ см, из них 9 юношей и 12 девушек. Все исследуемые были поделены на 3 группы (I, II, III) по классификации Н.И. Шлык (2009), основанной на преобладании центрального или автономного контуров регуляции сердечного ритма. Проводили пятикратную последовательную регистрацию ЭКГ аппаратно-программным комплексом «Варикард 3.0» в положении испытуемого сидя после пятиминутного отдыха: 1 — исходное состояние; 2 — произвольная задержка дыхания на вдохе; 3 — состояние покоя; 4 — произвольная задержка дыхания на выдохе; 5 — состояние покоя. С использованием аппаратно-программного комплекса «Варикард 3.0» провели математический анализ ритма сердца, в котором учитывали статистические параметры ритма сердца, показатели спектрального частотного анализа.

Результаты. При анализе данных выявили, что в период задержки дыхания вариабельность ритма сердца снижалась, в состоянии покоя — повышалась во всех группах. При этом в группе I после пробы с задержкой дыхания в период покоя наблюдали зутонию по данным спектрального анализа ($HF=LF$). Данные статистического и временного анализа в этой группе демонстрировали повышение вклада парасимпатической составляющей в вариабельность ритма сердца (RMSSD, pNN50, SDNN, CV), создающее предпосылки для её усиления. В группе II после проб с задержкой дыхания наблюдалось некоторое снижение симпатической активности. В то же время отмечали напряжённый паттерн вегетативной регуляции во время пробы с задержкой дыхания на выдохе, что может указывать на сниженное функциональное состояние регуляторных систем. Для группы III было характерно резкое повышение симпатической активации в пробе с задержкой дыхания на вдохе с последующей мягкой коррекцией во время задержки дыхания на выдохе, что можно расценивать как адекватную реакцию организма на нагрузку. В состоянии покоя после проведённой пробы паттерн регуляции вернулся к исходному с умеренным преобладанием парасимпатической активности и, соответственно, с более благоприятным для организма уровнем вариабельности ритма сердца.

Заключение. Адаптивные реакции вариабельности ритма сердца проявляются повышением симпатической активации, в последующем, при обычном дыхании, сменяются компенсаторным включением парасимпатического отдела вегетативной нервной системы. Несмотря на однонаправленный характер, выраженность реакций различается в зависимости от группы принятого ранжирования.

Ключевые слова: вариабельность ритма сердца; гипоксия; гиперкапния; задержка дыхания; регуляторные системы.

Как цитировать:

Дерягина Л.Е., Булатецкий С.В. Адаптивные реакции регуляции сердечного ритма на функциональные пробы с задержкой дыхания // Экология человека. 2024. Т. 31, № 2. С. 135–147. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco630114>

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco630114>

Adaptive responses of heart rate regulation during functional tests with breath holding

Larisa E. Deryagina¹, Sergey V. Bulatetsky²

¹ Moscow University of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation named after V.Y. Kikot, Moscow, Russia;

² Ryazan State Medical University named after academician I.P. Pavlov, Ryazan, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Synchronization of biorhythms in living organisms is of particular interest to researchers from the standpoint of adaptation theory.

AIM: To study the characteristics of the response of regulatory influences on heart rhythm during tests with voluntary breath holding during inhalation and exhalation.

MATERIAL AND METHODS: The study sample included 21 randomly selected students (9 males, 12 females) aged 20.64 ± 1.14 years with body weight 67.19 ± 12.98 kg, height 172.29 ± 7.63 cm. All subjects were divided into three groups (I, II, III) according to the classification by N.I. Shlyk (2009), which is based on the predominance of central or autonomic circuits of heart rhythm regulation. A fivefold sequential ECG recording was conducted using the hardware-software complex "Varicard 3.0" with the subject seated after a five-minute rest: 1 — baseline state; 2 — voluntary breath holding during inhalation; 3 — resting state; 4 — voluntary breath holding during exhalation; 5 — resting state. Using the "Varicard 3.0" system, a mathematical analysis of heart rhythm was performed, taking into account statistical parameters of heart rhythm and indices of spectral frequency analysis.

RESULTS: During the period of breath holding, heart rate variability decreased, while at rest it increased in all groups. In group I, after a breath-hold test during the rest period, eutonia was observed according to spectral analysis ($HF=LF$). Statistical analysis in this group demonstrated an increase in the contribution of the parasympathetic component to heart rate variability (RMSSD, pNN50, SDNN, CV), signifying the prerequisites for increased heart rate variability. In group II, after breath-holding tests, a slight decrease in sympathetic activity was observed. A tense pattern of autonomic regulation was observed during the exhalation breath-hold test, which may indicate a reduced functional state of the regulatory systems. Group III was characterized by a sharp increase in sympathetic activation in the test with breath holding during inhalation, followed by a soft correction during breath holding during exhalation, which can be regarded as an adequate response of the body to the load. At rest, after the test, the regulation pattern returned to the original one with a moderate predominance of parasympathetic activity and, accordingly, a more favorable level of heart rate variability for the body.

CONCLUSION: Adaptive reactions of the heart rate variability are manifested by an increase in sympathetic activation, which, subsequently, during normal breathing, is replaced by a compensatory activation of the parasympathetic division of the autonomous nervous system. Although reactions are unidirectional, the severity can vary across the groups.

Keywords: heart rate variability; hypoxia; hypercapnia; breath holding; regulatory systems.

To cite this article:

Deryagina LE, Bulatetsky SV. Adaptive responses of heart rate regulation during functional tests with breath holding. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(2):135–147. DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco630114>

Received: 08.04.2024

Accepted: 15.07.2024

Published online: 10.09.2024

DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco630114>

心率调节对屏气功能测试的适应性反应

Larisa E. Deryagina¹, Sergey V. Bulatetsky²¹ Moscow University of the Ministry of Internal Affairs of the Russian Federation named after V.Y. Kikot, Moscow, Russia;² Ryazan State Medical University named after academician I.P. Pavlov, Ryazan, Russia

摘要

理由 从适应理论的角度来看, 研究人员对生物体内生物节律的同步性特别感兴趣。

研究目的 揭示在吸气和呼气时任意屏气的测试中心律调节影响的特殊反应。

材料和方法 随机选取 21 名学生作为研究对象, 年龄 (20.64 ± 1.14) 岁, 体重 (67.19 ± 12.98) 公斤, 身高 (172.29 ± 7.63) 厘米, 其中男性 9 名, 女性 12 名。按照 N. I. Shlyk (2009 年) 的分类法, 根据心律调节中枢回路或自主回路的主导地位, 将所有受试者分为 3 组 (I、II、III)。休息五分钟后, 在坐姿下使用硬件-软件复合机 “Varicard 3.0” 进行五次连续心电图登记: 1-初始状态; 2-吸气时自主屏气; 3-静息状态; 4-呼气时自主屏气; 5-静息状态。心律的数学分析使用硬件和软件复合体 “Varicard 3.0” 进行; 分析中考虑了心律的统计参数和频谱频率分析参数。

分析结果 在对数据进行分析时, 我们发现在憋气期间, 各组的心率变异性都有所下降, 而在静息状态下, 心率变异性都有所上升。与此同时, 根据频谱分析数据 ($HF=LF$), 第一组在憋气测试后的静息状态下出现了痰。该组的统计和时间分析数据表明, 副交感神经成分对心率变异性 (RMSSD、pNN50、SDNN、CV) 的贡献增加, 为其放大创造了先决条件。第二组在屏气测试后, 交感神经活动略有下降。同时, 在憋气呼气试验中观察到自律神经调节紧张的模式, 这可能表明调节系统的功能状态有所减弱。第三组的特点是在憋气测试中交感神经活动急剧增加, 随后在憋气测试中得到轻微纠正, 这可被视为机体对负荷的充分反应。测试结束后休息时, 调节模式又恢复到最初的模式, 副交感神经活动适度占优势, 相应地, 机体的心率变异性水平也更高。

结论 心率变异性的适应性反应表现为交感神经激活的增加, 随后在正常呼吸过程中被自律神经系统副交感神经部分的补偿性纳入所取代。尽管心率变异性具有单向性, 但反应的表现形式因所接受的等级组别而异。

关键词: 心率变异性; 缺氧; 高碳酸血症; 呼吸停止; 调节系统。

引用本文:

Deryagina LE, Bulatetsky SV. 心率调节对屏气功能测试的适应性反应. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2024;31(2):135–147.DOI: <https://doi.org/10.17816/humeco630114>

收到: 08.04.2024

接受: 15.07.2024

发布日期: 10.09.2024

ОБОСНОВАНИЕ

Исследование синхронизации биологических ритмов в живых организмах, жизнедеятельность которых обусловлена взаимодействием большого числа сложных ритмических процессов, в том числе с участием внешних пульсационных эффектов, вызывает особый интерес исследователей с позиций теории адаптации [1]. Взаимосвязь функциональных систем, осуществляющих кислород-транспортную функцию, синхронизация их деятельности используется биологическими объектами с целью оптимизации адаптационных механизмов в экстренных ситуациях, что позволяет организму настроить деятельность физиологических систем на приспособление к изменившимся условиям среды. Примером такого взаимодействия между различными физиологическими ритмами является функционирование сердечно-сосудистой системы человека как результирующий эффект регуляторных процессов. Наиболее значимым колебательным процессом, определяющим её динамику, является вариабельность сердечного ритма и дыхания [2, 3]. Разнообразие типов реагирования сердечно-сосудистой системы на различные средовые воздействия закономерно привлекает внимание исследователей, предпринимающих попытки систематизации и классификации типов реакций. Заслуживает внимания предложенная Н.И. Шлык [4] оценка функционального состояния регуляторных систем организма у здоровых людей по данным вариабельности сердечного ритма, в которой выделено 4 типа его регуляции.

Периодическая физиологическая гипоксия/гиперкапния развивается не только при интенсивной деятельности любой физиологической системы, но и в условиях относительного покоя, о чём свидетельствует постоянное наличие молочной кислоты в крови [5]. Периодические колебания напряжения кислорода и углекислого газа характерны для многих форм деятельности (трудовой, спортивной и др.), что, возможно, играет роль рефлекторного раздражителя и в зависимости от меры и скорости развития может вызывать как возбуждение, так и торможение нервных центров [6–8]. Принято считать, что гипоксический и гиперкапнический стимулы в процессах регуляции физиологических функций в определённых пределах усиливают друг друга [9]. Известно, что умеренная гипоксия стимулирует хеморецепторы каротидных зон и повышает симпатoadреналовые воздействия на сердце, что отражает модулирующее влияние вегетативной нервной системы на механизмы адаптации к гипоксии/гиперкапнии [10, 11]. В литературе известно много работ, посвящённых особенностям вариабельности ритма сердца в изменённой газовой среде [12, 13], у спортсменов [14–16] и т.д.

Цель исследования. Выявление особенностей реагирования регуляторных влияний на ритм сердца при пробах с произвольной задержкой дыхания на вдохе и на выдохе.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Методом случайного выбора в исследование включили 21 студента Рязанского ГМУ в возрасте $20,64 \pm 1,14$ года, массой тела $67,19 \pm 12,98$ кг, ростом $172,29 \pm 7,63$ см, из них 9 юношей и 12 девушек. Все участники дали информированное согласие на проведение исследования, на момент обследования все были практически здоровы, не имели хронических заболеваний. Исследование одобрено этическим комитетом РязГМУ, соответствовало этическим стандартам, разработанным в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками 2000 г. и «Правилами клинической практики в Российской Федерации», утверждёнными Приказом Минздрава России от 19.06.2003 г. № 266.

Проводили пятикратную последовательную регистрацию ЭКГ аппаратно-программным комплексом «Варикард 3.0» в положении испытуемого сидя после пятиминутного отдыха: 1 — исходное состояние; 2 — произвольная задержка дыхания на вдохе; 3 — состояние покоя; 4 — произвольная задержка дыхания на выдохе; 5 — состояние покоя. С использованием аппаратно-программного комплекса «Варикард 3.0» провели математический анализ ритма сердца, в анализе учитывали статистические параметры ритма сердца: HR, уд/мин — частота сердечных сокращений; Mean, мс — среднее значение всех R-R интервалов в выборке; SDNN, мс — среднее квадратичное отклонение всех R-R интервалов; CV, % — коэффициент вариации; RMSSD, мс — квадратный корень суммы разностей последовательных R-R интервалов; pNN50, % — процентная представленность эпизодов различия последовательных интервалов более чем на 50 мс; Mo, мс — мода, наиболее вероятный уровень функционирования сердечно-сосудистой системы; AMo50, %/50 м — амплитуда моды, условный показатель активности симпатического звена регуляции; SI — стресс-индекс, степень напряжения регуляторных систем; показатели спектрального частотного анализа: TP, мс² — суммарная мощность спектра; HF, % — относительная мощность высокочастотной составляющей спектра (дыхательные волны); LF, % — относительная мощность низкочастотной составляющей спектра; VLF, % — относительная мощность очень низкочастотной составляющей спектра; LF/HF — индекс вагосимпатического взаимодействия; VLF/HF — индекс соотношения VLF к HF; IC — индекс централизации, $IC = (HF + LF) / VLF$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведённый анализ полученных данных в целом по группе не выявил статистически значимых различий между этапами исследования. Следующим шагом был анализ различий в группах, ранжированных по полу.

Однако и эта попытка не увенчалась успехом. Следовательно, возникла необходимость поиска критерия, позволяющего выявить особенности реагирования ритма сердца на изменения функционального состояния. За основу ранжирования взяли оценку функционального состояния регуляторных систем организма у здоровых людей по данным variability сердечного ритма в исходном состоянии. Оценка преобладающего типа вегетативной регуляции проводили по показателям SI и VLF [4]. Умеренному преобладанию центральной регуляции (I тип) соответствовали значения SI >100 усл. ед., VLF >240 мс², выраженному преобладанию центральной регуляции (II тип) — SI >100 усл. ед., VLF <240 мс², уме-

ренному преобладанию автономной регуляции (III тип) — SI <70 усл. ед., VLF >240 мс², выраженному преобладанию автономной регуляции (IV тип) — SI <25 усл. ед., VLF >240 мс², TP >8000 мс². Было выделено 3 группы испытуемых: I тип — 7 человек (4 юноши и 3 девушки), II тип — 8 человек (4 юноши и 4 девушки), III тип — 6 человек (2 юноши и 4 девушки). Весь дальнейший анализ проводили исходя из данного ранжирования.

В группе с I типом результирующий эффект функционирования сердечно-сосудистой системы (HR) не имел статистически значимых различий между пробами, однако поддерживался различными механизмами. В исходном состоянии эта группа по всем статистическим

Таблица 1. Параметры variability сердечного ритма в зависимости от типа регуляции по Н.Н. Шлык, Me [Q₁; Q₃] — I тип (N=7)
Table 1. Characteristics of heart rate variability across types of regulation according to N.N. Shlyk, Me [Q₁; Q₃] — type I (N=7)

Параметры Parameters	Исходное состояние Initial state	Задержка дыхания на вдохе Breath hold on inspiration	Покой 2 Rest 2	Задержка дыхания на выдохе Breath hold on exhalation	Покой 3 Rest 3	p
	1	2	3	4	5	
Среднее значение всех R-R интервалов в выборке, мс Mean value of all R-R intervals in the sample, ms	756,80 (638,65; 888,83)	743,00 (619,92; 788,96)	742,32 (657,65; 877,11)	672,24 (645,13; 934,65)	772,61 (667,44; 907,19)	—
Частота сердечных сокращений, уд/мин Heart rate, bpm	79,28 (67,50; 93,94)	80,75 (76,05; 96,79)	80,83 (68,41; 91,23)	89,25 (64,19; 93,01)	77,66 (66,13; 89,89)	—
Квадратный корень суммы разностей последовательных R-R интервалов, мс Square root of the sum of the differences of consecutive R-R intervals, ms	26,91 (23,89; 43,34)	20,06 (18,79; 30,11)	31,81 (25,72; 43,56)	24,84 (17,65; 42,40)	34,23 (26,88; 43,22)	—
Представленность эпизодов различия последовательных интервалов более чем на 50 мс, % Representation of episodes of difference of consecutive intervals by more than 50 ms, %	6,57 (2,75; 19,26)	3,70 (1,39; 11,94)	11,65 (4,99; 21,55)	6,06 (0,00; 9,62)	10,64 (3,32; 19,27)	—
Среднее квадратичное отклонение всех R-R интервалов, мс Mean square deviation of all R-R intervals, ms	46,85 (39,61; 49,27)	59,88 (50,58; 83,77)	57,75 (44,73; 63,92)	56,19 (30,05; 101,61)	60,94 (49,97; 67,16)	1-2: 0,043
Коэффициент вариации, % Coefficient of variation, %	6,34 (4,94; 6,76)	9,77 (6,64; 10,83)	6,59 (6,49; 9,72)	5,76 (4,19; 15,11)	7,28 (6,21; 7,89)	1-2: 0,028
Мода, мс Mode, ms	742,86 (638,16; 884,99)	719,38 (567,75; 854,72)	723,67 (674,67; 894,66)	670,99 (636,97; 948,62)	732,46 (665,09; 900,58)	—
Амплитуда моды, %/50 мс Mode amplitude, %/50 ms	44,90 (41,58; 47,30)	44,56 (30,09; 76,74)	39,96 (31,55; 48,94)	47,32 (24,34; 93,15)	37,29 (31,50; 43,93)	—
Стресс-индекс Stress index	119,44 (104,78; 143,09)	167,79 (60,25; 237,09)	81,88 (62,63; 137,69)	127,27 (42,10; 307,17)	71,13 (57,90; 131,31)	—

показателям находилась в пределах нормативных значений для здоровых людей данной возрастной группы. Статистически значимые различия были получены по параметру SDNN между исходным состоянием и пробой задержки дыхания после вдоха ($p=0,043$) и коэффициентом вариации ($p=0,028$). Изменения других статистических и временных параметров между пробами носили характер тенденции и вследствие индивидуального разброса имели волнообразный вид повышения (SDNN, CV, SI) и снижения (RMSSD, pNN50) во время задержки дыхания и фаз покоя после дыхательных проб (табл. 1).

Оценка изменений спектрального анализа в I группе показала аналогичную волнообразную динамику: во время задержки дыхания на вдохе и на выдохе повышался уровень LF, LF/HF, IC, затем снижался в период

покоя после дыхательных проб. Снижение показателей во время дыхательных проб наблюдалось для HF, VLF с последующим повышением в периоды покоя. Статистически значимые изменения представлены в табл. 2. Во всех пробах, за исключением последней (покой после задержки дыхания на выдохе), наблюдалось доминирование низкочастотной составляющей — LF.

В группе II в исходном состоянии HR была выше нормативных значений, после дыхательных проб снизилась на уровне тенденции, тем не менее оставаясь на верхней границе нормы. По всем остальным параметрам наблюдалась волнообразная динамика, аналогичная группе I. Количество статистически значимых отличий параметров между пробами представлено в табл. 3. Кроме того, следует обратить внимание на более высокий SI по сравнению с группой I ($p=0,046$) в исходном состоянии, его

Таблица 2. Параметры спектрального анализа и интегральные параметры вариабельности сердечного ритма в зависимости от типа регуляции по Н.Н. Шлык, Ме [Q1; Q3] — I тип (N=7)

Table 2. Parameters of spectral analysis and integral parameters of heart rate variability across types of regulation according to N.N. Shlyk, Me [Q1; Q3] — type I (N=7)

Параметры Parameters	Покой 1 Rest 1	Задержка дыхания на вдохе Breath hold on inspiration	Покой 2 Rest 2	Задержка дыхания на выдохе Breath hold on exhalation	Покой 3 Rest 3	p
	1	2	3	4	5	
Суммарная мощность спектра, мс ² Total power of the spectrum, ms ²	1677,85 (1280,41; 22142,88)	1538,11 (763,52; 3405,71)	2621,73 (1758,22; 3562,55)	979,61 (647,46; 2597,23)	2542,02 (1437,99; 3327,19)	—
Относительная мощность высокочастотной составляющей спектра (HF), % Relative power of high-frequency spectrum component (HF), %	25,62 (21,69; 49,32)	16,99 (10,31; 19,74)	27,25 (22,75; 33,88)	13,45 (10,83; 34,89)	33,24 (17,02; 49,95)	1-2: 0,028
Относительная мощность низкочастотной составляющей спектра, % Relative power of low-frequency spectrum component, %	51,72 (37,17; 56,94)	67,68 (48,73; 78,48)	42,03 (34,12; 51,59)	54,79 (46,79; 69,96)	34,49 (32,43; 60,50)	—
Относительная мощность очень низкочастотной составляющей спектра (VLF), % Relative power of the very low-frequency component of the spectrum (VLF), %	20,12 (13,63; 23,99)	15,32 (11,78; 40,96)	31,48 (13,51; 37,38)	6,70 (2,32; 40,18)	21,50 (15,55; 36,82)	—
Индекс вагосимпатического взаимодействия Index of vagosympathetic interaction	2,22 (0,75; 2,38)	3,98 (3,05; 4,72)	1,39 (1,13; 3,05)	1,86 (1,21; 8,17)	1,82 (0,69; 3,46)	2-3: 0,023
Индекс соотношения VLF к HF Index of VLF to HF ratio	0,68 (0,27; 1,05)	0,90 (0,09; 3,97)	1,31 (0,29; 1,55)	0,16 (0,01; 4,58)	0,89 (0,31; 2,11)	—
Индекс централизации Centralisation index	2,90 (1,03; 3,61)	4,88 (4,07; 8,69)	2,67 (1,95; 3,39)	6,43 (1,23; 8,23)	2,01 (1,01; 4,88)	1-2: 0,028

Таблица 3. Параметры вариабельности сердечного ритма в зависимости от типа регуляции по Н.Н. Шлык, Ме [Q₁; Q₃] — II тип (N=8)
Table 3. Characteristics of heart rate variability across types of regulation according to N.N. Shlyk, Me [Q₁; Q₃] — type II (N=8)

Параметры Parameters	Покой 1 Rest 1	Задержка дыхания на вдохе Breath hold on inspiration	Покой 2 Rest 2	Задержка дыхания на выдохе Breath hold on exhalation	Покой 3 Rest 3	p
	1	2	3	4	5	
Среднее значение всех R-R интервалов в выборке, мс Mean value of all R-R intervals in the sample, ms	633,05 (620,97; 734,16)	703,76 (586,21; 772,17)	682,76 (654,61; 734,19)	703,95 (641,86; 736,35)	671,90 (648,34; 719,34)	—
Частота сердечных сокращений, уд/мин Heart rate, bpm	94,79 (81,74; 96,63)	85,36 (77,83; 102,38)	87,89 (81,82; 91,69)	85,26 (81,51; 93,55)	89,29 (83,47; 92,55)	—
Квадратный корень суммы разностей последовательных R-R интервалов, мс Square root of the sum of the differences of consecutive R-R intervals, ms	28,09 (16,30; 33,91)	22,64 (15,36; 36,34)	35,45 (20,19; 51,35)	20,98 (15,89; 33,26)	26,57 (20,26; 33,56)	2-3: 0,049 3-4: 0,025
Представленность эпизодов различия последовательных ин- тервалов более чем на 50 мс, % Representation of episodes of difference of consecutive intervals by more than 50 ms, %	6,72 (4,62; 13,14)	4,39 (2,27; 11,71)	14,61 (2,72; 25,88)	2,28 (0,8; 8,4)	4,87 (2,43; 9,17)	3-4: 0,025
Среднее квадратичное отклоне- ние всех R-R интервалов, мс Mean square deviation of all R-R intervals, ms	43,63 (31,30; 47,46)	59,29 (45,53; 70,56)	64,39 (37,16; 68,95)	52,03 (45,65; 74,79)	41,69 (32,94; 54,69)	1-2: 0,041
Коэффициент вариации, % Coefficient of variation, %	5,94 (5,04; 7,50)	8,43 (7,41; 9,54)	8,81 (5,74; 9,47)	7,24 (6,98; 10,16)	6,17 (4,90; 7,69)	1-2: 0,012
Мода, мс Mode, ms	632,36 (611,58; 710,94)	709,56 (568,25; 807,32)	701,36 (636,09; 710,40)	661,72 (618,54; 725,69)	667,86 (650,16; 701,83)	—
Амплитуда моды, %/50 мс Mode amplitude, %/50 ms	55,96 (44,85; 72,62)	39,70 (34,62; 57,70)	38,58 (32,55; 58,74)	57,21 (46,69; 65,18)	51,77 (44,52; 62,81)	—
Стресс-индекс Stress index	175,90 (132,26; 326,41)	108,83 (81,02; 267,97)	88,33 (60,61; 228,56)	235,69 (131,16; 312,89)	164,52 (118,91; 268,92)	3-4: 0,049

снижение во время пробы с задержкой дыхания на вдохе и статистически значимое повышение ($p=0,049$) во время пробы с задержкой дыхания на выдохе.

Оценка волновой структуры группы II в исходном состоянии принципиально отличалась от группы I. Вклад волн HF и LF был практически равным (47,54% и 40,39%), в то время как в группе I доминировали волны LF (51,72% против 25,62% HF). Динамика показателей спектрального анализа не имела принципиальных отличий от группы I, различаясь лишь большим количеством статистически значимых отличий между пробами (табл. 4). Особенности паттерна волновой структуры вариабельности сердечного

ритма продемонстрировали значительное увеличение вклада LF во время задержки дыхания после вдоха и после выдоха.

В группе III HR в исходном состоянии и во всех пробах была на порядок ниже по сравнению с группой II (на уровне тенденции). Кроме того, в данной группе SI статистически значимо ($p=0,002$) был ниже, чем в группе II, и на уровне тенденции по сравнению с группой I. Напротив, CV в исходном состоянии был статистически значимо ($p=0,008$) выше по сравнению с группами II и III, в состоянии покоя после задержки дыхания на выдохе ($p=0,023$) — по сравнению с группой II. Динамика

Таблица 4. Параметры спектрального анализа и интегральные параметры variability сердечного ритма в зависимости от типа регуляции по Н.Н. Шлык, Ме [Q1; Q3] — II тип (N=8)

Table 4. Parameters of spectral analysis and integral parameters of heart rate variability across types of regulation according to N.N. Shlyk, Ме [Q1; Q3] — type II (N=8)

Параметры Parameters	Исходное состояние Initial state	Задержка дыха- ния на вдохе Breath hold on inspiration	Покой 1 Rest 1	Задержка дыха- ния на выдохе Breath hold on exhalation	Покой 2 Rest 2	p
	1	2	3	4	5	
Суммарная мощность спектра, мс ² Total power of the spectrum, ms ²	1331,65 (666,19; 2021,41)	2091,17 (1621,49; 2890,1)	2453,25 (1216,36; 4322,62)	1730,68 (913,75; 2796,68)	1546,27 (981,37; 2306,40)	—
Относительная мощность высокоча- стотной составляющей спектра (HF), % Relative power of the high-frequency component of the spectrum (HF), %	47,54 (29,74; 60,54)	14,38 (8,78; 19,26)	50,73 (24,79; 62,74)	16,12 (11,83; 23,37)	34,28 (21,71; 58,78)	1-2: 0,017 2-3: 0,012 3-4: 0,035 4-5: 0,017
Относительная мощность низко- частотной составляющей спектра, % Relative power of low-frequency spectrum component, %	40,39 (30,64; 61,36)	55,98 (39,36; 64,46)	34,68 (27,75; 45,23)	76,82 (57,24; 83,23)	43,51 (32,48; 61,50)	2-3: 0,012 3-4: 0,025
Относительная мощность очень низкочастотной составляющей спектра (VLF), % Relative power of very low-frequency component of the spectrum (VLF), %	9,97 (7,49; 12,32)	25,55 (21,44; 35,69)	15,43 (6,33; 24,54)	5,32 (2,63; 16,34)	13,19 (7,73; 19,26)	1-2: 0,013
Индекс вагосимпатического взаимодействия Index of vagosympathetic interaction	0,85 (0,51; 2,39)	4,11 (2,77; 8,58)	0,65 (0,46; 2,43)	4,43 (2,23; 7,03)	1,35 (0,56; 3,05)	1-2: 0,036 3-4: 0,049 4-5: 0,049
Индекс соотношения VLF к HF Index of VLF to HF ratio	0,20 (0,15; 0,39)	1,74 (1,19; 2,85)	0,35 (0,11; 1,72)	0,45 (0,17; 0,75)	0,57 (0,16; 0,85)	1-2: 0,012
Индекс централизации Centralisation index	1,10 (0,66; 2,74)	6,47 (4,20; 10,56)	0,98 (0,59; 4,21)	5,24 (3,48; 7,63)	1,92 (0,72; 3,95)	1-2: 0,011

изменения показателей между пробами носила характер, аналогичный группам I и II (табл. 5).

Спектральный анализ в группе III (табл. 6) выявил отличительную особенность вклада HF и LF в исходном состоянии: доминирование HF в 1,4 раза. Во время задержки дыхания на вдохе данное соотношение изменилось диаметрально противоположно. В трёх последующих пробах соотношение менялось, но не так кардинально. В состоянии покоя после задержки дыхания на выдохе вклад HF и LF приближался к исходному состоянию.

ОБСУЖДЕНИЕ

По данным литературы, повседневные проблемы, которые увеличивают стресс и снижают variability ритма сердца, оказывают негативное влияние на физическое и психологическое благополучие, ухудшая здоровье сердечно-сосудистой системы и снижая качество жизни [17]. Следует подчеркнуть, что при оценке variability ритма сердца мы можем говорить только о вегетативной регуляции сердца, не экстраполируя на весь организм [18]. Высокая variability ритма сердца является признаком хорошей адаптивности сердечно-сосудистой системы, что позволяет человеку приспосабливаться к внутренним и внешним изменениям; напротив, снижение variability ритма сердца указывает на ухудшение приспособительных механизмов [19–21]. В нашем исследовании с учётом ранжирования групп на основе оценки функционального состояния регуляторных систем организма у здоровых людей по данным variability сердечного ритма в исходном состоянии получены данные, указывающие на однонаправленность реагирования регуляторных механизмов на пробы с задержкой дыхания во всех трёх группах. В период задержки дыхания variability ритма сердца снижалась, в состоянии покоя — повышалась. Однако следует заметить, что паттерны регуляции ритма сердца отличались. В группе I (с умеренным преобладанием симпатической и центральной регуляции сердечного ритма) пробы с задержкой дыхания в конечном итоге к периоду покоя привели к эутонии по данным спектрального анализа (HF=LF). Данные статистического

Таблица 5. Параметры variability сердечного ритма в зависимости от типа регуляции по Н.Н. Шлык, Me [Q₁; Q₃] — III тип (N=6)**Table 5.** Characteristics of heart rate variability across types of regulation according to N.N. Shlyk, Me [Q₁; Q₃] — type III (N=6)

Параметры Parameters	Покой 1 Rest 1	Задержка дыха- ния на вдохе Breath hold on inspiration	Покой 2 Rest 2	Задержка дыха- ния на выдохе Breath hold on exhalation	Покой 3 Rest 3	p
	1	2	3	4	5	
Среднее значение всех R-R интервалов в выборке, мс Mean value of all R-R intervals in the sample, ms	791,82 (720,64; 844,41)	717,44 (700,62; 832,06)	781,86 (726,27; 847,54)	749,11 (647,65; 773,83)	795,54 (763,98; 826,40)	—
Частота сердечных сокращений, уд/мин Heart rate, bpm	75,776 (71,06; 83,26)	83,64 (72,11; 85,64)	76,74 (70,79; 82,61)	80,11 (77,54; 92,64)	75,42 (72,60; 78,54)	—
Квадратный корень суммы разностей последовательных R-R интервалов, мс Square root of the sum of the differences of consecutive R-R intervals, ms	52,275 (38,57; 73,18)	30,77 (28,27; 57,87)	70,30 (44,78; 81,97)	43,93 (22,58; 59,54)	60,99 (44,06; 66,90)	2-3: 0,041 3-4: 0,028
Представленность эпизодов различия последовательных интервалов более чем на 50 мс, % Representation of episodes of difference of consecutive intervals by more than 50 ms, %	32,27 (17,41; 47,71)	9,68 (3,57; 14,00)	35,28 (22,45; 49,75)	13,46 (5,79; 18,18)	32,42 (22,99; 40,64)	1-2: 0,041 2-3: 0,041
Среднее квадратичное отклонение всех R-R интервалов, мс Mean square deviation of all R-R intervals, ms	80,79 (67,72; 98,21)	70,93 (57,18; 164,79)	89,51 (64,08; 103,84)	94,45 (67,49; 139,28)	85,00 (61,00; 92,08)	—
Коэффициент вариации, % Coefficient of variation, %	9,45 (8,02; 13,63)	10,65 (7,41; 20,24)	11,22 (7,97; 14,30)	12,74 (10,22; 15,39)	10,04 (7,65; 11,61)	—
Мода, мс Mode, ms	791,61 (691,48; 866,59)	716,30 (553,23; 855,78)	800,25 (694,60; 840,99)	742,72 (660,69; 793,93)	781,46 (725,08; 803,44)	—
Амплитуда моды, %/50 мс Mode amplitude, %/50 ms	26,19 (22,11; 31,14)	37,64 (22,57; 42,58)	28,25 (20,35; 32,35)	38,56 (26,04; 39,34)	26,10 (24,12; 29,81)	—
Стресс-индекс Stress index	47,71 (32,81; 53,21)	86,18 (40,61; 110,16)	41,45 (29,53; 64,11)	96,48 (28,21; 119,63)	41,38 (32,17; 54,80)	—

и временного анализа в этой группе также демонстрировали повышение вклада парасимпатической составляющей в variability ритма сердца (RMSSD, pNN50, SDNN, CV), что создавало предпосылки для её усиления.

В группе II с выраженным преобладанием симпатической регуляции сердечного ритма, даже с признаками вегетативной дисфункции по Н.И. Шлык, после проб с задержкой дыхания наблюдалось некоторое снижение симпатической активности. В то же время обращает на себя внимание напряжённый паттерн вегетативной регуляции во время пробы с задержкой дыхания на выдохе, что может указывать на сниженное функциональное состояние регуляторных систем.

Для группы III (с умеренным преобладанием парасимпатической активности) было характерно резкое повышение симпатической активации в пробе с задержкой дыхания на вдохе (LF — 63,67% против HF — 15,17%) с последующей мягкой коррекцией (LF — 53,65% против HF — 33,03%) во время задержки дыхания на выдохе, что можно расценивать как адекватную реакцию организма на нагрузку. В состоянии покоя после проведённой пробы с задержкой дыхания на выдохе вегетативный паттерн регуляции вернулся к исходному с умеренным преобладанием парасимпатической активности и, соответственно, с более благоприятным для организма уровнем variability ритма сердца. Преобладание HF-компонента в структуре

Таблица 6. Параметры спектрального анализа и интегральные параметры вариабельности сердечного ритма в зависимости от типа регуляции по Н.Н. Шлык, Ме [Q1; Q3] — III тип (N=6)

Table 6. Parameters of spectral analysis and integral parameters of heart rate variability across types of regulation according to N.N. Shlyk, Ме [Q1; Q3] — type III (N=6)

Параметры Parameters	Покой 1 Rest 1	Задержка дыха- ния на вдохе Breath hold on inspiration	Покой 2 Rest 2	Задержка дыха- ния на выдохе Breath hold on exhalation	Покой 3 Rest 3	p
	1	2	3	4	5	
Суммарная мощность спектра, мс ² Total power of the spectrum, ms ²	3881,79 (3429,27; 5897,59)	2903,19 (2032,30; 10935,78)	5726,99 (3226,22; 10485)	1840,21 (965,20; 3524,57)	4728,37 (3436,93; 6705,96)	—
Относительная мощность высокочастотной составляющей спектра (HF), % Relative power of high-frequency spectrum component (HF), %	48,09 (30,82; 64,90)	15,17 (8,44; 19,08)	47,41 (32,15; 61,15)	33,03 (19,99; 43,59)	49,19 (30,06; 57,01)	—
Относительная мощность низкочастотной составляющей спектра, % Relative power of low-frequency spectrum component, %	33,74 (25,97; 48,98)	63,67 (44,44; 73,77)	40,14 (25,87; 46,82)	53,65 (39,67; 70,75)	38,06 (20,69; 52,45)	—
Относительная мощность очень низкоча- стотной составляющей спектра (VLF), % Relative power of the very low-frequency component of the spectrum (VLF), %	11,29 (9,13; 13,53)	17,95 (15,79; 24,07)	14,44 (9,01; 18,21)	7,86 (1,69; 19,76)	18,58 (12,25; 22,30)	—
Индекс вагосимпатического взаимодей- ствия Index of vagosympathetic interaction	0,91 (0,40; 1,40)	4,58 (2,35; 8,74)	0,86 (0,42; 1,54)	1,64 (0,96; 3,92)	0,77 (0,36; 1,92)	—
Индекс соотношения VLF к HF Index of VLF to HF ratio	0,28 (0,14; 0,36)	1,73 (1,26; 1,93)	0,27 (0,20; 0,57)	0,32 (0,07; 0,75)	0,37 (0,33; 0,41)	2-3: 0,041
Индекс централизации Centralisation index	1,19 (0,54; 2,24)	6,03 (4,24; 10,84)	1,12 (0,64; 2,11)	2,16 (1,29; 4,00)	1,04 (0,75; 2,37)	—

вариабельности ритма сердца согласуется с представле-
ниями об адапционно-трофическом защитном действии
блуждающих нервов на сердце и является показателем
индивидуальной устойчивости здорового организма к фи-
зическим нагрузкам и другим стресс-факторам [15].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование подтвердило, что вегета-
тивная регуляция ритма сердца реагирует на стрессорное
воздействие — пробы с произвольной задержкой дыха-
ния, вызывающие гипоксию и гиперкапнию. Адаптивные
реакции вариабельности ритма сердца проявляются повы-
шением симпатической активации, которые в последую-
щем, при обычном дыхании, сменяются компенсаторным
включением парасимпатического отдела вегетативной
нервной системы. Несмотря на однонаправленный ха-
рактер, выраженность реакций различается в зависимо-
сти от группы принятого ранжирования. В группе II на-
блюдался напряжённый паттерн вегетативной регуляции
во время пробы с задержкой дыхания на выдохе, что мо-
жет указывать на сниженное функциональное состояние

регуляторных систем. В группах I и II адаптивные реакции
целесообразны, что указывает на имеющиеся функцио-
нальные резервы кардиореспираторной системы. Несмо-
тря на то что дыхательная система функционирует в ос-
новном автоматически, не требуя сознательного контроля
со стороны человека, она также может быть поставлена
под волевой контроль [22]. Техники медленного дыха-
ния способствуют вегетативным изменениям, увеличивая
вариабельность сердечного ритма, что, вероятно, более
приемлемо для группы II [23]. Полученные данные указы-
вают на необходимость применения дифференцирован-
ных дыхательных практик в зависимости от типа регуля-
ции вариабельности ритма сердца.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Л.Е. Дерягина — концепция и дизайн ис-
следования, анализ полученных данных, написание текста;
С.В. Булатецкий — сбор и обработка материалов, анализ полу-
ченных данных. Все авторы подтверждают соответствие своего
авторства международным критериям ICMJE (все авторы внес-
ли существенный вклад в разработку концепции, проведение

исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Источник финансирования. Исследование проведено за счёт собственных средств авторов.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Информированное согласие на публикацию. Пациенты подписали информированное согласие на участие в исследовании и публикацию медицинских данных.

ADDITIONAL INFO

Authors' contribution. L.E. Deryagina —concept and design of the study, analysis of the data, writing of the text; S.V. Bulatetsky —

collection and processing of materials, analysis of the received data. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work).

Funding source. The study was conducted at the authors' own expense.

Competing interests. The authors declare no obvious or potential conflicts of interest associated with the publication of this article.

Consent for publication. The patients who participated in the study signed an informed consent to participate in the study and publish medical data.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зенченко Т.А., Йорданова М., Поскотинова Л.В., и др. Синхронизации сердечного ритма человека с геомагнитными пульсациями PC5 на разных широтах // Биофизика. 2014. Т. 59, № 6. С. 1186–1194. EDN: TGWDJZ
2. Покровский В.М., Полищук С.В., Горбунов Р.В., Гурская Э.В. Сердечно-дыхательный синхронизм: новые методологические и методические возможности оценки уровня адаптации. В кн.: Физиологические проблемы адаптации: сб. науч. статей. Ставрополь, 2008. С. 141–143.
3. Одегов А.К., Булатецкий С.В., Присакару М.Н. Управляемое дыхание как способ коррекции функционального состояния организма человека посредством управления вариабельностью сердечного ритма. В кн.: Физиология — актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: материалы Всероссийской с международным участием научно-практической конференции, посвящённой 125-летию со дня рождения академика Петра Кузьмича Анохина. Волгоград, 2023. С. 268–271. EDN: QZFWBY
4. Шлык Н.И. Сердечный ритм и тип регуляции у детей, подростков и спортсменов. Ижевск: Удмуртский университет, 2009. EDN: QLVYVB
5. Гридин Л.А. Современные представления о физиологических и лечебно-профилактических эффектах действия гипоксии и гиперкапнии // Медицина. 2016. Т. 4, № 3. С. 45–68. EDN: WMFKHN
6. Табаров М.С. Особенности реакций органов артерий и вен на гуморальные стимулы при сочетанном действии на организм гипоксии и гипотермии: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. СПб., 2003. 45 с.
7. Чижов А.Я., Потиевская В.И. Нормализующий эффект нормобарической гипоксической гипоксии // Физиология человека. 1997. Т. 23, № 1. С. 108–112.
8. Чуб И.С., Милькова А.В., Елисеева Н.С. Состояние кардиореспираторной системы у студентов с различной степенью устойчивости к гипоксии // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2014. № 52. С. 8–15. EDN: SFMHZR
9. Агаджанян Н.А., Полуниин И.Н., Степанов В.К., Поляков В.Н. Человек в условиях гипоксии и гиперкапнии. Астрахань: АГМА, 2001. EDN: VZIMGR
10. Ненашева А.В., Аминов А.С., Позина Н.В., и др. Устойчивость к гипоксии и вестибулярная устойчивость воспитанников и воспитанниц 6–14 лет социально-реабилитационного центра // Вестник ЮрГУ. Серия: Образование, здравоохранение, физическая культура. 2007. № 2. С. 120–124. EDN: KWYCON
11. Диверт В.Э., Кривошеков С.Г., Водяницкий С.Н. Индивидуально-типологическая оценка реакций кардиореспираторной системы на гипоксию и гиперкапнию у здоровых молодых мужчин // Физиология человека. 2015. Т. 41, № 2. С. 64–73. EDN: TLOUMD doi: 10.7868/S0131164615020058
12. Агаджанян Н.А., Двоеносов В.Г. Физиологические особенности сочетанного влияния на организм острой гипоксии и гиперкапнии // Вестник восстановительной медицины. 2008. № 1. С. 4–8. EDN: MUOCKB
13. Диверт В.Э., Комлягина Т.Г., Красникова Н.В., и др. Кардиореспираторные реакции на гипоксию и гиперкапнию у пловцов // Вестник Новосибирского государственного педагогического университета. 2017. Т. 7, № 5. С. 207–224. EDN: ZQXRWL doi: 10.15293/2226-3365.1705.14
14. Михайлова А.В. Особенности показателей вариабельности ритма сердца у спортсменов с перенапряжением сердечно-сосудистой системы // Российский кардиологический журнал. 2020. Т. 25, № S2. С. 34. EDN: KXMMYO
15. Шаханова А.В., Коблев Я.К., Гречишкина С.С. Особенности адаптации сердечно-сосудистой системы спортсменов разных видов спорта по данным вариабельности ритма сердца // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 4: Естественно-математические и технические науки. 2010. № 1. С. 105–111. EDN: MUBOCP
16. Шлык Н.И. Управление тренировочным процессом спортсменов с учётом индивидуальных характеристик вариабельности ритма сердца // Физиология человека. 2016. Т. 42, № 6. С. 81–91. EDN: XGWDHD doi: 10.7868/S0131164616060187
17. Davila M.I., Lewis G.F., Porges S.W. PhysioCam: a new non-contact sensor for measuring heart rate variability in clinical and field settings // Public Health Front. 2017. Vol. 5. P. 300. doi: 10.3389/fpubh.2017.00300
18. Hayano J., Yuda E. Pitfalls of assessing autonomic function using heart rate variability // J Physiol Anthropol. 2019. Vol. 38, N 1. P. 3. doi: 10.1186/s40101-019-0193-2

19. Быков Е.В., Балберова О.В., Сабирьянова Е.С., Чипышев А.В. Особенности миокардиально-гемодинамического и вегетативного гомеостаза у спортсменов циклических видов спорта с разной квалификацией // Человек. Спорт. Медицина. 2019. Т. 19, № 3. С. 36–45. EDN: OZGERY doi: 10.14529/hsm190305
20. Schneider M., Schwerdtfeger A. Autonomic dysfunction in posttraumatic stress disorder indexed by heart rate variability: a meta-analysis // Psychol Med. 2020. Vol. 50, N 12. P. 1937–1948. doi: 10.1017/S003329172000207X
21. McCraty R., Schaffer F. Heart rate variability: new insights into physiological mechanisms, assessment of self-regulatory capacity, and health risk // Global Advances in Health and Medicine. 2015. Vol. 4, N 1. P. 46–61. doi: 10.7453/gahmj.2014.073
22. Zaccaro A., Piarulli A., Laurino M., et al. How breath-control can change your life: a systematic review on psycho-physiological correlates of slow breathing // Front Hum Neurosci. 2018. Vol. 12. P. 353. doi: 10.3389/fnhum.2018.00353
23. Malhotra V., Bharshankar R., Ravi N., Bhagat O.L. Acute effects on heart rate variability during slow deep breathing // Mymensingh Med J. 2021. Vol. 30, N 1. P. 208–213.

REFERENCES

1. Zenchenko TA, Jordanova M, Poskotinova LV, et al. Synchronization between human heart rate dynamics and Pc5 geomagnetic pulsations at different latitudes. *Biofizika*. 2014;59(6):1186–1194. EDN: TGWDJZ
2. Pokrovskii VM, Polishchuk SV, Gorbunov RV, Gurskaya EV. Cardio-respiratory synchronism: new methodological and methodological possibilities for assessing the level of adaptation. In: *Physiological problems of adaptation: Collection of scientific papers articles*. Stavropol; 2008. P. 141–143. (In Russ.)
3. Odegov AK, Bulatetsky SV, Prisakaru MN. Controlled breathing as a way to correct the functional state of the human body through the management of HRV. In: *Physiology — actual problems of fundamental and applied research: materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation dedicated to the 125th anniversary of the birth of Academician Pyotr Kuzmich Anokhin*. Volgograd; 2023. P. 268–271. EDN: QZFWBY (In Russ.)
4. Shlyk NI. Heart rate and regulation type of children, teenagers and sportsmen. Izhevsk: Udmurtskii universitet; 2009. EDN: QLVYBB (In Russ.)
5. Gridin LA. Modern understanding of the physiological and therapeutic and prophylactic effects of actions hypoxia and hypercapnia. *Medicine*. 2016;4(3):45–68. EDN: WMFKHN
6. Tabarov MS. *Features of the reactions of organ arteries and veins to humoral stimuli with the combined effect of hypoxia and hypothermia on the body* [dissertation abstract]. Saint-Petersburg; 2003. 45 p. (In Russ.)
7. Chizhov AY, Potievskaya VI. The normalizing effect of normobaric hypoxic hypoxia. *Fiziologiya Cheloveka*. 1997;23(1):108–112. (In Russ.)
8. Chub IS, Milkova AV, Eliseeva NS. The condition of cardiorespiratory system in students with different degree of resistance to hypoxia. *Bulletin Physiology and Pathology of Respiration*. 2014;(52):8–15. EDN: SFMHZR
9. Agadzhanian NA, Polunin IN, Stepanov VK, Polyakov VN. A person in conditions of hypocapnia and hypercapnia. Astrakhan: AGMA; 2001. (In Russ.)
10. Nenashva AV, Aminov AS, Pozina NV, et al. Hypoxia resistance and vestibular stability of pupils and pupils aged 6–14 years of the social rehabilitation center. *Vestnik Yuzhno-Uralskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Obrazovanie, zdavoookhraneniye, fizicheskaya kultura*. 2007;(2):120–124. EDN: KWYCOH (In Russ.)
11. Divert VE, Krivoshechekov SG, Vodyanitsky SN. Individual-typological assessment of cardiorespiratory responses to hypoxia and hypercapnia in young healthy men. *Fiziologiya Cheloveka*. 2015;41(2):64–73. EDN: TLOUMD doi: 10.7868/S0131164615020058
12. Agadzhanian NA, Dvoenosoov VG. Physiological features of the combined effect of acute hypoxia and hypercapnia on the body. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2008;(1):4–8. EDN: MUOCKB (In Russ.)
13. Divert VE, Komlyagina TG, Krasnikova NV, et al. Cardiorespiratory responses of swimmers to hypoxia and hypercapnia. *Novosibirsk State Pedagogical University Bulletin*. 2017;7(5):207–224. EDN: ZQXRWL doi: 10.15293/2226-3365.1705.14
14. Mikhailova AV. Features of heart rate variability indicators in athletes with overstrain of the cardiovascular system. *Russian Journal of Cardiology*. 2020;25(S2):34. EDN: KXMMYO (In Russ.)
15. Shakhanova AV, Koblev YaK, Grechishkina SS. Features of adaptation of the cardiovascular system of athletes of different sports according to heart rate variability. *The Bulletin of Adyghe State University. Seriya: Natural, Mathematical and Technical Sciences*. 2010;(1):105–111. EDN: MUBOCP
16. Shlyk NI. Management of athletic training taking into account individual heart rate variability characteristics. *Fiziologiya Cheloveka*. 2016;42(6):81–91. EDN: XGWDHD doi: 10.7868/S0131164616060187
17. Davila MI, Lewis GF, Porges SW. PhysioCam: a new non-contact sensor for measuring heart rate variability in clinical and field settings. *Public Health Front*. 2017;5:300. doi: 10.3389/fpubh.2017.00300
18. Hayano J, Yuda E. Pitfalls of assessing autonomic function using heart rate variability. *J Physiol Anthropol*. 2019;38(1):3. doi: 10.1186/s40101-019-0193-2
19. Bykov EV, Balberova OV, Sabiryanova ES, Chipyshev AV. The features of myocardial hemodynamic and vegetative homeostasis in athletes of different qualifications from acyclic sports. *Human. Sport. Medicine*. 2019;19(3):36–45. EDN: OZGERY doi: 10.14529/hsm190305
20. Schneider M, Schwerdtfeger A. Autonomic dysfunction in posttraumatic stress disorder indexed by heart rate variability: a meta-analysis. *Psychol Med*. 2020;50(12):1937–1948. doi: 10.1017/S003329172000207X
21. McCraty R, Schaffer F. Heart rate variability: new insights into physiological mechanisms, assessment of self-regulatory

capacity, and health risk. *Global Advances in Health and Medicine*. 2015;4(1):46–61. doi: 10.7453/gahmj.2014.073

22. Zaccaro A, Piarulli A, Laurino M, et al. How breath-control can change your life: a systematic review on psycho-physiological

correlates of slow breathing. *Front Hum Neurosci*. 2018;12:353. doi: 10.3389/fnhum.2018.00353

23. Malhotra V, Bharshankar R, Ravi N, Bhagat OL. Acute effects on heart rate variability during slow deep breathing. *Mymensingh Med J*. 2021;30(1):208–213.

ОБ АВТОРАХ

***Дерягина Лариса Евгеньевна**, д-р мед. наук, профессор;
адрес: Россия, 117403, Москва, Булатниковский пр., 14,
к. 5, кв. 72;
ORCID: 0000-0001-5522-5950;
eLibrary SPIN: 6606-6628;
e-mail: lderyagina@mail.ru

Булатецкий Сергей Владиславович, д-р мед. наук, доцент;
ORCID: 0000-0002-6023-7523;
eLibrary SPIN: 2756-9179;
e-mail: dr_bsv@mail.ru

AUTHORS' INFO

***Larisa E. Deryagina**, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;
address: 14, Bulatnikovsky pr., building 5, apt. 72, Moscow, 117403,
Russia;
ORCID: 0000-0001-5522-5950;
eLibrary SPIN: 6606-6628;
e-mail: lderyagina@mail.ru

Sergey V. Bulatetsky, MD, Dr. Sci. (Medicine), Assistant Professor;
ORCID: 0000-0002-6023-7523;
eLibrary SPIN: 2756-9179;
e-mail: dr_bsv@mail.ru

*Автор, ответственный за переписку / Corresponding author