

DOI: 10.7868/S2658655X26020077  
УДК 612

Экспериментальная статья

## **Изменения показателей вариабельности сердечного ритма и результативности испытуемых при сенсомоторной деятельности в различных социальных условиях**

**Е.П. Муртазина<sup>1,\*</sup>, О.М. Зотова<sup>2</sup>, Е.С. Галушка<sup>1</sup>, С.С. Перцов<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*Федеральный исследовательский центр оригинальных и перспективных биомедицинских  
и фармацевтических технологий, Москва, Российская Федерация*

<sup>2</sup>*Российский университет медицины МЗ РФ, Москва, Российская Федерация  
\*E-mail: murtazina\_ep@academpharm.ru*

*Аннотация.* Исследование психофизиологических механизмов регуляции систем организма человека при межличностных взаимодействиях в разных социальных условиях деятельности является актуальной проблемой нейросоциобиологии. Показатели вариабельности кардиоритма используются для оценки психоэмоционального состояния человека при воздействии различных социальных факторов. Цель работы – проанализировать особенности изменений показателей вариабельности сердечной деятельности испытуемых и результативности в процессе сенсомоторных тренировок в различных социальных контекстах деятельности в диадах. Обследованы 130 мужчин (19,7 лет ± 3 месяца). Модель деятельности – сенсомоторный тренинг «Столбики» комплекса «БОС-Кинезис» (ООО «Нейротех», Таганрог, РФ). Протокол исследования включал регистрацию кардиоритма испытуемых в состоянии покоя, непосредственно перед началом тестирования и в процессе выполнения тренировок в индивидуальном, соревновательном и кооперативных контекстах деятельности в диадах. Выявлены изменения показателей вариабельности кардиоритма испытуемых в совместных условиях сенсомоторных тренировок относительно индивидуального этапа (увеличение дисперсии, суммарной спектральной мощности и индекса централизации), отражающие усиление влияний надсегментарных структур головного мозга на сердечную деятельность. Сенсомоторная деятельность в условиях кооперации сопровождалась ростом спектральной мощности в низкочастотных диапазонах и снижением мощности в высокочастотном диапазоне спектра вариабельности кардиоритма. Обнаружены различия показателей вариабельности кардиоритма между группами испытуемых с разными уровнями результативности в соревновательном и кооперативных контекстах деятельности. Уровни результативности во всех совместных контекстах деятельности отрицательно коррелировали с ЧСС и спектральной мощностью низкочастотного диапазона, а в условиях кооперации были положительно взаимосвязаны с индикатором активности парасимпатической нервной системы – спектральной мощностью высокочастотного диапазона. Показано, что изменения показателей

вариабельности сердечного ритма испытуемых при сенсомоторных тренингах зависят от социального контекста деятельности в диадах и коррелируют с результативностью, достигаемой в этих условиях.

*Ключевые слова:* вариабельность сердечного ритма, сенсомоторный тренинг, совместная деятельность, соревнование, кооперация, результативность

*Финансирование.* Исследование проводилось в рамках Государственного задания Федерального исследовательского центра оригинальных и перспективных биомедицинских и фармацевтических технологий (№122040500027-7). Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данных исследований получено не было.

*Соблюдение этических стандартов.* Все процедуры, выполненные в исследованиях с участием людей, соответствуют этическим стандартам национального комитета по исследовательской этике и Хельсинкской декларации 1964 года и ее последующим изменениям или сопоставимым нормам этики. От каждого из включенных в исследование участников было получено информированное добровольное согласие на участие в исследованиях, одобренных Межвузовским комитетом по этике при Ассоциации медицинских и фармацевтических вузов (протокол № 3 от 17.02.2022 г.).

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

*Вклад авторов в публикацию.* МЕР, ПСС – идея работы и планирование эксперимента; МЕР, ЗОМ, ГЕС – сбор и обработка данных; МЕР, ЗОМ, ГЕС, ПСС – написание и редактирование манускрипта.

*Благодарности.* Выражаем благодарность Ермаковой Ольге Игоревне за помощь в проведении обследований.

*Ссылка для цитирования:* Муртазина Е.П., Зотова О.М., Галушка Е.С., Перцов С.С. Изменения показателей вариабельности сердечного ритма и результативности испытуемых при сенсомоторной деятельности в различных социальных условиях. *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова / Russian Journal of Physiology.* 2026. Т. 112. № 2. С. 518–541.  
<https://doi.org/10.7868/S2658655X26020077>

## Changes in Heart Rate Variability and Performance Indicators of Subjects in Sensorimotor Activities under Different Social Conditions

E.P. Murtazina<sup>1,\*</sup>, O.M. Zotova<sup>2</sup>, E.S. Galushka<sup>1</sup>, S.S. Pertsov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Federal Research Center for Innovator and Emerging Biomedical and Pharmaceutical Technologies, Moscow, Russian Federation*

<sup>2</sup>*Russian University of Medicine, Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation*

\*E-mail: murtazina\_ep@academpharm.ru

**Abstract.** The investigation of psychophysiological regulatory mechanisms of human body systems during interpersonal interactions under different social conditions of activity is a relevant aspect of neurosociobiology. Heart rate variability (HRV) indices are used to assess the psychoemotional state of a person under the influence of various social factors. The aim of this work was to analyze changes in subjects' HRV indices and performance during sensorimotor training in different social contexts of dyadic activity. The study involved 130 men aged 19.7 years  $\pm$  3 months. The sensorimotor training «Columns» of the BOS-Kinesis hardware-software complex (Neurotech, Taganrog, Russia) was used as a model of activity. The experimental protocol included recording the subjects' heart rate at rest (immediately before testing) and during training performance in individual, competitive, and cooperative contexts of dyadic activity. Changes in HRV indices under cooperative conditions of sensorimotor training relative to the individual stage of activity were revealed (increase in dispersion, total spectral power, and centralization index), reflecting the increased influence of suprasegmental brain structures on cardiac activity. Sensorimotor activity under cooperative conditions was accompanied by an increase in spectral power within the low-frequency ranges and a decrease in power within the high-frequency range of the HRV spectrum. Differences in HRV indices were found between groups of subjects with different levels of performance in competitive and cooperative contexts of dyadic activity. Performance levels in all joint activity contexts were negatively correlated with the heart rate and spectral power of the low-frequency range, while under cooperative conditions, were positively correlated with the spectral power of the high-frequency range, i.e. the index of parasympathetic nervous system activity. Conclusion: changes in subjects' HRV indices during sensorimotor training depend on the social context of dyadic activity and correlate with the performance level achieved under these conditions.

**Keywords:** heart rate variability, sensorimotor training, joint activity, competition, cooperation, performance

**Funding.** The study was conducted within the framework of the State Assignment of the Federal Research Center for Original and Promising Biomedical and Pharmaceutical Technologies (No. 122040500027-7). The study was conducted as part of a government assignment. No additional grants were received for the conduct or management of these studies.

*Ethics declarations.* All procedures performed in human studies comply with the ethical standards of the National Committee on Research Ethics and the 1964 Helsinki Declaration and its subsequent amendments or comparable ethical standards. Each of the participants included in the study provided informed voluntary consent to participate in the studies approved by the Interuniversity Ethics Committee of the Association of Medical and Pharmaceutical Universities (Protocol No. 3 dated February 17, 2022).

*Conflict of interests.* The authors declare that they have no apparent or potential conflicts of interest related to the publication of this article.

*Authors contribution.* MEP, PSS – the idea of the work and the planning of the experiment; MEP, ZOM, GES – data collection and processing; MEP, ZOM, GES, PSS – writing and editing the manuscript.

*Acknowledgements.* We express our gratitude to Olga Igorevna Ermakova for her assistance in conducting the examinations.

*For Citation:* Murtazina E.P., Zotova O.M., Galushka E.S., Pertsov S.S. Changes in heart rate variability and performance indicators of subjects in sensorimotor activities under Different social conditions. *Rossiiskij fiziologicheskij zhurnal im. I.M. Sechenova / Russian Journal of Physiology.* 2026;112(2):518–541. (In Russ.)  
<https://doi.org/10.7868/S2658655X26020077>

## ВВЕДЕНИЕ

Актуальной проблемой исследований социальных взаимодействий является изучение нейрофизиологических и соматовегетативных механизмов регуляции систем организма человека в процессе межличностного общения и достижения результатов в разных контекстах деятельности [1–2]. Выявлены различные физиологические маркеры специфики социальных взаимоотношений, такие как электрокожное сопротивление, электродермальные реакции, вариабельность сердечного ритма (ВСР) и дыхания [3–4].

Изменения ВСР зависят от индивидуальных особенностей субъектов и характера их межличностных взаимодействий, которые могут вызывать состояния стресса, особенно в конкурентных условиях, или психоэмоционального напряжения разной степени и валентности [5–6]. Нами ранее установлено, что результативность сенсомоторной деятельности испытуемых в разных социальных условиях зависит от их индивидуально-типологических особенностей вегетативной регуляции сердечной деятельности, выявленных по фоновым показателям ВСР [7].

Показано, что негативные межличностные взаимодействия оказывают более сильное влияние на реактивность ВСР по сравнению с позитивными отношениями [6, 8]. Однако результаты исследований соматовегетативных показателей эмоционального контроля, социального стресса и их взаимосвязей противоречивы и недостаточны.

Основными формами социальных взаимоотношений являются конкуренция и сотрудничество. Их влияние на мотивационное и психосоматическое состояние человека зависит от многих факторов, включая индивидуальные особенности,

и сопровождается реорганизацией функциональных систем поведенческого и гомеостатического уровней [9–10]. Это приводит к активации различных нейрофизиологических и соматовегетативных процессов, что влияет на функционирование многих субсистем организма, включая сердечно-сосудистую [11–13].

Обнаружены положительные взаимосвязи уровней эмпатии и просоциальности людей с показателями ВСП, отражающими активность парасимпатической нервной системы [14–15].

Противоречивы данные о персональной результативности участников в условиях сотрудничества и соревнования. Выявлено, что и сотрудничество, и соревнование могли улучшать отдельные показатели выполнения заданий [16]. Получены противоположные результаты, касающиеся уровней внимания и результативности при соревновании [17] и при сотрудничестве [18]. Нами ранее выявлено, что в условиях соревнования наблюдается преимущественный рост результативности сенсомоторной и когнитивной деятельности испытуемых в парах, который зависел от ее исходного индивидуального уровня и пола взаимодействующих субъектов [7, 19].

В немногочисленных работах [20–23] получены неоднозначные результаты, иллюстрирующие взаимосвязи показателей ВСП с результативностью человека в разных социальных условиях деятельности. Показатели ВСП, электродермальных реакций и ритма дыхания, отражающие активность вегетативной нервной системы, были использованы для разработки алгоритмов прогнозирования результативности совместного выполнения сенсомоторной задачи [22]. Обнаружено, что эта совокупность физиологических характеристик обладала более высокой прогностической значимостью при оценке эффективности сотрудничества по сравнению с отдельными показателями результативности деятельности.

Таким образом, показатели ВСП могут характеризовать специфику межличностных взаимодействий и перспективны для оценки психоэмоционального состояния и адаптационного ответа организма человека при воздействии различных социальных факторов.

Исходя из вышеизложенного, целью работы явился анализ особенностей изменений показателей вариабельности сердечной деятельности испытуемых и результативности в процессе сенсомоторных тренировок в различных социальных контекстах деятельности в парах.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследования – 130 мужчин (преимущественно студенты медицинского вуза, средний возраст 19,7 лет  $\pm$  3 месяца). Испытуемые, ранее знакомые друг с другом, приглашались на исследование парами. Критериями исключения были нескорректированные нарушения зрения, сердечно-сосудистые и неврологические заболевания в анамнезе.

В качестве модели деятельности был применен сенсомоторный тренинг (СМТ) «Столбики» программно-аппаратного комплекса «БОС-Кинезис» (ООО «Нейротех», Таганрог, РФ) с использованием биологической обратной связи (БОС) от электромиографических сигналов, регистрируемых датчиками «Колибри» с ведущей руки испытуемых. Задача испытуемых – удержание высоты столбика в целевом диапазоне за счет произвольной регуляции мышечного напряжения. При

отклонении высоты столбика за его пределы (на 10–30%) он становился желтым, при изменении его высоты более чем на 30% – красным.

Испытуемые выполняли СМТ в индивидуальном, соревновательном и кооперативном контекстах, которые задавались обстановкой и инструкциями. Индивидуальные СМТ (3 раза по 2 мин) испытуемые выполняли за рядом расположенными мониторами, разделенными перегородками. На совместных этапах деятельности перегородки убирались и испытуемые выполняли тренировки за одним монитором компьютера. При соревновательном СМТ (3 мин) участники должны были удерживать высоту своего столбика дольше соперника. В условиях кооперации испытуемым предъявлялся один столбик, высота которого соответствовала интегральной результирующей, вычисляемой в программе «БОС-Кинезис» из значений двух персональных столбиков. При первой кооперации (Кооп1, 3 мин) испытуемые получали обратную связь как от собственных действий, так и от «вклада» партнера. При второй кооперации (Кооп2, 3 мин) испытуемым показывали только общий столбик без обратной связи от действий участников.

Результативность оценивалась в проценте времени удержания высоты столбика в целевом диапазоне от общей длительности тренировок в индивидуальном ( $R_{инд}$ ), соревновательном ( $R_{сор}$ ) и кооперативных ( $R_{Кооп1}$ ,  $R_{Кооп2}$ ) контекстах деятельности.

Регистрация ЭКГ испытуемых проводилась в положении сидя, в первом стандартном отведении в исходном состоянии оперативного покоя (3 мин), непосредственно перед началом тестирования и в процессе выполнения всех тренировок с помощью аппаратно-программного комплекса «Варикард 5.2» (ООО «Рамена», Рязань, РФ). Выделение кардиоинтервалогрaмм и расчет показателей ВСР осуществлялись в программе «ИСКИМ» этого комплекса. По каждому фрагменту вычислялись статистические характеристики и спектральные мощности (СМ) ВСР согласно принятым стандартам [24]: частота сердечных сокращений (ЧСС); стандартное отклонение RR-интервалов (SDNN); среднеквадратичное значение разниц между последовательными RR-интервалами (RMSSD); суммарная спектральная мощность (total power, TP); относительные СМ высокочастотного (power high frequency, PHF), низкочастотного (power low frequency, PLF) и очень низкочастотного (power very low frequency, PVLF) диапазонов; соотношение СМ низко- и высокочастотных диапазонов (LF/HF) и индекс централизации (IC = (LF + VLF)/HF).

Статистическая обработка полученных данных осуществлялась с помощью программ Statistica 12.5 и GraphPad Prism 8. Проверка на нормальность распределения данных проводилась по методам Колмогорова–Смирнова и Шапиро–Уилка. Исходя из отличий распределений многих показателей от нормального, применялись непараметрические методы анализа. Для множественных и парных сравнений показателей ВСР в связанных выборках испытуемых на разных этапах обследований использовались методы Фридмана и Вилкоксона. Межгрупповые различия оценивались по методу Краскела–Уоллиса (KW) с поправкой для множественных сравнений (по Dunn's) и по парному критерию Манна–Уитни (MU). С помощью корреляционного анализа по Спирмену выявлялись взаимосвязи между характеристиками ВСР и результативностью. В работе представлены медианные (Me) и квартильные (Q1, Q3) значения. Значимыми считались различия и коэффициенты корреляции (rs) с уровнями достоверности  $p < 0,05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты статистического анализа основных показателей ВСП испытуемых в исходном состоянии (Фон) и в разных социальных контекстах СМТ по всей выборке представлены в табл. 1.

При индивидуальных СМТ у испытуемых происходили следующие статистически значимые изменения по сравнению с исходным состоянием оперативного покая. С одной стороны, наблюдалось уменьшение суммарной вариативности кардиоинтервалограмм (снижение TP и SDNN), с другой стороны, обнаружено снижение ЧСС и ряда спектральных характеристик (LF/HF, PVLf и IC) при росте показателя RMSSD и мощности спектра в высокочастотном диапазоне (PHF%) ВСП.

При соревновании по сравнению с индивидуальным этапом сенсомоторных тренировок наблюдалось статистически значимое увеличение только трех показателей ВСП: SDNN, TP и IC.

СМТ в условиях кооперации с обратной связью от действий партнеров сопровождался статистически значимыми изменениями спектральных характеристик ВСП испытуемых по сравнению с их индивидуальной и соревновательной деятельностью: увеличением TP, PLF, LF/HF и IC, а также снижением PHF. Относительно индивидуального СМТ увеличивался и показатель SDNN.

При кооперации без обратной связи от действий партнеров наблюдалось еще большее увеличение значений многих показателей ВСП (ЧСС, SDNN, TP, PLF, LF/HF и IC) при снижении PHF.

В ранее проведенном нами исследовании [25] по результативности СМТ испытуемые были разделены на группы высоко-, средне-, и низкорезультативных. В данной работе нами проведен сравнительный анализ показателей ВСП между этими группами участников в разных условиях деятельности в диадах.

Статистически значимые различия показателей ВСП между всеми тремя группами испытуемых с разной результативностью в соревновательном контексте деятельности проиллюстрированы на рис. 1. Обнаружено, что эти группы различались по показателю изменения ЧСС при соревновании относительно индивидуального этапа деятельности ( $\Delta HR$ , KW:  $H(2, 130) = 6,46, p = 0,04$ ; рис. 1а) и значениям спектральных характеристик ВСП: PHF (KW:  $H(2, 130) = 11,66, p = 0,003$ ; рис. 1б), LF/HF (KW:  $H(2, 130) = 10,27, p = 0,006$ ; рис. 1в) и IC (KW:  $H(2, 130) = 11,66, p = 0,003$ ; рис. 1г).

Множественные парные сравнения выявили наиболее значимые отличия низкорезультативной группы от других групп испытуемых. У участников этой группы увеличивалась ЧСС при соревновании по сравнению с индивидуальным этапом, снижалась PHF, повышались LF/HF и IC. У испытуемых высоко- и среднерезультативных групп ЧСС не менялась при соревновании по сравнению с индивидуальным этапом. У высокорезультативных участников наблюдались промежуточные значения PHF, LF/HF и IC. В группе среднерезультативных участников при соревновании наблюдались наибольшие значения PHF, низкие LF/HF и IC.

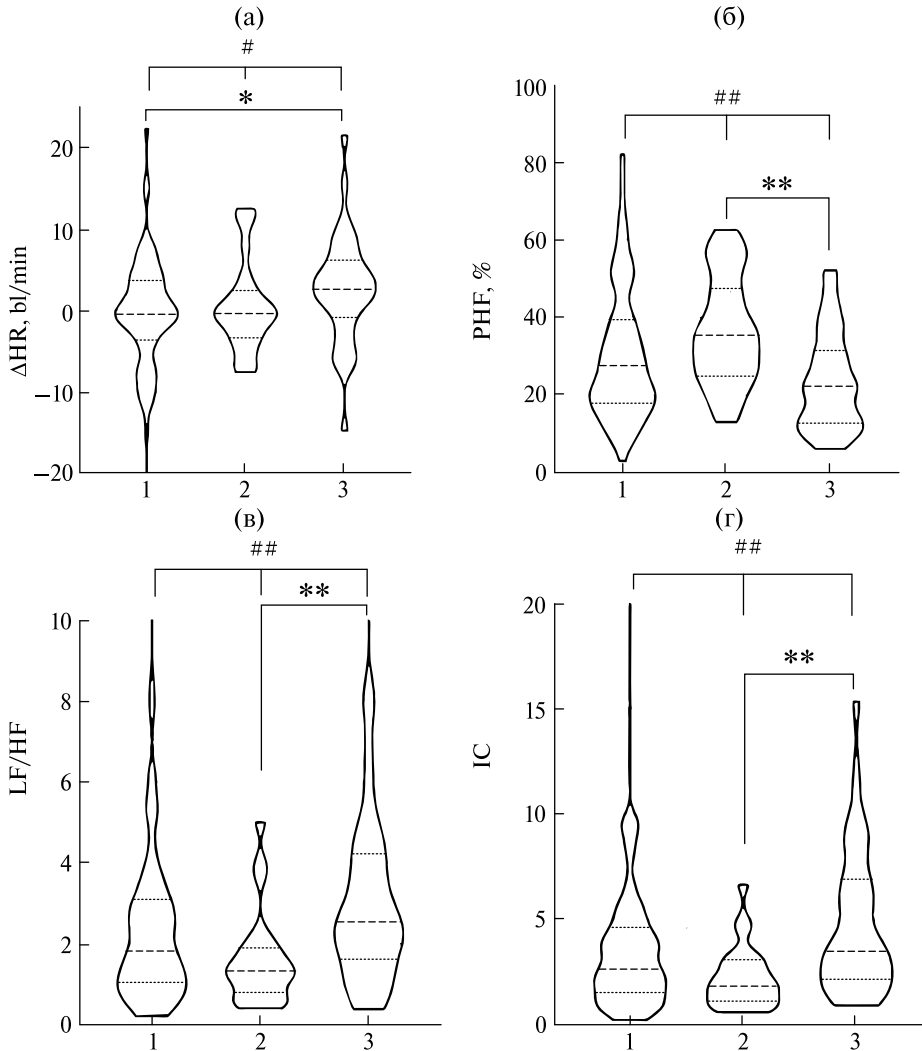
Статистически значимые межгрупповые различия показателей ВСП у испытуемых с разной результативностью при первой кооперации проиллюстрированы на рис. 2. Обнаружены суммарные межгрупповые различия следующих показателей ВСП: изменения SDNN при кооперации относительно индивидуального этапа деятельности ( $\Delta SDNN$ ; KW:  $H(2, 130) = 5,96, p = 0,05$ ; рис. 2а), PHF (KW:  $H(2, 130) = 8,11, p = 0,02$ ; рис. 2б), LF/HF (KW:  $H(2, 130) = 6,52, p = 0,04$ ; рис. 2в) и IC (KW:  $H(2, 130) = 8,11, p = 0,02$ ; рис. 2г).

**Таблица 1.** Результаты статистического анализа показателей ВСР испытуемых в исходном состоянии оперативного покоя (Фон) и в разных контекстах сенсомоторной деятельности  
**Table 1.** Results of statistical analysis of HRV indices of subjects in the initial state of operational rest (Background) and in different contexts of sensorimotor activity

Контексты Показатели	Фон	Индивидуально	Соревнование	Кооп1	Кооп2
ЧСС, уд/мин	80,8 (73,3; 87,3)	78,5 (70,2; 87,0) ***	79,0 (71,4; 87,8)	78,2 (72,3; 87,6)	79,9 (74,1; 87,8) ■■■■
SDNN, мс	52,2 (38,3; 67,7)	46,9 (37,0; 62,2) ***	54,7 (42,4; 70,6) ####	53,8 (42,7; 65,7) ++++	60,1 (44,5; 69,6) ■■
RMSSD, мс	31,5 (22,7; 40,5)	34,1 (23,3; 47,4) **	33,6 (24,7; 49,3)	34,5 (24,7; 48,7)	32,2 (25,4; 50,3)
TP, мс <sup>2</sup>	2527 (1367; 4321)	2015 (1233; 3259) ***	2355 (1279; 3853) ##	2564 (1533; 3836) +++ □□	2953 (1819; 4510) ■■■
PHF, %	24,0 (14,7; 33,7)	27,9 (20,1; 38,3) ****	27,2 (17,2; 38,7)	24,0 (16,2; 34,0) ++++ □□□	20,7 (13,3; 29,8) ■■■
PLF, %	50,2 (40,6; 62,0)	50,0 (37,9; 60,5) *	48,8 (38,8; 57,8)	51,1 (44,1; 60,5) ++ □□	56,0 (43,9; 64,3) ■■
LF/HF	2,148 (1,325; 4,062)	1,784 (1,005; 2,79) ****	1,882 (1,044; 3,165)	2,041 (1,344; 3,46) +++ □□	2,564 (1,617; 4,299) ■■
PVLF (%)	21,5 (13,3; 28,6)	18,8 (10,7; 26,1) **	20,0 (13,1; 28,3)	20,3 (14,7; 27,2)	20,3 (14,3; 28,0)
IC	3,176 (1,968; 5,788)	2,046 (1,407; 3,475) ****	2,677 (1,585; 4,802) ###	3,162 (1,941; 5,183) ++++ □□	3,825 (2,354; 6,511) ■■

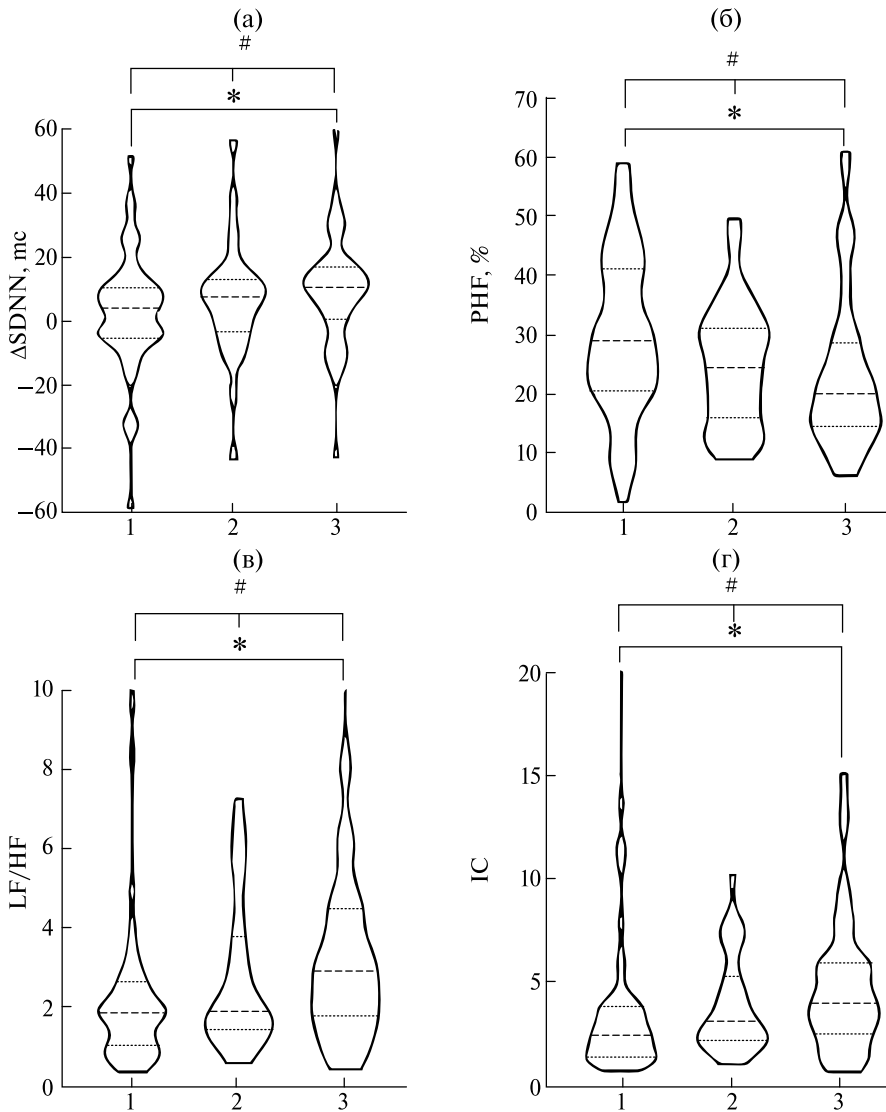
*Примечание.* Различия показателей ВСР между контекстами обозначены символами: \* – при индивидуальном СМТ по сравнению с фоном, # – при соревновательном тренинге относительно индивидуального, + – при Кооп1 по сравнению с индивидуальным СМТ, □ – при Кооп1 по сравнению с соревновательным СМТ, ■ – при Кооп2 по сравнению с Кооп1. Количество символов соответствует уровням значимости различий с вероятностями 1 –  $p < 0,1$ , 2 –  $p < 0,05$ , 3 –  $p < 0,01$ , 4 –  $p < 0,001$ .

*Notes.* Differences in HRV parameters between contexts are indicated by symbols: \* – for individual SMT compared to background, # – for competitive training compared to individual, + – for Coop1 compared to individual SMT, □ – for Coop1 compared to competitive SMT, ■ – for Coop2 compared to Coop1. The number of symbols corresponds to the significance levels of differences with probabilities: 1 –  $p < 0.1$ , 2 –  $p < 0.05$ , 3 –  $p < 0.01$ , 4 –  $p < 0.001$ .



**Рис. 1.** Скрипичные диаграммы изменения ЧСС при соревновании относительно индивидуального этапа  $\Delta$ HR (а), PHF (б), LF/HF (в) и IC (г) в высоко- (1), средне- (2) и низкорезультативных (3) группах испытуемых в соревновательном контексте СМТ. Здесь и на рис. 2: ось абсцисс – группы, оси ординат – шкалы показателей. Штриховые линии внутри «скрипок» соответствуют медианам, пунктирные линии – квартилям Q1 и Q3 всего диапазона распределения показателей. Решетками (#) обозначены различия между всеми тремя группами по KW, звездочками (\*) – парные различия между группами по MU. \*, # –  $p < 0,05$ ; \*\*, ## –  $p < 0,01$

**Fig. 1.** Violin plots of changes in HR relative to the individual stage (a), PHF (б), LF/HF (в) and IC (г) in high- (1), medium- (2) and low- (3) effective groups of subjects in the competitive context of SMT. Abscissa axis – groups, ordinate axis – scales of indicators. The dashed lines inside the “violins” indicate medians, dotted lines – quartiles Q1 and Q3 of the entire range of the distribution of indicators. Hash marks (#) indicate significant differences between all three groups (KW), asterisks (\*) – paired differences between groups (MU). \*, # –  $p < 0.05$ ; \*\*, ## –  $p < 0.01$



**Рис. 2.** Скрипичные диаграммы изменения SDNN при кооперации относительно индивидуального этапа  $\Delta$ SDNN (а), PHF (б), LF/HF (в) и IC (г) в высоко- (1), средне- (2) и низкорезультативных (3) группах испытуемых в кооперативном контексте СМТ. Обозначения как на рис. 1

**Fig. 2.** Violin plots of SDNN change relative to the individual stage (a), PHF (б), LF/HF (в), and IC (г) in high- (1), medium- (2), and low- (3) performing groups of subjects in the cooperative SMT context. Legend as in Fig. 1

Выявлены множественные различия между высоко- и низкорезультативными группами при кооперации. Высокорезультативные испытуемые характеризовались низкими значениями LF/HF, IC, высокой PHF и отсутствием изменений

показателя ВСР относительно индивидуального этапа ( $\Delta$ SDNN). У низкорезультативных испытуемых при кооперации значимо возростала вариабельность кардиоритма относительно индивидуального контекста ( $\Delta$ SDNN), наблюдалась низкая PNF, высокие значения LF/HF и IC.

Далее был проведен корреляционный анализ взаимосвязей между показателями результативности СМТ и характеристиками ВСР в разных социальных контекстах по всей выборке испытуемых (табл. 2).

**Таблица 2.** Коэффициенты корреляции (rs) между показателями результативности СМТ в разных социальных условиях деятельности и основными характеристиками ВСР испытуемых

**Table 2.** Correlation coefficients (rs) between the performance indicators of the SMT in different social conditions of activity and the main HRV characteristics of subjects

Контексты	Корреляционные связи		rs	p
	Показатели результативности	Характеристики ВСР		
Индивидуально (инд)	Rинд	$\Delta$ ЧСС(инд-фон)	-0,12	0,10
Соревнование (сор)	R(сор)	$\Delta$ ЧСС(сор-инд)	-0,20	0,023
	$\Delta$ R(сор-инд)	$\Delta$ ЧСС(сор-инд)	-0,27	0,002
	R(сор)	$\Delta$ LF/HF(сор-инд)	-0,14	0,10
	R(сор)	$\Delta$ IC(сор-инд)	-0,15	0,09
Кооперация1 (кооп1)	$\Delta$ R(кооп1-инд)	$\Delta$ ЧСС(кооп1-инд)	-0,27	0,002
	R(кооп1)	$\Delta$ SDNN(кооп1-инд)	-0,18	0,046
	R(кооп1)	$\Delta$ SDNN(кооп1-сор)	-0,18	0,04
	R(кооп1)	PNF(кооп1)	0,25	0,004
	R(кооп1)	LF/HF	-0,21	0,014
	R(кооп1)	IC(кооп1)	-0,25	0,004
	$\Delta$ R(кооп1-инд)	IC(кооп1)	-0,17	0,05
Кооперация2 (кооп2)	R(кооп2)	$\Delta$ SDNN(кооп2-кооп1)	-0,24	0,006
	$\Delta$ R(кооп2-кооп1)	$\Delta$ SDNN(кооп2-кооп1)	-0,25	0,004
	R(кооп2)	PNF(кооп2)	0,20	0,027
	R(кооп2)	$\Delta$ PNF(кооп2-кооп1)	0,17	0,051
	$\Delta$ R(Кооп2-Кооп1)	$\Delta$ PNF(кооп2-Кооп1)	0,25	0,005
	R(кооп2)	LF/HF(кооп2)	-0,17	0,063
	R(кооп2)	PVLF(кооп2)	-0,19	0,030
	R(кооп2)	IC(кооп2)	-0,20	0,027
$\Delta$ R(кооп2-кооп1)	$\Delta$ IC(кооп2-кооп1)	-0,21	0,015	

*Примечание.* Коэффициенты корреляции вычислены между абсолютными значениями результативности (R) и показателями ВСР, их относительными изменениями ( $\Delta$ ) в разных условиях деятельности.

*Notes.* The correlation coefficients were calculated between absolute performance values (R) and HRV indicators, as well as between their relative changes ( $\Delta$ ) in different activity contexts.

Выявлена только одна отрицательная корреляция между максимальной результативностью СМТ в индивидуальных условиях с изменением ЧСС испытуемых относительно фонового состояния. При соревновании результативность отрицательно коррелировала с  $\Delta$ ЧСС и  $\Delta$ LF/HF. Также были обратно взаимосвязаны изменения результативности  $\Delta$ R и  $\Delta$ ЧСС при соревновании относительно индивидуального этапа.

Абсолютные значения результативности при кооперации 1 и их изменения относительно предыдущих этапов отрицательно коррелировали с  $\Delta$ ЧСС(кооп1-инд), LF/HF и IC. Результативность испытуемых в условиях кооперации была прямо взаимосвязана с PHF. Выявлены отрицательные корреляции между кооперативной результативностью R(кооп1) и  $\Delta$ SDNN относительно индивидуального и соревновательного этапов деятельности. При кооперации без обратной связи от действия партнеров выявлены схожие по характеру корреляции результативности и показателей ВСП испытуемых: положительные – с PHF и  $\Delta$ PHF, отрицательные – с  $\Delta$ SDNN, LF/HF, IC и  $\Delta$ IC. Кроме того, обнаружена обратная взаимосвязь между уровнями результативности и показателя PVLf.

Таким образом, выявлены различные сочетания корреляционных взаимосвязей между показателями ВСП и результативностью СМТ в совместных условиях деятельности. В совокупности эти данные могут говорить о том, что в характеристиках ВСП находят отражение процессы психоэмоционального напряжения, уровень которого зависит от результативности деятельности в разных социальных условиях.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В результате нашего исследования показано, что изменения показателей ВСП испытуемых зависят от социальных условий сенсомоторной деятельности в диадах и достигаемой результативности.

В индивидуальных условиях тренировок происходили разнонаправленные изменения показателей ВСП испытуемых по сравнению с исходным состоянием оперативного покоя. Согласно литературным данным, они, с одной стороны, свидетельствуют о росте психоэмоционального напряжения (снижение TP и SDNN) [26], а с другой стороны, рост RMSSD и PHF при снижении ЧСС и LF/HF отражает преобладание парасимпатических влияний на сердечную деятельность над активацией симпатического отдела вегетативной нервной системы.

Во всех совместных условиях деятельности наблюдалось увеличение стандартного отклонения, суммарной спектральной мощности и индекса централизации ВСП испытуемых. Увеличение индекса централизации наблюдается при росте вклада мощностей VLF и LF диапазонов ВСП в суммарную мощность спектра. При кооперативной деятельности (особенно без обратной связи от действий партнеров) по сравнению с индивидуальным и соревновательным контекстами наблюдался рост ВСП за счет увеличения колебаний в низкочастотном диапазоне при снижении высокочастотных, что отражалось на повышении индекса централизации и соотношения LF/HF.

Согласно некоторым исследованиям [27], в низкочастотном диапазоне колебаний ВСП выделяют два компонента, отражающие разные центрально-вегетативные влияния на сердечную деятельность. Авторы считают, что нижний диапазон (0,06–0,1 Гц) связан с сосудистыми механизмами симпатического происхождения, а верхний диапазон (0,1–0,15 Гц) отражает влияние центральных механизмов

регуляции, опосредованное активностью блуждающего нерва. Показано также, что в многокомпонентной структуре очень низкочастотного VLF-диапазона ВСР проявляются механизмы нисходящего нейросоматического контроля вегетативной регуляции, как собственно нейрогенных путей, так и нейрогормональных и метаболических [28].

Показано, что активность отделов вегетативной нервной системы находится под контролем ряда корковых и подкорковых структур головного мозга, названных центральной автономной сетью [29]. В условиях психологического стресса и психоэмоционального напряжения корково-подкорковые области этой нейронной сети могут оказывать прямое и опосредованное влияние на сердечную деятельность через вегетативную нервную систему (в частности, симпатическую активацию с последующим парасимпатическим торможением), что подтверждено и фМРТ-исследованием сопряженности мозговой активности и ЧСС [30]. Именно это обеспечивает включение работы сердца как компонента гомеостатического уровня в различные функциональные системы, обеспечивающие целенаправленное поведение индивидов, опережающие приспособительные механизмы и процессы адаптации к изменениям окружающей среды [9–10].

Нами обнаружено, что в условиях соревнования у низкорезультативных испытуемых, в отличие от высоко- и среднерезультативных, наблюдался значимый рост ЧСС, соотношения низко- и высокочастотных колебаний ВСР и индекса централизации. Корреляционный анализ данных также свидетельствует о том, что чем выше были эти характеристики вариабельности кардиоритма у испытуемых, тем ниже уровни достигаемой результативности в индивидуальных и соревновательных условиях деятельности.

Показано, что соревновательный контекст деятельности в диадах вызывал негативные эмоциональные или стрессорные состояния у участников, которые сопровождалось снижением вариабельности и повышением частоты кардиоритма [31]. У этих же испытуемых при выполнении нейтральных заданий и в условиях сотрудничества, а также при положительно окрашенных эмоциональных состояниях изменения показателей ВСР были незначительными. Также обнаружено, что при соревновании с более эффективным игроком, по сравнению со всеми другими социальными контекстами деятельности, наблюдается увеличение уровня воспринимаемого стресса и ЧСС [23].

В проведенном нами исследовании обнаружено, что у испытуемых со средним уровнем результативности при соревновании преобладали парасимпатические регуляторные влияния на сердечную деятельность. Это может отражать наименьший уровень их психоэмоционального напряжения по сравнению с высоко- и низкорезультативными участниками. Особенности взаимосвязей результативности и показателей ВСР испытуемых, вероятно, можно объяснить разными уровнями их соревновательной мотивации и эмоциональной устойчивости к негативной оценке совершаемых ими ошибок. Низкорезультативные участники, проигрывая соперникам, могли испытывать негативные эмоции, а высокорезультативные испытуемые были мотивированы сильнее других в достижении победы. Вследствие вышеперечисленных причин у участников данных групп при соревновании может возникать высокий уровень психоэмоционального напряжения.

В работе Patron с соавт. [32] проведен анализ показателей ВСР у высококонкурентных испытуемых (менеджеров высшего звена) в процессе парных соревновательных тренингов с биологической обратной связью, направленной на регуляцию

уровня респираторной синусовой аритмии. В этом исследовании обнаружено повышение самоконтроля у соревнующихся испытуемых с усилением активности парасимпатического отдела ВНС (увеличение показателей вариативности кардиоритма, спектральной мощности высокочастотного диапазона ВСР), что в конечном итоге привело к снижению психофизиологического напряжения по характеристикам сердечно-сосудистой системы (уменьшение ЧСС и снижение систолического артериального давления).

В проведенном нами исследовании выявлены значимые межгрупповые различия показателей ВСР высоко- и низкорезультативных испытуемых в условиях сотрудничества. Характеристики ВСР у более успешных партнеров свидетельствуют о преобладании активности парасимпатической нервной системы в регуляции сердечной деятельности. У испытуемых с низкой результативностью при кооперации были выше ЧСС и индексы ВСР, вероятно, указывающие на преобладание симпатических и надсегментарных влияний на работу сердца. Выявлены положительные корреляционные связи между кооперативной результативностью и спектральной мощностью высокочастотных колебаний ВСР, показателя регуляторных влияний парасимпатической нервной системы. Отрицательные корреляции результативности обнаружены с увеличением ЧСС и мощностей спектров в низко- и очень низкочастотных диапазонах ВСР, отражающих активацию центральных и вегетативных звеньев регуляции сердечной деятельности.

Полученные нами данные согласуются с результатами других исследований. Изучение соматовегетативных показателей при межличностных отношениях и сотрудничестве позволило обнаружить, что люди с высокой ВСР по сравнению с индивидами с низкой вариабельностью обладают более выраженными навыками социальных взаимодействий: лучшим распознаванием выражения лиц [33–34], сильными социозэмоциональными реакциями [35–36], склонностью и предпочтением к кооперативным взаимодействиям, а не к конкурентным [37–39].

Narriharan с соавт. [20] показали, что в условиях кооперации ЧСС испытуемых отрицательно коррелировала с результативностью партнеров. В исследовании Sariñana-González с соавт. [21] также обнаружено, что у участников, которые сотрудничали в диадах с незнакомцами, наблюдались более высокая частота кардиоритма и низкая спектральная мощность в высокочастотном диапазоне ВСР. Это свидетельствовало о более низкой активности парасимпатической нервной системы при кооперации по сравнению с таковой в индивидуальном и соревновательном контекстах деятельности. Кроме того, в этой работе выявлено влияние фактора пола и достигаемой результативности на спектральную мощность этого диапазона ВСР: ее уровень был ниже у мужчин в условиях кооперации, а также у проигравших при соревновании, чем у испытуемых с низкой результативностью в одиночных испытаниях.

При сопоставлении показателей деятельности в тесте Струпа у испытуемых в условиях сотрудничества и соревнования с более слабыми или сильными партнерами в диаде было показано, что кооперация с менее эффективным человеком и соревнование с более успешным соперником приводят к одинаковому улучшению результативности. Однако соревнование с более опытным противником вызывало увеличение уровня субъективно воспринимаемого стресса и усиление психоэмоционального напряжения испытуемых (по показателям кардиоритма) [23].

На основе многочисленных данных о взаимосвязях между склонностью к сотрудничеству и показателями ВСР, отражающими парасимпатические регуляторные

влияния на сердечно-сосудистую систему, была предложена поливагусная теория Porges, которая подчеркивает ведущую роль тонуса парасимпатической нервной системы в «системе социального вовлечения» взаимодействующих субъектов [40].

В кооперативном контексте деятельности без обратной связи от действий партнеров выявлены наиболее выраженный рост частоты и variability ритма, суммарной спектральной мощности за счет увеличения мощности в низкочастотном диапазоне со снижением мощности в высокочастотной диапазоне ВСП испытуемых. Разнонаправленные изменения статистических и спектральных показателей ВСП в условиях сотрудничества требуют дальнейшего изучения, возможно, с использованием нелинейных методов анализа с целью выявления структуры ритмической организации сердечной деятельности и вклада в ее регуляцию разных нейровисцеральных механизмов [41].

Ранее нами было показано снижение результативности у мужчин в условиях сотрудничества, особенно значимое при кооперации без обратной связи [42]. Обратная связь от реализации программ действий и достигаемых результатов является ключевым звеном функциональных систем гомеостатического и поведенческого уровня организации [9]. Сенсорная, процессуальная и результирующая обратная связь играет решающую роль в эффективности как индивидуальной [43], так и совместной [44] деятельности. Согласно теории функциональных систем, отсутствие или несоответствие обратной связи ожидаемой афферентации вызывает процессы рассогласования в акцепторе результатов действий.

Вероятно, сложность межличностной координации и значительное увеличение интегральной ошибочности совместной деятельности пар вызывали дополнительную когнитивную и сенсомоторную нагрузку, которая могла приводить к психоэмоциональному напряжению и состоянию стресса, более выраженного, чем в других социальных контекстах деятельности. Для того, чтобы более полно оценить состояние социального стресса, активацию симпатической нервной системы и баланс отделов вегетативной нервной системы человека в процессе межличностных взаимодействий, необходимо в последующем включить в протокол обследований регистрацию дополнительных неинвазивных маркеров стресса, таких как уровень гормонов в слюне, артериального давления, параметров кожно-гальванической и электродермальной реакций.

Результаты, полученные в нашем исследовании, расширяют имеющиеся представления о соматовегетативных механизмах, обеспечивающих достижение человеком результатов в разных условиях социальных взаимодействий. Полученные данные могут быть использованы для разработки новых методик подбора состава эффективных команд с сохранением психосоматического здоровья людей. Перспективным представляется анализ динамики ВСП в различных социальных условиях у испытуемых с разными исходными типами регуляции сердечной деятельности и личностными характеристиками, например, уровнями нейротизма, ситуативной тревожности, склонностей к доминированию или сотрудничеству.

Ограничением данного исследования является то, что выборка испытуемых состояла из молодых мужчин, обучающихся в ВУЗах и не имеющих опыта профессиональной деятельности в трудовых коллективах. Известны возрастные и половые различия исходных характеристик ВСП человека и их изменений при различных видах нагрузок [31, 45–46]. В дальнейшем желательно провести исследования с целью сравнительного анализа динамик результативности и показателей ВСП в процессе совместной деятельности между выборками испытуемых разного пола, возраста и профессионального опыта.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В совместных контекстах сенсомоторной деятельности в диадах, по сравнению с индивидуальными тренингами, у испытуемых наблюдаются изменения показателей ВСР, свидетельствующие об усилении влияний надсегментарных структур головного мозга на сердечную деятельность и смещении вегетативного баланса в сторону преобладания активности симпатической нервной системы над парасимпатической. При кооперации без обратной связи от действий партнеров увеличивалась сложность их межличностной координации, которая приводила к росту психоэмоционального напряжения и развитию состояния социального стресса. Обнаружены различия показателей ВСР между группами испытуемых с разной результативностью в соревновательном и кооперативных контекстах деятельности. Уровень результативности в совместных контекстах деятельности коррелировал отрицательно с показателями активности симпатической нервной системы (ЧСС, спектральная мощность низкочастотного диапазона ВСР), а в условиях кооперации – положительно с одним из индикаторов активности парасимпатической нервной системы (спектральной мощностью высокочастотного диапазона).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Муртазина Е.П., Буянова И.С. Исследования межсубъектно взаимосвязанных изменений активности структур головного мозга в процессе социальных отношений методами гиперсканирования. *Экспериментальная психология*. 2021. Т. 14. № 4. С. 205–223. <https://doi.org/10.17759/exppsy.2021140411>
2. Nicolini P., Malfatto G., Lucchi T. Heart rate variability and cognition: a narrative systematic review of longitudinal studies. *J. Clin. Med.* 2024. Vol. 13. No. 1. 280. <https://doi.org/10.3390/jcm13010280>
3. Муртазина Е.П., Матюлько И.С., Журавлёв Б.В. и др. Соматовегетативные компоненты социальных взаимодействий (Обзор). *Журнал медико-биологических исследований*. 2019. Т. 7. № 3. С. 349–362. <https://doi.org/10.17238/issn2542-1298.2019.7.3.349>
4. Mauersberger H., Tune J.L., Kastendieck T., Czarna A.Z., Hess U. Higher heart rate variability predicts better affective interaction quality in non-intimate social interactions. *Psychophysiology*. 2022. Vol. 59. No. 11. e14084. <https://doi.org/10.1111/psyp.14084>
5. Kähkönen J.E., Krämer U.M., Buades-Rotger M., Beyer F. Regulating interpersonal stress: The link between heart-rate variability, physical exercise and social perspective taking under stress. *Stress*. 2021. Vol. 24. No. 6. Pp. 753–762. <https://doi.org/10.1080/10253890.2021.1907339>
6. Deits-Lebehn C., Smith T.W., Williams P.G., Uchino B.N. Heart rate variability during social interaction: effects of valence and emotion regulation. *Int. J. Psychophysiol.* 2023. Vol. 190. Pp. 20–29. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2023.06.004>
7. Галушка Е.С., Муртазина Е.П., Ермакова О.И. и др. Психологические факторы результативности сенсомоторной деятельности моногендерных пар испытуемых в различных социальных контекстах. *Вестник психофизиологии*. 2024. № 3. С. 34–42. <https://doi.org/10.34985/u1881-6597-9700-k>

8. Zaehringer J., Jennen-Steinmetz C., Schmahl C. et al. Psychophysiological effects of downregulating negative emotions: insights from a meta-analysis of healthy adults. *Front. Psychol.* 2020. Vol. 11. 470. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00470>
9. Анохин П.К. *Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем.* Москва, 1971.
10. Судаков К.В. Системные механизмы саморегуляции здоровья. *Вестник Международной академии наук. Русская секция.* 2012. № 2. С. 13–19.
11. Veldhuijzen Van Zanten J.J.C.S., De Boer D., Harrison L.K. et al. Competitiveness and hemodynamic reactions to competition. *Psychophysiology.* 2002. Vol. 39. No. 6. Pp. 759–766. <https://doi.org/10.1111/1469-8986.3960759>
12. Cooke A., Kavussanu M., McIntyre D. et al. Effects of competition on endurance performance and the underlying psychological and physiological mechanisms. *Biol. Psychol.* 2011. Vol. 86. No. 3. Pp. 370–378. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2011.01.009>
13. Song H., Kim J., Tenzek K.E. et al. The effects of competition and competitiveness upon intrinsic motivation in exergames. *Comput. Hum. Behav.* 2013. Vol. 29. No. 4. Pp. 1702–1708. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2013.01.042>
14. Sassenrath C., Barthelmäs M., Saur J. et al. Inducing empathy affects cardiovascular reactivity reflected in changes in high-frequency heart rate variability. *Cognit. Emot.* 2021. Vol. 35. No. 2. Pp. 393–399. <https://doi.org/10.1080/02699931.2020.1826910>
15. Cho A., Park S., Lee H. et al. The physiological measurement and evaluation of empathy of video content. *Sci. Rep.* 2023. Vol. 13. 20190. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-47288-1>
16. Beersma B., Hollenbeck J.R., Humphrey S.E. et al. Cooperation, competition, and team performance: toward a contingency approach. *Acad. Manag. J.* 2003. Vol. 46. Pp. 572–590. <http://doi.org/10.2139/ssrn.325401>
17. Mendl J., Fröber K., Dolk T. Are You Keeping an Eye on Me? The influence of competition and cooperation on joint Simon task performance. *Front. Psychol.* 2018. Vol. 9. 1361. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01361>
18. Decety J., Jackson P.L., Sommerville J.A. et al. The neural bases of cooperation and competition: An fMRI investigation. *Neuroimage.* 2004. Vol. 23. No. 2. Pp. 744–751. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.05.025>
19. Ермакова О.И., Муртазина Е.П., Галушка Е.С. и др. Сравнительный анализ особенностей когнитивной деятельности людей в индивидуальном и соревновательном контекстах. *Современные вопросы биомедицины.* 2024. Т. 8. № 2. С. 65–73. [https://doi.org/10.24412/2588-0500-2024\\_08\\_02\\_7](https://doi.org/10.24412/2588-0500-2024_08_02_7)
20. Hariharan A., Dorner V., Adam M.T.P. Impact of cognitive workload and emotional arousal in cooperative and competitive interactions. В сб.: Davis F.D., Riedl R., vom Brocke J. et al. (eds.) *Information Systems and Neuroscience: Gmunden Retreat on NeuroIS 2016.* Cham: Springer, 2017. Pp. 35–42.
21. Sariñana-González P., Romero-Martínez Á., Moya-Albiol L. Cooperation between strangers in face-to-face dyads produces more cardiovascular activation than competition or working alone. *J. Psychophysiol.* 2019. Vol. 33. No. 2. Pp. 65–75. <https://doi.org/10.1027/0269-8803/a000210>

22. Maye A., Lorenz J., Stoica M., Engel A.K. Subjective evaluation of performance in a collaborative task is better predicted from autonomic response than from true achievements. *Front. Human Neurosci.* 2020. Vol. 14. 234. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00234>
23. De Francesco L., Mazza A., Sorrenti M. et al. Cooperation and competition have same benefits but different costs. *iScience.* 2024. Vol. 27. No. 7. 110292. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.110292>
24. Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. *Eur. Heart J.* 1996. Vol. 17. No. 3. Pp. 354–381.
25. Галушка Е.С., Муртазина Е.П., Ермакова О.И. и др. Результативность выполнения сенсомоторных тренировок в индивидуальном и соревновательном контекстах деятельности испытуемыми в диадах. *Психология. Психофизиология.* 2024. Т. 17. № 2. С. 78–88. <https://doi.org/10.14529/jpps240207>
26. Castaldo R., Melillo P., Bracale U. et al. Acute mental stress assessment via short term HRV analysis in healthy adults: A systematic review with meta-analysis. *Biomed. Signal Process. Control.* 2015. Vol. 18. Pp. 370–377. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2015.02.012>
27. Schwerdtfeger A.R., Schwarz G., Pfurtscheller K. et al. Heart rate variability (HRV): From brain death to resonance breathing at 6 breaths per minute. *Clin. Neurophysiol.* 2020. Vol. 131. No. 3. Pp. 676–693. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2019.11.013>
28. Флейшман А.Н., Кораблина Т.В., Петровский С.А. и др. Сложная структура и нелинейное поведение very low frequency variability ритма сердца: модели анализа и практические приложения. *Известия вузов. ПНД.* 2014. Т. 22. № 1. С. 55–70. <https://doi.org/10.18500/0869-6632-2014-22-1-55-70>
29. Stiedl O., Hager T. Cardiovascular conditioning: neural substrates. *Reference Module in Neuroscience and Biobehavioral Psychology.* Elsevier, 2017. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809324-5.00279-0>
30. Sentis A.I., Rasero J., Gianaros P.J. et al. Cortical and subcortical brain networks predict prevailing heart rate. *Psychophysiology.* 2024. Vol. 61. No. 11. e14641. <https://doi.org/10.1111/psyp.14641>
31. Shahrestani S., Stewart E.M., Quintana D.S. et al. Heart rate variability during adolescent and adult social interactions: a meta-analysis. *Biol. Psychol.* 2015. Vol. 105. Pp. 43–50. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2014.12.012>
32. Patron E., Munafò M., Messerotti Benvenuti S. et al. Not all competitions come to harm! Competitive biofeedback to increase respiratory sinus arrhythmia in managers. *Front. Neurosci.* 2020. Vol. 14. 855. <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.00855>
33. Lischke A., Lemke D., Neubert J. et al. Inter-individual differences in heart rate variability are associated with inter-individual differences in mind-reading. *Sci. Rep.* 2017. Vol. 7. No. 1. 11557. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11290-1>
34. Wendt J., Weymar M., Junge M. et al. Heartfelt memories: Cardiac vagal tone correlates with increased memory for untrustworthy faces. *Emotion.* 2019. Vol. 19. No. 1. Pp. 178–182. <https://doi.org/10.1037/emo0000396>

35. Williams D.P., Cash C., Rankin C. et al. Resting heart rate variability predicts self-reported difficulties in emotion regulation: a focus on different facets of emotion regulation. *Front. Psychol.* 2015. Vol. 6. 261. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00261>
36. Beffara B., Bret A.G., Vermeulen N. et al. Resting high frequency heart rate variability selectively predicts cooperative behavior. *Physiol. Behav.* 2016. Vol. 164. Pt. A. Pp. 417–428. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2016.06.011>
37. Dunn B.D., Evans D., Makarova D. et al. Gut feelings and the reaction to perceived inequity: the interplay between bodily responses, regulation, and perception shapes the rejection of unfair offers on the ultimatum game. *Cogn. Affect. Behav. Neurosci.* 2012. Vol. 12. No. 3. Pp. 419–429. <https://doi.org/10.3758/s13415-012-0092-z>
38. Kogan A., Oveis C., Carr E.W. et al. Vagal activity is quadratically related to prosocial traits, prosocial emotions, and observer perceptions of prosociality. *J. Pers. Soc. Psychol.* 2014. Vol. 107. No. 6. Pp. 1051–1063. <https://doi.org/10.1037/a0037509>
39. Lischke A., Mau-Moeller A., Jacksteit R. et al. Heart rate variability is associated with social value orientation in males but not females. *Sci. Rep.* 2018. Vol. 8. No. 1. 7336. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-25739-4>
40. Porges S.W. Polyvagal Theory: A biobehavioral journey to sociality. *Compreh. Psychoneuroendocrinol.* 2021. Vol. 7. 100069. <https://doi.org/10.1016/j.cpnec.2021.100069>
41. Arutyunova K.R., Bakhchina A.V., Sozinova I.M. et al. Complexity of heart rate variability during moral judgment of actions and omissions. *Heliyon.* 2020. Vol. 6. No. 11. e05394. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05394>
42. Зотова О.М., Муртазина Е.П., Галушка Е.С. и др. Взаимосвязь исходных индивидуально-типологических особенностей variability кардиоритма испытуемых с результативностью сенсомоторной деятельности в различных социальных контекстах. *Психология. Психофизиология.* 2024. Т. 17. № 3. С. 87–102. <https://doi.org/10.14529/jpps240308>
43. Туровский Я.А., Алексеев В.Ю., Токарев Р.А. Сенсорные особенности операторов в задачах управления эргатическими системами при отсутствии зрительной обратной связи. *Сенсорные системы.* 2024. Т. 38. № 1. С. 66–78. <https://doi.org/10.31857/S0235009224010058>
44. Hagemann V., Rieth M., Klasmeier K.N. The analysis of collective orientation and process feedback in relation to coordination and performance in interdependently working teams. *PLoS One.* 2024. Vol. 19. No. 3. e0297565. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0297565>
45. Spina G.D., Gonze B.B., Barbosa A.C.B. et al. Presence of age- and sex-related differences in heart rate variability despite the maintenance of a suitable level of accelerometer-based physical activity. *Braz. J. Med. Biol. Res.* 2019. Vol. 52. No. 8. e8088. <https://doi.org/10.1590/1414-431X20198088>
46. Grässler B., Dordevic M., Darius S. et al. Age-Related Differences in Cardiac Autonomic Control at Resting State and in Response to Mental Stress. *Diagnostics.* 2021. Vol. 11. No. 12. 2218. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11122218>

REFERENCES

1. Murtazina E.P., Buyanova I.S. Issledovaniya mezhsobyektno vzaimosvyazannykh izmeneniy aktivnosti struktur golovnogogo mozga v protsesse sotsial'nykh otnosheniy metodami giperskanirovaniya [Studies of Interrelated Changes in Brain Activity During Social Interactions Using Hyperscanning]. *Ekspierimental'naya psikhologiya = Experimental Psychology (Russia)*. 2021;**14**(4):205–223. (In Russ.) <https://doi.org/10.17759/exppsy.2021140411>
2. Nicolini P., Malfatto G., Lucchi T. Heart rate variability and cognition: a narrative systematic review of longitudinal studies. *J. Clin. Med.* 2024;**13**(1):280. <https://doi.org/10.3390/jcm13010280>
3. Murtazina E.P., Matyul'ko I.S., Zhuravlev B.V. et al. Comatovegetativnyye komponenty sotsial'nykh vzaimodeystviy (obzor) [Somatoautonomic Components of Social Interactions (Review)]. *Zhurnal mediko-biologicheskikh issledovaniy = Journal of Medical and Biological Research*. 2019;**7**(3):349–362. (In Russ.) <https://doi.org/10.17238/issn2542-1298.2019.7.3.349>
4. Mauersberger H., Tune J.L., Kastendieck T. et al. Higher heart rate variability predicts better affective interaction quality in non-intimate social interactions. *Psychophysiology*. 2022;**59**(11):e14084. <https://doi.org/10.1111/psyp.14084>
5. Kähkönen J.E., Krämer U.M., Buades-Rotger M. et al. Regulating interpersonal stress: the link between heart-rate variability, physical exercise and social perspective taking under stress. *Stress*. 2021;**24**(6):753–762. <https://doi.org/10.1080/10253890.2021.1907339>
6. Deits-Lebehn C., Smith T.W., Williams P.G. et al. Heart rate variability during social interaction: effects of valence and emotion regulation. *Int. J. Psychophysiol.* 2023;**190**:20–29. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2023.06.004>
7. Galushka E.S., Murtazina E.P., Ermakova O.I. et al. Psikhologicheskiye faktory rezul'tativnosti sensomotornoy deyatelnosti monogendernykh par ispytuyemykh v razlichnykh sotsial'nykh kontekstakh [Psychological factors of the effectiveness of sensorimotor activity of monogender couples of subjects in various social contexts]. *Vestnik psikhofiziologii = Psychophysiology News*. 2024;**3**:34–42. (In Russ.) <https://doi.org/10.34985/u1881-6597-9700-k>
8. Zaehringer J., Jennen-Steinmetz C., Schmahl C. et al. Psychophysiological effects of downregulating negative emotions: insights from a meta-analysis of healthy adults. *Front. Psychol.* 2020;**11**:470. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00470>
9. Anokhin P.K. *Printsipiial'nyye voprosy obshchey teorii funktsional'nykh sistem [Principal questions of the general theory of functional systems]*. Moscow; 1971. (In Russ.)
10. Sudakov K.V. Sistemnyye mekhanizmy samoregulyatsii zdorov'ya [System Mechanisms of Health Selfregulation]. *Vestnik Mezhdunarodnoy akademii nauk. Russkaya sektsiya = Herald of the International Academy of Science. Russian Section*. 2012;**2**:13–19. (In Russ.)
11. Veldhuijzen Van Zanten J.J.C.S., De Boer D., Harrison L.K. et al. Competitiveness and hemodynamic reactions to competition. *Psychophysiology*. 2002;**39**(6):759–766. <https://doi.org/10.1111/1469-8986.3960759>
12. Cooke A., Kavussanu M., McIntyre D. et al. Effects of competition on endurance performance and the underlying psychological and physiological mechanisms. *Biol. Psychol.* 2011;**86**(3):370–378. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2011.01.009>

13. Song H., Kim J., Tenzek K.E. et al. The effects of competition and competitiveness upon intrinsic motivation in exergames. *Comput. Hum. Behav.* 2013;**29**(4):1702–1708. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2013.01.042>
14. Sassenrath C., Barthelmäs M., Saur J. et al. Inducing empathy affects cardiovascular reactivity reflected in changes in high-frequency heart rate variability. *Cognit. Emot.* 2021;**35**(2):393–399. <https://doi.org/10.1080/02699931.2020.1826910>
15. Cho A., Park S., Lee H. et al. The physiological measurement and evaluation of empathy of video content. *Sci. Rep.* 2023;**13**:20190. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-47288-1>
16. Beersma B., Hollenbeck J.R., Humphrey S.E. et al. Cooperation, competition, and team performance: toward a contingency approach. *Acad. Manag. J.* 2003;**46**:572–590. <https://doi.org/10.2139/ssrn.325401>
17. Mendl J., Fröber K., Dolk T. Are you keeping an eye on me? The influence of competition and cooperation on joint Simon task performance. *Front. Psychol.* 2018;**9**:1361. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01361>
18. Decety J., Jackson P.L., Sommerville J.A. et al. The neural bases of cooperation and competition: an fMRI investigation. *Neuroimage.* 2004;**23**(2):744–751. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.05.025>
19. Ermakova O.I., Mur tazina E.P., Galushka E.S. et al. Sravnitel'nyy analiz osobennostey kognitivnoy deyatel'nosti lyudey v individual'nom i sorevnovatel'nom kontekstakh [Comparative study of specific features of people's cognitive activity in individual and competitive contexts]. *Sovremennyye voprosy biomeditsiny = Modern Issues of Biomedicine.* 2024;**8**(2):65–73. (In Russ.) [https://doi.org/10.24412/2588-0500-2024\\_08\\_02\\_7](https://doi.org/10.24412/2588-0500-2024_08_02_7)
20. Hariharan A., Dorner V., Adam M.T.P. Impact of cognitive workload and emotional arousal on performance in cooperative and competitive interactions. In: F.D.Davis, R. Riedl, J. vom Brocke et al. (eds.) *Information Systems and Neuroscience: Gmunden Retreat on NeuroIS 2016*. Cham: Springer; 2017. Pp. 35–42.
21. Sariñana-González P., Romero-Martínez Á., Moya-Albiol L. Cooperation between strangers in face-to-face dyads produces more cardiovascular activation than competition or working alone. *J. Psychophysiol.* 2019;**33**(2):65–75. <https://doi.org/10.1027/0269-8803/a000210>
22. Maye A., Lorenz J., Stoica M. et al. Subjective evaluation of performance in a collaborative task is better predicted from autonomic response than from true achievements. *Front. Hum. Neurosci.* 2020;**14**:234. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00234>
23. De Francesco L., Mazza A., Sorrenti M. et al. Cooperation and competition have same benefits but different costs. *iScience.* 2024;**27**(7):110292. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.110292>
24. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Eur. Heart J.* 1996;**17**(3):354–381.
25. Galushka ES, Mur tazina EP, Ermakova OI et al. Rezul'tativnost' vypolneniya sensomotornykh treningov v individual'nom i sorevnovatel'nom kontekstakh deyatel'nosti ispytuyemyimi v diadakh [Effectiveness of sensorimotor training in individual and competitive activity contexts for subjects in dyads]. *Psikhologiya. Psikhofiziologiya = Psychology. Psychophysiology.* 2024;**17**(2):78–88. (In Russ.) <https://doi.org/10.14529/jpps240207>

26. Castaldo R., Melillo P., Bracale U. et al. Acute mental stress assessment via short term HRV analysis in healthy adults: a systematic review with meta-analysis. *Biomed. Signal Process. Control.* 2015;**18**:370–377. <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2015.02.012>
27. Schwerdtfeger A.R., Schwarz G., Pfurtscheller K. et al. Heart rate variability (HRV): from brain death to resonance breathing at 6 breaths per minute. *Clin. Neurophysiol.* 2020;**131**(3):676–693. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2019.11.013>
28. Fleishman A.N., Korablina T.V., Petrovskiy S.A. et al. Slozhnaya struktura i nelineynoye povedeniye very low frequency variabel'nosti ritma serdtsa: modeli analiza i prakticheskiye prilozheniya [Complex structure and nonlinear behavior of very low frequency of heart rate variability: model of analysis, and practical applications]. *Izv. VUZ. PND.* 2014;**22**(1):55–70. (In Russ.). <https://doi.org/10.18500/0869-6632-2014-22-1-55-70>
29. Stiedl O., Hager T. Cardiovascular conditioning: neural substrates. *Reference Module in Neuroscience and Biobehavioral Psychology.* Elsevier; 2017. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809324-5.00279-0>
30. Sentis A.I., Rasero J., Gianaros P.J. et al. Cortical and subcortical brain networks predict prevailing heart rate. *Psychophysiology.* 2024;**61**(11):e14641. <https://doi.org/10.1111/psyp.14641>
31. Shahrestani S., Stewart E.M., Quintana D.S. et al. Heart rate variability during adolescent and adult social interactions: a meta-analysis. *Biol. Psychol.* 2015;**105**:43–50. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2014.12.012>
32. Patron E., Munafò M., Messerotti Benvenuti S. et al. Not all competitions come to harm! Competitive biofeedback to increase respiratory sinus arrhythmia in managers. *Front. Neurosci.* 2020;**14**:855. <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.00855>
33. Lischke A., Lemke D., Neubert J. et al. Inter-individual differences in heart rate variability are associated with inter-individual differences in mind-reading. *Sci. Rep.* 2017;**7**(1):11557. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11290-1>
34. Wendt J., Weymar M., Junge M. et al. Heartfelt memories: cardiac vagal tone correlates with increased memory for untrustworthy faces. *Emotion.* 2019;**19**(1):178–182. <https://doi.org/10.1037/emo0000396>
35. Williams D.P., Cash C., Rankin C. et al. Resting heart rate variability predicts self-reported difficulties in emotion regulation: a focus on different facets of emotion regulation. *Front. Psychol.* 2015;**6**:261. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00261>
36. Beffara B., Bret A.G., Vermeulen N. et al. Resting high frequency heart rate variability selectively predicts cooperative behavior. *Physiol. Behav.* 2016;**164**(Pt A):417–428. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2016.06.011>
37. Dunn B.D., Evans D., Makarova D. et al. Gut feelings and the reaction to perceived inequity: the interplay between bodily responses, regulation, and perception shapes the rejection of unfair offers on the ultimatum game. *Cogn. Affect. Behav. Neurosci.* 2012;**12**(3):419–429. <https://doi.org/10.3758/s13415-012-0092-z>
38. Kogan A., Oveis C., Carr E.W. et al. Vagal activity is quadratically related to prosocial traits, prosocial emotions, and observer perceptions of prosociality. *J. Pers. Soc. Psychol.* 2014;**107**(6):1051–1063. <https://doi.org/10.1037/a0037509>
39. Lischke A., Mau-Moeller A., Jacksteit R. et al. Heart rate variability is associated with social value orientation in males but not females. *Sci. Rep.* 2018;**8**(1):7336. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-25739-4>
40. Porges S.W. Polyvagal theory: a biobehavioral journey to sociality. *Compr. Psychoneuroendocrinol.* 2021;**7**:100069. <https://doi.org/10.1016/j.cpnec.2021.100069>

41. Arutyunova K.R., Bakhchina A.V., Sozinova I.M. et al. Complexity of heart rate variability during moral judgment of actions and omissions. *Heliyon*. 2020;**6**(11):e05394. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05394>
42. Zotova O.M., Murtazina E.P., Galushka ES et al. Vzaimosvyaz' iskhodnykh individual'no-tipologicheskikh osobennostey variabel'nosti kardioritma ispytuyemykh s rezul'tativnost'yu sensomotornoy deyatel'nosti v razlichnykh sotsial'nykh kontekstakh [Correlation between baseline individual and typological characteristics of resting heart rate variability and sensorimotor performance in different social contexts]. *Psikhologiya. Psikhofiziologiya = Psychology. Psychophysiology*. 2024;**17**(3):87–102. (In Russ.) <https://doi.org/10.14529/jpps240308>
43. Turovskiy Ya.A., Alekseyev V.Yu., Tokarev R.A. et al. Sensornyye osobennosti operatorov v zadachakh upravleniya ergaticheskimi sistemami pri otsutstvii zritel'noy obratnoy svyazi [Individual and typological features of motor memory in problems of control of ergacy systems in the absence of visual feedback]. *Sensornyye sistemy = Sensory systems*. 2024;**38**(1):66–78. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0235009224010058>
44. Hagemann V., Rieth M., Klasmeier K.N. The analysis of collective orientation and process feedback in relation to coordination and performance in interdependently working teams. *PLoS One*. 2024;**19**(3):e0297565. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0297565>
45. Spina G.D., Gonze B.B., Barbosa A.C.B. et al. Presence of age- and sex-related differences in heart rate variability despite the maintenance of a suitable level of accelerometer-based physical activity. *Braz. J. Med. Biol. Res*. 2019;**52**(8):e8088. <https://doi.org/10.1590/1414-431X20198088>
46. Grässler B., Dordevic M., Darius S. et al. Age-related differences in cardiac autonomic control at resting state and in response to mental stress. *Diagnostics*. 2021;**11**(12):2218. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11122218>

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Муртазина Елена Павловна — канд. мед. наук; вед. науч. сотр.,  
ФГБНУ «ФИЦ оригинальных и перспективных биомедицинских  
и фармацевтических технологий», Москва, Российская Федерация  
E-mail: murtazina\_ep@academpharm.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-4243-8727>

Зотова Оксана Михайловна — канд. мед. наук; доц. каф.,  
ФГБОУ ВО «Российский университет медицины»,  
Москва, Российская Федерация  
E-mail: oks\_zotova@mail.ru  
<https://orcid.org/0009-0002-9869-5914>

Галушка Екатерина Сергеевна — мл. науч. сотр.,  
ФГБНУ «ФИЦ оригинальных и перспективных биомедицинских  
и фармацевтических технологий», Москва, Российская Федерация  
E-mail: galushka\_es@academpharm.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-9256-0253>

Перцов Сергей Сергеевич — д-р мед. наук; проф. РАН; чл.-корр. РАН;  
зав. каф. нормальной физиологии и медицинской физики,  
ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» Минздрава России,  
Москва, Российская Федерация;  
дир., НИИ нормальной физиологии имени П.К. Анохина  
ФГБНУ «ФИЦ оригинальных и перспективных биомедицинских и фармацевтических  
технологий», Москва, Российская Федерация  
E-mail: pertsov\_ss@academpharm.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-5530-4990>

Поступила в редакцию 27.05.2025

После доработки 22.10.2025

Принята к публикации 06.11.2025

#### ABOUT THE AUTHORS

Murtazina, Elena P. — Cand. Sc. (Medicine); Head Scientist Researcher, Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Research Center of Original and Promising Biomedical and Pharmaceutical Technologies”, Moscow, Russian Federation  
E-mail: murtazina\_ep@academpharm.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-4243-8727>

Zotova, Oksana M. — Cand. Sc. (Medicine); Associate Professor, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Russian University of Medicine”, Moscow, Russian Federation  
E-mail: oks\_zotova@mail.ru  
<https://orcid.org/0009-0002-9869-5914>

Galushka, Ekaterina S. — Research Assistant, Federal Research Center of Original and Promising Biomedical and Pharmaceutical Technologies, Moscow, Russian Federation  
Email: galushka\_es@academpharm.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-9256-0253>

Pertsov, Sergey S. — Ph.D. (Medicine); Professor, Russian Academy of Sciences; Corresponding Member, Russian Academy of Sciences; Head of the Department of Normal Physiology and Medical Physics, Russian University of Medicine of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation;  
Director, P.K. Anokhin Research Institute of Normal Physiology, Federal Research Center of Original and Promising Biomedical and Pharmaceutical Technologies,  
Moscow, Russian Federation  
Email: pertsov\_ss@academpharm.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-5530-4990>

Received May 27, 2025

Revised October 22, 2025

Accepted November 06, 2025