

УДК: 612.172.2:796.011]-092.9 DOI: 10.24412/1609-2163-2025-3-85-90 EDN FKRFT

**НЕЙРОГУМОРАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ САМЦОВ И САМОК КРЫС ВИСТАР ПРИ РАЗНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПО ДАННЫМ АНАЛИЗА ВАРИАбельНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА**

В. Н. КОРОБОВА, С.М. ГРИГОРЯН, Д.В. ДАНИЛЬЧУК

*ФГБОУ ВО Курский государственный медицинский университет Минздрава России,
ул. Карла Маркса, д. 3, г. Курск, 305041, Россия*

Аннотация. Введение. Изучение особенностей динамики показателей variability сердечного ритма даёт представление о результатах приспособительной реакции к условиям различной физической активности и позволяет оценить степень вовлечения в этот процесс различных регуляторных систем. **Цель исследования** – сравнительный анализ особенностей показателей variability сердечного ритма у свободнодвижущихся самцов и самок крыс Вистар в зависимости от уровня двигательной активности. **Материалы и методы исследования.** Исследование производилось на 16 самцах и 18 самках крыс линии Вистар массой тела в диапазоне от 250 до 300 г включительно в возрасте 5-6 месяцев. Параметры variability сердечного ритма регистрировали посредством применения программно-аппаратного комплекса «Физиобелт» (Нейроботикс, Россия). Анализ variability сердечного ритма проводили по статистическим, геометрическим и спектральным показателям. В качестве двигательной активности применялся бег на тредмиле. **Результаты и их обсуждение.** Достоверно значимые изменения статистических показателей ЧСС и RRNN были зафиксированы у самцов и самок крыс линии Вистар после двигательной активности. Вектор динамики статистических показателей не зависит от половой принадлежности. Изменение параметров Мо и ПАПР отражает смещение баланса вегетативной регуляции в сторону активации симпатического звена нервной системы после перенесенной физической нагрузки у грызунов обоего пола. Проведённый анализ продемонстрировал более быструю адаптацию самцов. Характерное для крыс-самок Вистар изменение показателя АМо обусловлено преобладающим влиянием симпатического отдела в регуляции работы сино-атриального узла. Достоверные различия, полученные при статистической обработке спектральных показателей, были присущи лишь лабораторным животным мужского пола. Изменения, выявленные после физической активности, являются индикаторами развития постнагрузочного энергодефицита. Динамика, регистрируемая в периоде восстановления, связана с повышением активности парасимпатического контура. **Заключение.** Двигательная активность крыс Вистар обоих полов напрямую связана с перестройкой функционирования систем организма. Динамика изученных в ходе экспериментального периода параметров подтверждает перспективу использования рассмотренной методики для оценки тренированности организма и его функционального состояния.

Ключевые слова: variability сердечного ритма, двигательная активность, нейрогуморальная регуляция.

NEUROHUMORAL CHARACTERISTICS OF MALE AND FEMALE WISTAR RATS UNDER DIFFERENT PHYSICAL ACTIVITY LEVELS BASED ON HEART RATE VARIABILITY ANALYSIS

V.N. KOROBОВА, S.M. GRIGORYAN, D.V. DANILCHUK

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Kursk State Medical University of the Ministry of Health of Russia, 3 Karl Marx Street, Kursk, 305041, Russia

Abstract. Introduction. Studying the dynamics of heart rate variability (HRV) indicators provides insight into the results of the adaptive response to different levels of physical activity and allows for the assessment of the degree of involvement of various regulatory systems in this process. **The purpose of the study** was a comparative analysis of HRV features in freely moving male and female Wistar rats depending on the level of motor activity. **Materials and Methods.** The study was conducted on 16 male and 18 female Wistar rats weighing between 250 and 300 g, aged 5–6 months. HRV parameters were recorded using the "Physiobelt" hardware and software system (Neurobotics, Russia). HRV was analyzed based on statistical, geometric, and spectral indicators. Physical activity was implemented as treadmill running. **Results and Discussion.** Statistically significant changes in the statistical indicators of HR and RRNN were recorded in both male and female Wistar rats after physical activity. The dynamics vector of statistical indicators was independent of sex. Changes in the Mo and SI parameters reflected a shift in the balance of autonomic regulation toward sympathetic nervous system activation after physical exertion in rodents of both sexes. The analysis demonstrated faster adaptation in males. The typical change in the AMo parameter observed in female Wistar rats was due to the predominant influence of the sympathetic division in regulating the sinoatrial node. Statistically significant differences in spectral indicators were found only in male laboratory animals. The changes observed after physical activity are indicators of the development of post-exertional energy deficiency. The dynamics recorded during the recovery period were associated with increased activity of the parasympathetic branch. **Conclusion.** Physical activity in male and female Wistar rats is directly related to the restructuring of body system functions. The dynamics of the parameters studied during the experimental period confirm the potential of using this method to assess the training level and functional state of the organism.

Keywords: heart rate variability, physical activity, neurohumoral regulation.

Введение. В настоящее время в экспериментальной медицине широко применяется методика оценки показателей функциональной активности

сердца, в основе которой лежат сопряженные изменения вагусной и симпатической деятельности [2, 6]. *Вариабельность сердечного ритма* (BCP) демонстри-

рует способность нервной системы к гибкому контролю и достижению успешных адаптивных перестроек посредством скоординированных взаимодействий сердца и головного мозга [7].

В основе нормальной регуляции сердечного ритма лежат внутриклеточные биохимические процессы, тонус блуждающего нерва, а также механизмы отрицательной и положительной обратной связи, взаимодействие которых обеспечивает сбалансированную работу сердечно-сосудистой системы [4]. Регуляция функциональной активности сердца является не линейным механизмом, а сложной многоуровневой системой, включающей не только компоненты вегетативной нервной системы, но и различные способы контроля [7]. Факторами, влияющими на полученные в ходе исследования показатели ВСП, считаются породы лабораторных животных, а также особенности их фенотипов [1]. Отсутствие стандартизированных подходов к регистрации ЭКГ, её анализу и интерпретации результатов существенно усложняют объективную оценку данных, полученных в ходе различных исследований, и приводят к получению противоречивых выводов [1, 10]. Использование беспроводного программно-аппаратного комплекса в условиях свободного передвижения лабораторного животного является наиболее перспективным методом регистрации биоэлектрической активности сердца в настоящее время [8].

Данный подход существенно превосходит стандартный вариант регистрации ЭКГ на иммобилизованных и наркотизированных крысах. Информация, полученная путем неинвазивной методики, отличается большей достоверностью, так как системы регуляции при таком способе проведения эксперимента функционируют наиболее приближенно к физиологической норме [1]. Изучение особенностей динамики показателей ВСП даёт представление о результатах приспособительной реакции к условиям различной физической активности и позволяет оценить степень вовлечения в этот процесс различных регуляторных систем [2]. Под воздействием двигательной активности происходит переход на новый уровень энергетического обеспечения и изменение метаболизма, что может оказывать влияние на сердечный ритм [5]. Непродолжительная физическая активность лабораторного животного не оказывает стрессового воздействия [9]. Поэтому для оценки подвижности парасимпатической регуляции целесообразным является использование функциональной пробы с физической нагрузкой на тредмиле [1].

Цель исследования – сравнительный анализ особенностей показателей ВСП у свободноподвижных крыс Вистар мужского и женского пола в зависимости от уровня двигательной активности.

Материалы и методы исследования. Исследование производилось на 16 самцах и 18 самках крыс Вистар массой тела в диапазоне от 250 до 300 г включительно в возрасте 5-6 месяцев, доставленных из SPF-вивария Института цитологии и генетики СО

РАН. Грызуны содержались в пластиковых клетках по 4-5 особей одного пола при температуре воздуха 22 ± 2 °C, световом режиме 12 часов – свет, 12 часов – темнота со свободным доступом к гранулированному корму и воде. Все эксперименты выполнялись в соответствии с Национальным стандартом РФ ГОСТ Р-53434-2009 «Принципы надлежащей лабораторной практики», Приказом Минздрава РФ от 01.04.2016 г. № 199н «Об утверждении правил надлежащей лабораторной практики» и Европейской конвенции *Directive 2010/63/EU of 22 September 2010* и были одобрены Региональным этическим комитетом при Курском государственном медицинском университете протокол № 1 от 17.02.2022 г.

Параметры ВСП регистрировали с сохранением возможности лабораторного животного к свободному перемещению посредством применения специального жилета и программно-аппаратного комплекса «Физиобелт» (Нейроботикс, Россия). До начала эксперимента с целью адаптации грызунов к условиям проводимого исследования 3 раза в неделю осуществляли предварительные записи длительностью 5 минут. Анализ ВПС проводили по статистическим, геометрическим и спектральным показателям [1]. Статистические показатели: ЧСС – частота сердечных сокращений, RRNN – средняя длительность интервалов RR, SDNN – стандартное отклонение полного массива интервалов RR, RMSSD – корень квадратный среднеквадратических отклонений последовательных RR-интервалов, pNN5 (pNNS, pNN10) – отношение числа последовательных пар RR-интервалов, отличающихся более чем на 3 мс (5 мс, 10 мс), к общему числу RR-интервалов, CV – коэффициент вариации. Геометрические показатели: Mo – диапазон значений наиболее часто встречающихся значений RR, AMo – число кардиосигналов, соответствующих значению моды, BP – вариационный размах, ИВР – индекс вегетативного равновесия, ПАПР – показатель адекватности процессов регуляции. Спектральные показатели: TP – суммарная мощность спектра ВПС, HF (мс²) – суммарная мощность высокочастотного компонента ВПС, LF (мс²) – суммарная мощность низкочастотного компонента ВПС, VLF (мс²) – суммарная мощность очень низкочастотного компонента ВПС, HF (%) – мощность спектра высокочастотного компонента variability в % от суммарной мощности колебаний, LF (%) – мощность спектра низкочастотного компонента variability в % от суммарной мощности колебаний, VLF (%) – мощность спектра очень низкочастотного компонента variability в % от суммарной мощности колебаний, LF/HF – индекс вагосимпатического взаимодействия, IC – индекс централизации [2].

Экспериментальный период составлял 9 недель, регистрация записей проводилась в интервале от 10 до 14 часов. В качестве двигательной активности применялся бег на тредмиле (*Treadmill LE8710, Panlab, Испания*) продолжительностью 2 минуты, при этом скорость составляла 0,25 м/с, угол наклона тредмила – 15°. После адаптации к записываемому устройству

продолжительностью 15-20 минут осуществлялась первая запись кардиоинтервала, после чего лабораторное животное на 2 минуты помещалось на беговую дорожку, одновременно с этим начиналась регистрация второго кардиоинтервала. По окончании физической нагрузки грызуна отправляли в клетку и по истечении 15 минут, отводившихся на восстановление, производили третью запись кардиосигнала.

Статистическую обработку результатов проводили с использованием программы *Statistica 13* (*StatSoft Inc.*, США). Для проверки гипотезы о нормальности распределения использовали критерий Шапиро-Уилка, равенства дисперсий – критерий Левене. Полученные данные представлены в виде среднего значения и стандартного отклонения (*MSD*). Достоверность различий определяли с помощью парного *t*-критерия Стьюдента. Для снижения вероятности ошибки первого рода при попарных сравнениях применялась поправка Бежамини-Хохберга. Различия считали статистически достоверными при $p < 0.05$.

Результаты и их обсуждение. Сравнительный анализ особенностей параметров ВСП у крыс Вистар мужского и женского пола осуществлялся в условиях разной двигательной активности: в покое (запись 1), после двигательной активности (запись 2) и после восстановления (запись 3). Статистически значимые результаты были получены при вычислении следующих показателей: ЧСС, *RRNN*, *Mo*, ПАПР.

мечалось среди крыс обоих полов: на 11,74 % среди самцов и на 9,89 % среди самок. Возрастание показателя ЧСС может быть обусловлено повышением активности симпатической нервной системы в связи с тем, что норадреналин, высвобождающийся из окончаний симпатических нервов, увеличивает частоту спонтанных генераций потенциала действия пейсмейкерными клетками. Снижение частоты сердечных сокращений отражает возвращение к исходному уровню нейрогуморальной регуляции путём снижения активности энергетического обмена. Таким образом, вектор динамики показателя ЧСС не зависит от половой принадлежности.

Показатель *RRNN* отражает сложившуюся подвигную совокупность регуляторных воздействий на сердечный ритм симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы. При анализе данных было отмечено убывание показателя *RRNN* после двигательной активности по сравнению с результатами, зафиксированными у грызунов в покое: на 6,18 % и 7,95 % у самцов и самок соответственно. Значения после восстановления в сравнении с данными после физической нагрузки достоверно возросли на 13,99 % у крыс линии Вистар мужского пола и на 11,34 % у крыс линии Вистар женского пола. Изменения показателя *RRNN* в сторону снижения указывают на усиление многочисленных регуляторных симпатических влияний на синоатриальный узел и ослабление воздействия парасимпатической нервной системы.

Возрастание значений может быть обусловлено сформировавшейся адаптацией нейрогуморальных процессов в организме.

Mo отражает те величины кардиоинтервалов *R-R*, которые встречаются наиболее часто, тем самым возможна оценка ведущего уровня функционирования узла Кис-Фляка. Установленные убывания показателя моды как среди самцов, так и среди самок крыс линии Вистар (6,42 % и 8,97 % соответственно) после двигательной активности по сравнению с состоянием покоя свидетельствуют о превалирующей роли симпатического звена вегетативной нервной системы в регуляции работы водителя ритма первого порядка.

При сравнении величин, полученных после восстановления и физической нагрузки, у обоих полов отмечается возрастание показателя *Mo* на 16,26 % у особей мужского пола и на 13,49 % у особей женского пола, что может служить индикатором повышенной активности парасимпатического отдела в условиях прекращения стрессорного

Таблица 1

Влияние физической активности на статистические и геометрические показатели вариабельности сердечного ритма самцов и самок крыс линии Вистар ($M \pm SD$)

Показатели	Этапы исследования					
	В покое (запись 1)		После физической активности (запись 2)		После восстановления (запись 3)	
	Самцы	Самки	Самцы	Самки	Самцы	Самки
ЧСС, уд/мин	454,5 ± 30,5*	429,4 ± 38,5\$	484,6 ± 34,2^	465,2 ± 34,6&	427,7 ± 45,6	419,2 ± 38,7
<i>RRNN</i> , мс	132,6 ± 9,3*	140,8 ± 12,8\$	124,4 ± 8,7^	129,6 ± 9,6&	141,8 ± 15,6	144,3 ± 13,4
<i>Mo</i> , мс	130,8 ± 11,8*	139,3 ± 11,9\$	122,4 ± 8,9^	126,8 ± 12,1&	142,3 ± 16,2#	143,9 ± 14,3
ПАПР, от. ед.	0,3 ± 0,2*	0,2 ± 0,1\$	0,5 ± 0,2	0,4 ± 0,2	0,4 ± 0,3	0,3 ± 0,1

Примечание: достоверная разница ($p < 0,05$): * – между записями 1 и 2 у самцов, \$ – между записями 1 и 2 у самок, ^ – между записями 2 и 3 у самцов, & – между записями 2 и 3 у самок, # – между записями 1 и 3 у самцов

При анализе динамики показателя ЧСС было установлено возрастание значений после двигательной активности по сравнению с состоянием покоя на 6,62 % у самцов, а у особей женского пола – на 8,34 %. Убывание показателя после восстановления в сравнении с результатами, полученными после физической активности лабораторных животных, от-

воздействия. Характерным отличием, присущим лабораторным животным мужского пола, является существование достоверных различий показателя моды, полученным в начале (в покое) и в конце (после восстановления) экспериментального периода. Возрастание M_0 на 8,79 % обусловлено изменением уровня активности парасимпатического звена вегетативной нервной системы, следовательно, к концу эксперимента происходит адаптация организма лабораторного животного с переходом на более высокий уровень регуляции сердечного ритма. Организм самцов быстрее и эффективнее приспосабливается к физической нагрузке по сравнению с самками.

В результате проведенного анализа полученных результатов вариабельности сердечного ритма было установлено, что динамика показателя ПАПР, характеризующего пропорциональность активации симпатической нервной системы и существующего в конкретный момент уровня работы узла Кис-Фляка, имеет достоверные различия у обоих полов между значениями, зарегистрированными после двигательной активности и в состоянии покоя. Так, возрастание величины в 1,67 раз у самцов и в 2,0 раза у самок свидетельствуют о наличии усиленной централизации в управлении сердечным ритмом, иными словами, о смещении вегетативного гомеостаза в сторону активации и преобладания симпатического звена нервной системы.

Сравнительный анализ показателей вариабельности сердечного ритма не продемонстрировал иных характерных для обоих полов достоверных различий.

Присущим только для лабораторных животных женского пола является существование статистически значимых различий между значениями показателя амплитуды моды, представляющей собой количество или процентное отношение интервалов $R-R$, соответствующих значению моды, зафиксированными в покое и после восстановления. Величина AM_0 , зарегистрированная в состоянии покоя ($31,9 \pm 11,0$), отражает возрастание параметра на 23,87 % по сравнению со значением, полученным после отдыха ($41,9 \pm 12,1$). Полученные изменения свидетельствуют о преобладающей роли симпатической активности вегетативной нервной системы в регуляции функционирования сино-атриального узла, значительной стабилизации ритма сердца и централизации его управления.

Статистически значимые различие у лабораторных животных мужского пола были выявлены при анализе динамики показателей VLF (mc^2), HF (%), VLF (%), LF/HF , IC .

VLF (mc^2) – это показатель, отражающий активность нейрогуморального механизма регуляции, а также надсегментарных компонентов симпатического звена нервной системы. В условиях моделируемой ситуации анализируются комплексные воздействия, оказываемые центральным уровнем регуляции, так как амплитуда рассматриваемого показателя тесно

коррелирует как с психоэмоциональным напряжением, так и с функциональным состоянием коры больших полушарий. Снижение значений показателя VLF в 3,33 раза после двигательной активности по сравнению с первоначальным уровнем функционирования организма свидетельствует о развитии постнагрузочного энергодефицитного состояния, так как величины показателя изменяются под воздействием гуморально-метаболических и центральных эрготропных влияний. Возрастание значений показателя суммарной мощности низкочастотного компонента ВСП в 4,01 раза статистически значимо между результатами, полученными после физической нагрузки и после отдыха. Данное увеличение параметра можно рассматривать в качестве гиперадаптивной реакции в ответ на перенесённое стрессорное воздействие.

Таблица 2

Влияние физической активности на спектральные показатели вариабельности сердечного ритма самцов крыс линии Вистар ($M \pm SD$)

Показатели	Этапы исследования		
	В покое (запись 1)	После физической активности (запись 2)	После восстановления (запись 3)
VLF , mc^2	$67262,3 \pm 59864,0^*$	$20226,9 \pm 24247,9^*$	$81139,6 \pm 78535,6$
HF , %	$7,8 \pm 11,4^*$	$16,2 \pm 8,8$	$11,4 \pm 15,9$
LF , %	$19,6 \pm 13,4^*$	$31,1 \pm 18,1^*$	$19,2 \pm 13,2$
VLF , %	$72,7 \pm 19,2^*$	$52,7 \pm 24,3$	$69,4 \pm 27,0$
LF/HF	$6,0 \pm 4,9^*$	$2,1 \pm 1,0^*$	$3,8 \pm 2,7$
IC	$46,4 \pm 69,4^*$	$7,9 \pm 6,9^*$	$43,6 \pm 60,9$

Примечание: достоверная разница ($p < 0,05$ по t -критерию Стьюдента): * – между записями 1 и 2, ^ – между записями 2 и 3

HF (%) – это показатель, отражающий участие дыхательной составляющей в суммарной мощности спектра. В ходе проведенного эксперимента достоверно значимые изменения были зафиксированы лишь между показателями в состоянии покоя и после двигательной активности. Возрастание в 2,08 раза свидетельствует об усилении влияния автономной регуляции.

При анализе результатов, полученных при вычислении показателя LF (%), характеризующего регуляцию сосудистого тонуса на системном уровне, было выявлено увеличение параметра в 1,59 раза после физической нагрузки в сравнении с первоначальным состоянием. После прекращения стрессорного воздействия наблюдается возвращение (уменьшение показателя в 1,62) к первоначальному значению. Таким образом, проведенное исследование продемонстрировало своевременную обработку и анализ поступающей информации сосудодвигательным (вазомоторным) центром продолговатого

мозга с последующей обратной связью на гладкомышечные волокна сосудов.

Параметр *VLF* (%), отражающий влияние высших вегетативных звеньев на подкорковый вазомоторный центр, статистически значимо уменьшается в 1,38 раза после двигательной активности в сравнении с состоянием покоя, что может быть обусловлено снижением влияния симпатического отдела нервной системы и надсегментарного уровня регуляции, в том числе гипофизарно-гипоталамического и коркового.

Достоверные различия у особей мужского пола при анализе показателя *LF/HF*, демонстрирующего релятивное функционирование симпатической нервной системы, реализуемое на подкорковом уровне, были зафиксированы между значениями, полученными после физической нагрузки и в исходном состоянии организма лабораторного животного. Снижение рассматриваемого показателя в 2,86 раза является индикатором парасимпатической активации, так как показатель играет роль индекса вагосимпатического взаимодействия. Возрастание параметра в 1,81 раза, зарегистрированное между записями, сделанными после двигательной активности и после периода восстановления, свидетельствует об увеличении относительной активности подкоркового отдела симпатической нервной системы.

В ходе анализа показателя *IS*, отражающего баланс между влиянием сегментарного и надсегментарного контуров вегетативного управления, было выявлено его увеличение в 5,87 раз после физической нагрузки в сравнении с записью, сделанной в состоянии покоя. Данная динамика демонстрирует преобладание активности центрального контура регуляции над автономным в условиях воздействия стрессорного агента. Снижение индекса централизации в 5,52 раз после периода восстановления в сравнении с записью, зарегистрированной после физической активности, служит маркером повышенного влияния на пейсмейкерные клетки автономного контура регуляции и прекращения функционирования механизмов экстренной гуморальной регуляции.

Заключение. В ходе проведенного исследования был произведен сравнительный анализ показателей variability сердечного ритма у крыс линии Вистар мужского и женского пола, выявлены изменения их значений в динамике в условиях покоя, после двигательной активности и в период восстановления, а также установлены особенности двухконтурной регуляции сердечного ритма под воздействием стрессового фактора.

Достоверно значимые изменения статистических показателей ЧСС и *RRNN* были зафиксированы у самцов и самок крыс линии Вистар и в обоих случаях после двигательной активности в сравнении с исходным уровнем функционирования наблюдалось усиление влияния симпатического отдела нервной системы на работу сердечного ритма, ослабление

активности автономного контура и значительное напряжение регуляторных систем организма. Период восстановления характеризуется формированием адаптации нейрогуморальных механизмов в условиях постнагрузки. Таким образом, вектор динамики рассматриваемых статистических показателей не зависит от половой принадлежности.

Изменение значений параметров *Mo* и ПАПР отражает смещение баланса вегетативной регуляции в сторону активации симпатического звена нервной системы после перенесенной физической нагрузки у грызунов обоего пола. Проведенный анализ продемонстрировал более быструю адаптацию самцов по сравнению с самками.

Характерное только для крыс-самок линии Вистар изменение показателя *AMo* обусловлено преобладающим влиянием симпатического отдела в регуляции работы сино-атриального узла, значительной стабилизацией сердечного ритма и успешной реакцией на воздействие стрессового фактора в виде двигательной активности.

Достоверные различия, полученные при статистической обработке спектральных показателей, были присущи лишь лабораторным животным мужского пола. Изменения, выявленные после физической активности, являются индикаторами развития постнагрузочного энергодефицитного состояния, что подтверждает комплексность и сложность регуляции работы сердечного ритма. Динамика, регистрируемая в периоде восстановления, связана с повышением активности парасимпатического контура, а также прекращением механизмов экстренной гуморальной регуляции.

Таким образом, двигательная активность крыс линии Вистар обоих полов напрямую связана с перестройкой функционирования систем организма. Динамика изученных в ходе экспериментального периода параметров подтверждает перспективу использования рассмотренной методики для оценки тренированности организма и его функционального состояния.

Литература / References

1. Вариабельность сердечного ритма крыс-самок Вистар в условиях различной физической активности / Коробова В.Н., Ворвуль А.О., Бобынцев И.И. [и др.] // Человек и его здоровье. 2022. № 3. С. 32–41 / Korobova VN, Vorvul AO, Bobyntsev II, et al. Variabel'nost' serdechnogo ritma krys-samok Vistar v usloviyakh razlichnoy fizicheskoy aktivnosti. [Heart rate variability in female Wistar rats under different physical activity conditions]. Man and His Health. 2022;3:32-41. Russian.
2. Взаимосвязь variability сердечного ритма и поведенческих показателей крыс Вистар / Бобынцев И.И., Коробова В.Н., Ворвуль А.О. [и др.] // Человек и его здоровье. 2023. Т. 26, № 4. С. 72–87 / Bobyntsev II, Korobova VN, Vorvul AO, et al. Vzaimosvyaz' variabel'nosti serdechnogo ritma i povedencheskikh pokazateley krys Vistar. [Relationship between heart rate variability and behavioral indicators in Wistar rats]. Man and His Health. 2023;26(4):72-87. Russian.
3. Динамика стресс-активации при повторении стрессогенного воздействия в эксперименте / Бахчина А.В., Laukka S.J., Парин С.Б. [и др.] // СТМ. 2019. № 1. С. 155–162 / Bakhchina AV, Laukka SJ, Parin SB, et al. Dinamika stress-aktivatsii pri povtoreнии stressogenного vozdeystviya v eksperimente. [Dynamics of stress activation upon repeated stress exposure in an experiment]. S.T.M.

2019;1:155-62. Russian.

4. Кириллов Н.А. Физиологическая оценка влияния стресса на организм человека и животных. Чебоксары: Волжский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», 2019. 165 с. / Kirillov NA. Fiziologicheskaya otsenka vliyaniya stressa na organizm cheloveka i zhivotnykh. [Physiological assessment of the effects of stress on the human and animal organism]. Cheboksary: Volzhsky Branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI)"; 2019. Russian.

5. Коробова В.Н., Ворвуль А.О., Бобынцев И.И. Особенности показателей variability сердечного ритма крыс-самцов Вистар в условиях различной двигательной активности // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2023. Т. 175, № 1. С. 25–28 / Korobova VN, Vorvul AO, Bobyntsev II. Osobennosti pokazateley variabel'nosti serdechnogo ritma krys-samtsov Vistar v usloviyakh razlichnoy dvigatel'noy aktivnosti. [Features of heart rate variability indicators in male Wistar rats under different levels of physical activity]. Bulletin of Experimental Biology and Medicine. 2023;175(1):25-8. Russian.

6. Методы исследования сердечного ритма по данным ЭКГ: variability сердечного ритма и дисперсионное картирование (обзорная статья) / Новиков Е.М., Стеблецов С.В., Ардашев В.Н. [и др.] // Кремлевская медицина. Клинический вестник. 2019. № 4. С. 81–89 / Novikov EM, Stebletsov SV, Ardashev VN. Metody issledovaniya serdechnogo ritma po dannym EKG: variabel'nost' serdechnogo ritma i dispersionnoye kartirovaniye (obzornaya stat'ya). [Methods of heart rhythm research based on ECG data: heart rate variability and dispersion mapping (review article)]. Kremlin Medicine. Clinical Bulletin. 2019;4:81-9. Russian.

7. Новиков А.А., Смоленский А.В., Михайлова А.В. Подходы к

оценке показателей variability сердечного ритма (обзор литературы) // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2023. № 3. Публикация 3-3. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2023-3/3-3.pdf> (дата обращения 31.05.2023). DOI: 10.24412/2075-4094-2023-3-3-3. EDN CMBUXE / Novikov AA, Smolensky AV, Mikhailova AV. Podhody k otsenke pokazateley variabel'nosti serdechnogo ritma (obzor literatury) [Approaches to assessing heart rate variability (literature review)]. Journal of New Medical Technologies, e-edition. 2023 [cited 2023 May 31];3 [about 10 p.]. Russian. Available from: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulle-tin/E2023-3/3-3.pdf>. DOI: 10.24412/2075-4094-2023-3-3-3. EDN CMBUXE.

8. Noninvasive Monitoring of Blood Pressure and Heart Rate during Estrous Cycle Phases in Normotensive Wistar-Kyoto and Spontaneously Hypertensive Female Rats / Ayala-Méndez G.X., Calderón V.M., Zuñiga-Pimentel T.A. [et al.] // J Am Assoc Lab Anim Sci. 2023. Vol. 62, N 3. P. 267–273 / Ayala-Méndez GX, Calderón VM, Zuñiga-Pimentel TA, et al. Noninvasive Monitoring of Blood Pressure and Heart Rate during Estrous Cycle Phases in Normotensive Wistar-Kyoto and Spontaneously Hypertensive Female Rats. J Am Assoc Lab Anim Sci. 2023;62(3):267-73.

9. Exercise-induced neuroplasticity in autonomic nuclei restores the cardiac vagal tone and baroreflex dysfunction in aged hypertensive rats / Dellacqua Ayala-Méndez G.X., Calderón V.M., Zuñiga-Pimentel T.A., Gomes P.M., Batista J.S. [et al.] // J Appl Physiol. 2024. Vol. 136, N 1. P. 189–198 / Dellacqua Ayala-Méndez GX, Calderón VM, Zuñiga-Pimentel TA, Gomes PM, Batista JS, et al. Exercise-induced neuroplasticity in autonomic nuclei restores the cardiac vagal tone and baroreflex dysfunction in aged hypertensive rats. J Appl Physiol. 2024;136(1):189-98.

10. Švorc P.Jr., Grešová S., Švorc P. Heart rate variability in male rats // Physiol Rep. 2023. Vol. 11, N 18. P. 10 / Švorc P Jr, Grešová S, Švorc P. Heart rate variability in male rats. Physiol Rep. 2023;11(18):10.

Библиографическая ссылка:

Коробова В.Н., Григорян С.М., Данильчук Д.В. Нейрогуморальные особенности самцов и самок крыс вистар при разной физической активности по данным анализа variability сердечного ритма // Вестник новых медицинских технологий. 2025. № 3. С. 85–90. DOI: 10.24412/1609-2163-2025-3-85-90. EDN FKRFCT.

Bibliographic reference:

Korobova VN, Grigoryan SM, Danilchuk DV. Neyrogumoral'nye osobennosti samtsov i samok krys vistar pri raznoy fizicheskoj aktivnosti po dannym analiza variabel'nosti serdechnogo ritma [Neurohumoral characteristics of male and female wistar rats under different physical activity levels based on heart rate variability analysis]. Journal of New Medical Technologies. 2025;3:85-90. DOI: 10.24412/1609-2163-2025-3-85-90. EDN FKRFCT. Russian.