

УДК 616-092

Новая модель дискриминантного анализа для оценки динамики адаптации организма человека к разным условиям жизнедеятельности

Панкова Н.Б., Карганов М.Ю.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии»

125315, Москва, Россия, ул. Балтийская, д. 8

На основе данных регистрации показателей variability сердечного ритма и артериального давления разработана модель дискриминантного анализа, позволяющая визуализировать условные величины «функциональные резервы организма» и «степень напряжения регуляторных систем» на фазовой плоскости. В модель вошли: частота сердечных сокращений, систолическое артериальное давление, относительная мощность диапазона HF спектра variability сердечного ритма, pNN50. Приведенные иллюстрации позволяют считать, что эта новая модель достаточно чувствительна, репрезентативна, и обладает потенциалом для использования другими исследовательскими группами, работающими со здоровыми людьми, в частности, в мониторинговых проектах и в области экологической физиологии.

Ключевые слова: variability сердечного ритма; артериальное давление; дискриминантный анализ; фазовая плоскость; мониторинговые исследования.

Для цитирования: Панкова Н.Б., Карганов М.Ю. Новая модель дискриминантного анализа для оценки динамики адаптации организма человека к разным условиям жизнедеятельности. *Патогенез*. 2025; 23(2): 65–71

DOI: 10.48612/path/2310-0435.2025.02.65-71

Для корреспонденции: Панкова Наталия Борисовна, e-mail: nbpankova@gmail.com

Финансирование. Исследование выполнено в рамках государственного задания ФГБУ «НИИОПП» «Оценка физиологического баланса организма при воздействии экстремальных факторов среды» (FGFU-2025-0003).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности. Авторы выражают глубокую признательность сотрудникам ФГБУ «НИИОПП» и НИИ фармакологии имени В.В. Закусова за участие в нашем исследовании в качестве добровольцев. А также членам экспедиции и экипажу «Дрейфующей научно-исследовательской станции «Северный полюс – 41», организованной ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт» (ФГБУ «ААНИИ») Росгидромета на базе научно-экспедиционного судна – ледостойкой самодвижущейся платформы «Северный полюс», за всестороннюю помощь при проведении исследовательских работ.

Поступила: 05.05.2025.

A new model of discriminant analysis for assessing the dynamics of human body adaptation to different living conditions

Pankova N.B., Karganov M.Yu.

Institute of General Pathology and Pathophysiology
Baltijskaya Str. 8, Moscow 125315, Russian Federation

Based on the data of registration of heart rate variability and blood pressure indicators, a discriminant analysis model has been developed that allows visualization of the conditional values of "functional reserves of the body", and "the degree of stress of regulatory systems" on the phase plane. The model includes: heart rate, systolic blood pressure, relative power of the HF range of the heart rate variability spectrum, pNN50. The presented illustrations allow us to consider that this new model is sufficiently sensitive, representative, and has the potential for use by other research groups working with healthy people, in particular, in monitoring projects and in the field of environmental physiology.

Key words: heart rate variability; blood pressure; discriminant analysis; phase plane; monitoring studies.

For citation: Pankova N.B., Karganov M.Yu. [A new model of discriminant analysis for assessing the dynamics of human body adaptation to different living conditions]. *Patogenez [Pathogenesis]*. 2025; 23(2): 65–71 (in Russian)

DOI: 10.48612/path/2310-0435.2025.02.65-71

For correspondence: Pankova Nataliya Borisovna, e-mail: nbpankova@gmail.com

Funding. The study was carried out within the framework of the state assignment of the Institute of General Pathology and Pathophysiology "Assessment of the physiological balance of the body under the influence of extreme environmental factors" (FGFU-2025-0003).

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgments. The authors express their deep gratitude to the staff of the Institute of General Pathology and Pathophysiology and the V.V. Zakusov Research Institute of Pharmacology for their participation in our study as volunteers. As well as to the members of the expedition and the crew of the Drifting Research Station "North Pole – 41", organized by the Arctic and Antarctic Research Institute (FGBU "AARI") of Roshydromet based on a research and expedition vessel – an ice-resistant self-propelled platform, for their comprehensive assistance in conducting research work.

Received: 05.05.2025.

Введение

Человечество постоянно стремится осваивать всё новые пространства для своей жизни и различных видов социально-экономической деятельности. Сейчас такие пространства остались только в уголках Земли с экстремальными климатогеографическими условиями, или за её пределами. Это обстоятельство предполагает индукцию и развитие разной степени выраженности адаптивных процессов в организме экспедиционеров и/или вахтовиков.

Специалисты медико-биологического профиля активно проводят модельные исследования для разработки превентивных профилактических мероприятий, которые позволят сохранить высокую работоспособность, здоровье, а часто и саму жизнь человека в экстремальных условиях жизнедеятельности. Такие исследования обычно включают всевозможные батареи тестов для оценки функционального состояния всех систем и органов, и количество оцениваемых параметров исчисляется сотнями. В этом контексте остро встаёт вопрос о визуализации выявленных закономерностей, одним из способов которой является применение дискриминантного анализа и фазовой плоскости.

Впервые такой подход был применён в научной школе Р.М. Баевского. В 2002 году была представлена модель дискриминантного анализа на основе показателей вариабельности сердечного ритма (ВСР), впоследствии легшая в основу диссертационного исследования А.Г. Черниковой [1]. Для создания модели были использованы результаты анализа ВСР у 192 взрослых людей с разным уровнем здоровья, ранжированным на три состояния: 1) практически здоровые, 2) люди с донозологическими состояниями (согласно концепции [2]); 3) лица с компенсированными хроническими заболеваниями (преморбидные и патологические состояния). В модели были использованы спектральные, статистические и геометрические показатели ВСР в регистрациях длительностью не менее 5 мин.

При наличии трёх различающихся состояний дискриминантный анализ позволяет вычислить две функции – две переменные (фазовые координаты), однозначно определяющие состояние системы на плоскости (фазовая плоскость). В использованной модели фазовые координаты (Root1, Root2) получили следующие значения:

$$\begin{aligned} \text{Root1} &= -0,112 \times \text{ЧСС} - 1,006 \times \text{ИН} - 0,047 \times \text{pNN50} - 0,086 \times \text{HF}\%, \\ \text{Root2} &= 0,140 \times \text{ЧСС} - 0,165 \times \text{ИН} - 1,293 \times \text{pNN50} + 0,623 \times \text{HF}\%, \text{ где:} \end{aligned}$$

– ЧСС – частота сердечных сокращений, уд/мин;

– ИН – индекс напряжения регуляторных систем, или стресс-индекс, рассчитываемый по следующим геометрическим показателям ВСР: вариационный размах (ВР) – средняя разница между наибольшими и наименьшими значениями ряда R-R интервалов (R-R размах, мс), мода ряда R-R интервалов (Мо) и амплитуда моды (АМо, доля кардиоинтервалов, соответствующих диапазону моды, %), $\text{ИН} = \text{АМо} / 2\text{Мо} \times \text{ВР}$;

– pNN50 – статистический показатель ВСР: процентное соотношение соседних R-R интервалов, различающихся минимум на 50 мс, %;

– HF% – спектральный показатель ВСР: относительная мощность диапазона высоких частот (High Frequency, HF, 0,40–0,15 Гц), %.

В приведённых дискриминантных уравнениях наиболее значимые переменные выделены жирным шрифтом. Согласно интерпретации авторов, первая каноническая переменная (Root 1) является индикатором мобилизующей функции регуляторных механизмов (максимальный вес в ней имеют ИН и ЧСС), поэтому её рассматривают как показатель функциональных резервов (ФР), которые мобилизуются и могут быстро истощаться при росте симпатической активности. Вторая переменная (Root 2), связанная с показателями активности парасимпатического отдела (pNN50, HF%), отражает защитную функцию регуляторных механизмов и состояние вегетативного баланса по изменениям активности парасимпатического отдела вегетативной нервной системы, и считается, что она характеризует степень напряжения регуляторных систем (СН). Значения ФР и СН рассматриваются как координаты фазовой плоскости, образующей пространство функциональных состояний, состоящее из 4 секторов: физиологическая норма (ФР > 0, СН < 0), донозологические состояния (ФР > 0, СН > 0), преморбидные состояния (ФР < 0, СН > 0), патологические состояния (ФР < 0, СН < 0) (рис. 1).

Данный вид визуализации результатов мониторинга функционального состояния организма человека был успешно применён в космической медицине – наземных экспериментах с 8-месячной изоляцией и 120-суточной антиортостатической гипокinezией [3], во время космических полётов [3, 4], в проекте «Марс-500» [5].

В нашей лаборатории метод визуализации результатов полисистемной оценки функционального состояния у здоровых людей был реализован на базе показателей, регистрируемых при помощи приборного комплекса «спиро-артериокардиоритмограф» (САКР) [6]. Данный комплекс проводит непрерывную регистрацию показателей дыхания, ЭКГ (с расчетом показателей ВСР), систолического и диастолического артериального давления (АДС и АДД) с расчётом спектральных показателей их вариабельности.



Рис. 1. Фазовая плоскость функциональных состояний человека по показателям ВСР (по [1]).

Таблица 1.

Факторная структура матрицы дискриминантного анализа для моделей, разработанных по результатам однократного обследования взрослых методом САКР ($n=296$), и выполнения трёх нагрузочных проб ($n=128$).

Факторы	$n=296$		$n=128$	
	Root 1	Root 2	Root 1	Root 2
ЧСС, уд./мин	-0,788	0,134	-0,445	-0,126
TP(CP), мс ²	0,157	0,270	—	—
LF%(CP)	0,189	-0,200	—	—
HF%(CP)	0,241	0,229	0,051	-0,644
TP(АДС), мм рт.ст. ²	-0,214	0,065	—	—
LF%(АДС)	0,225	-0,171	—	—
TP(АДД), мм рт.ст. ²	-0,203	0,043	—	—
LF%(АДД)	0,236	0,130	—	—
ЧБР, мс/мм рт.ст.	0,195	-0,372	—	—
ИН, у.е.	-0,361	0,039	—	—
АДС, мм рт.ст.	—	—	-0,746	0,266
pNN50, %	—	—	-0,403	-0,729

В качестве трёх заведомо различающихся состояний мы выбрали: 1) состояние покоя – регистрация на САКР без спирометрической маски; 2) регистрацию на САКР в надетой спирометрической маске с произвольным дыханием (данные условия регистрации являются нагрузочной пробой, вызывающей значимые изменения в регистрируемых показателях сердечно-сосудистой системы); 3) регистрация сразу после выполнения субмаксимальной физической нагрузки («прокат» короткой программы фигуристами).

Всего в анализ были взяты 296 записей длительностью 2 мин. В дискриминантные функции вошли следующие показатели: ЧСС, общая мощность спектра ВСР (Total Power, TP) и относительная мощность его диапазонов HF и LF (Low Frequency, LF, 0,04–0,15 Гц), общая мощность (TP) спектров вариабельности АДС и АДД и относительная мощность в этих спектрах диапазона LF, чувствительность артериального барорефлекса (ЧБР) и ИН (табл. 1). Для функции Root1 наиболее значимыми показателями были ЧСС и ИН (как и в модели Р.М. Баевского), для функции Root2 – относительная мощность диапазона HF спектра ВСР (как и в модели Р.М. Баевского), а также общая мощность спектра ВСР (TP) и ЧБР.

Согласно нашей модели, регистрация на приборе САКР в надетой спирометрической маске с произвольным дыханием характеризуется более высокими по сравнению с фоном значениями величины СН, а субмаксимальная физическая нагрузка переводит функциональное состояние человека в зону патологии (рис. 2).

Такой подход был успешно применён для иллюстрации сдвигов функционального состояния человека в динамике занятий по системе БОС [7], а также с возрастом – от 22 до 90 лет [8]. Однако он возможен только при использовании приборного комплекса САКР, что накладывает

существенные ограничения на его внедрение. Кроме того, исследования последних лет показали, что при адаптации организма человека к экстремальным климатогеографическим условиям, наиболее чувствительными являются показатели АД [9, 10], как и при моделируемой микрогравитации [11, 12].

Вышеизложенные обстоятельства определили цель данного исследования – разработку новой модели дискриминантного анализа, включающего показатели ВСР и АД, и реализуемые на большинстве приборов, способных зарегистрировать ряд кардиоинтервалов.

Материалы и методы исследования

В анализ включены 128 записей на приборе САКР длительностью 2 мин, выполненные 44 испытуемыми обоего пола в возрасте 22-45 лет. В качестве трёх различающихся состояний использованы: 1) состояние покоя – регистрация на САКР без спирометрической маски; 2) регистрация на САКР в надетой спирометрической маске с произвольным дыханием («маска»); 3) регистрация сразу после выполнения пробы Мартинэ (20 приседаний). 40 испытуемых выполняли все три пробы, ещё 4 – только 1 и 2.

Все исследования проведены в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующих обновлениях, и одобрены локальным этическим комитетом Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии» (Москва), протокол № 4, 02.09.2019.

Для дискриминантного анализа использованы следующие показатели:

– базовые показатели сердечно-сосудистой системы: ЧСС, АДС и АДД, пульсовое АД ($pAD=A_{DC}-A_{DD}$);

преморбидные состояния

донозологические состояния

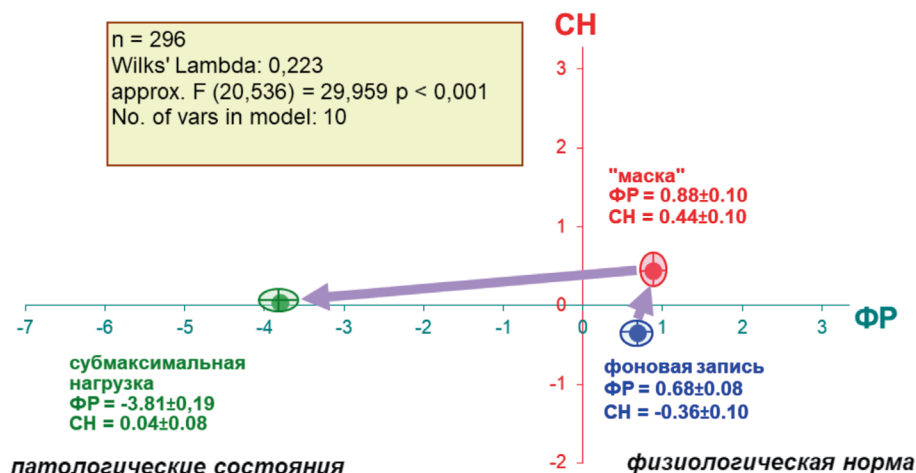


Рис. 2. Усреднённые величины ФР и СН, характеризующих функциональное состояние здоровых испытуемых в трёх состояниях, на фазовой плоскости ($M \pm m$).

– спектральные показатели ВСП: ТР (мс^2), абсолютная (в мс^2) и относительная (в %) мощность диапазонов HF и LF;

– геометрические показатели – ИН;

– статистические показатели – pNN50, RMSSD (квадратный корень из суммы разностей последовательности ряда кардиоинтервалов, мс), SDNN (среднеквадратическое отклонение ряда кардиоинтервала, мс).

При проведении дискриминантного анализа использовали алгоритм прямого пошагового анализа (Statistica 10.0).

Результаты исследования и обсуждение

Выполненные расчёты показали высокую вероятность различий функционального состояния человека в использованных условиях регистрации: Wilks' Lambda: 0,619 approx. $F(8,244) = 8,256 p < 0,001$. При этом статистически значимые различия между состояниями были выявлены во всех вариантах попарных сравнений. Проведённый канонический анализ подтвердил статистическую значимость обеих дискриминантных функций (Root1 и Root2) – $p < 0,001$ для каждой из функций.

Прямой пошаговый анализ выделил всего четыре значимые переменные (в порядке вклада в дискриминацию): АДС, ЧСС, HF%, pNN50. Для функции Root1 наиболее значимыми стали ЧСС (как и в модели Р.М. Баевского и в нашей предыдущей модели) и АДС, для функции Root2 – HF% (как и в модели Р.М. Баевского и в нашей предыдущей модели) и pNN50 (как и в модели Р.М. Баевского) (табл. 1).

В данную модель не вошёл ИН, играющий ведущую роль в модели Р.М. Баевского. Вероятно, это связано с перечнем различающихся состояний: в модели Р.М. Баевского использованы данные людей с разным уровнем здоровья, тогда как в нашей модели использованы результаты обследований только здоровых испытуемых, выполняющих

посильную для их возраста физическую нагрузку. Вместо него ведущим показателем для функции Root1 стала величина АДС. Это обстоятельство согласуется с интерпретацией данной функции как ФР, поскольку уровень АДС является общепризнанным маркёром функциональных резервов организма и регулируется со стороны нервной системы её симпатическим звеном, обеспечивая адаптивный ответ организма на физическую нагрузку [13] или различного рода стресс при реализации профессиональной деятельности [14].

К сожалению, в модель также не вошли SDNN и RDSSM – статистические показатели, рекомендуемые для оценки ВСП в коротких (длительностью менее 2 минут) регистрациях [15]. Тем более, что RDSSM является аналогом спектрального показателя HF%, характеризующего активность парасимпатического звена автономной регуляции сердечно-сосудистой системы [16, 17].

Вместе с тем, следует отметить, что общий паттерн изменения усреднённых величин ФР и СН, характеризующих функциональное состояние испытуемых в трёх состояниях, оказался близок к таковому в нашей предыдущей модели (рис. 3), несмотря на более щадящую физическую нагрузку.

Данную модель мы применили для визуализации результатов мониторинга участников зимовки на полярной станции «Северный Полюс 41» (СП-41), организованной ФГБУ «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт» (ФГБУ «ААНИИ») Росгидромета на базе научно-экспедиционного судна – ледостойкой самодвижущейся платформы «Северный полюс». Как было нами описано ранее, по результатам оценки полученных данных с использованием дискриминантного анализа, у участников экспедиции за 4 месяца произошли значимые изменения в показателях АД, выявляемые только в подгруппе испытуемых, профессиональные обязанности которых включали ежедневное нахождение на открытом воздухе по 5-6 часов без перерыва, и толь-

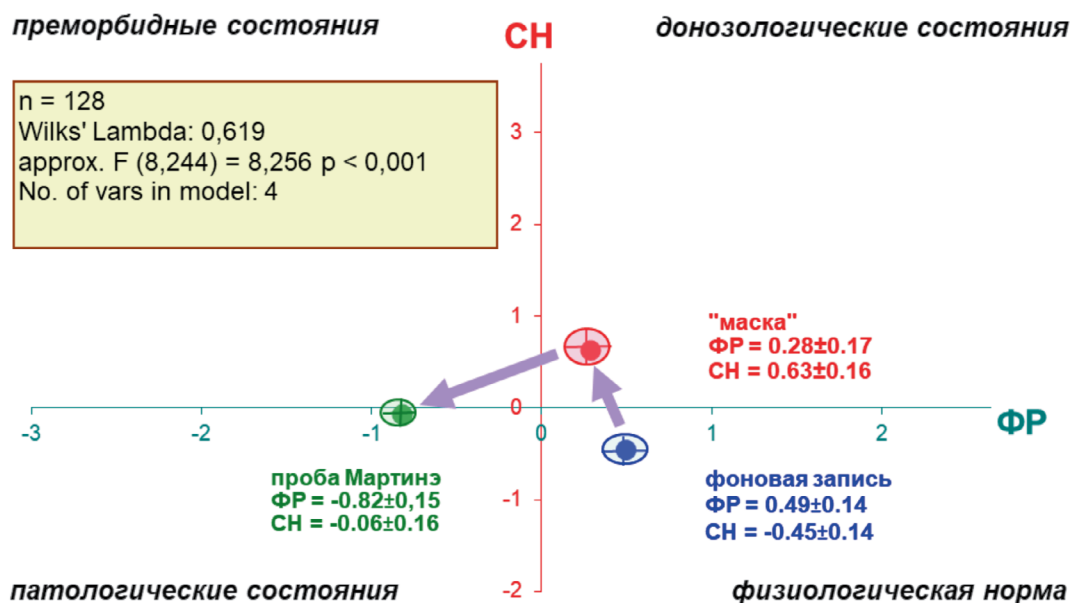


Рис. 3. Усреднённые величины ФР и СН, характеризующих функциональное состояние испытуемых в трёх состояниях, в новой модели дискриминантного анализа ($M \pm m$).

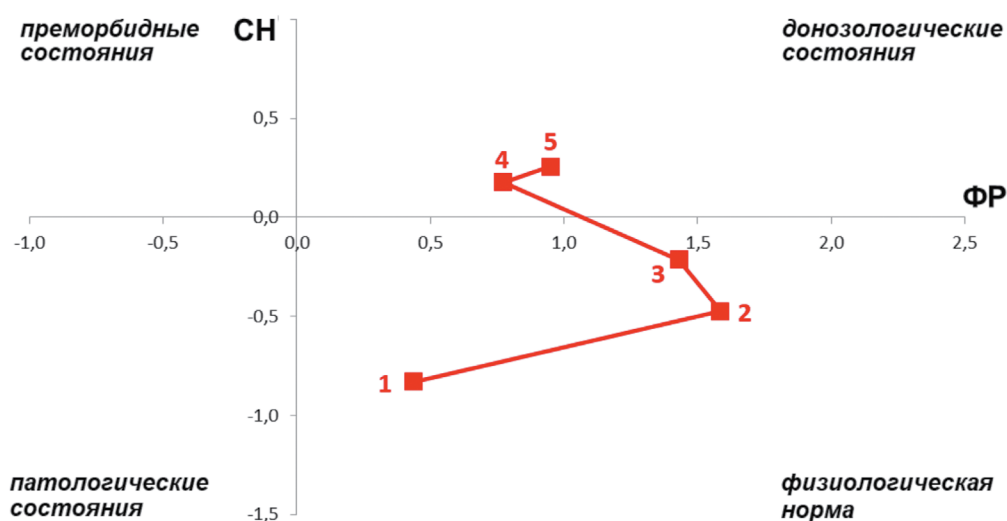


Рис. 4. Усреднённые величины ФР и СН, характеризующие динамику функционального состояния участников зимовки на СП-41 при выполнении нагрузочной дыхательной пробы (контролируемое дыхание с частотой 6 циклов в мин). Цифрами обозначены номера ежемесячных тестирований.

ко при выполнении нагрузочной пробы – дыхания с частотой 6 циклов в минуту [10]. Как видно из **рис. 4**, динамика усреднённых по 7 испытуемым данной подгруппы (мужчины, средний возраст $46,0 \pm 3,6$ лет) величин дискриминантных функций при регистрации в условиях нагрузочной пробы свидетельствует о постепенном возрастании величины СН.

Аналогичная процедура может быть выполнена с величинами ЧСС, АДС и показателями ВСР, получаемыми на любом приборном комплексе, где есть возможность регистрировать последовательность кардиоинтервалов. Даже при отсутствии в ПО прибора готовых опций по расчёту показателей ВСР, их можно рассчитать самостоятельно по ряду кардиоинтервалов.

Для расчёта величин ФР и СН приводим формулы:

$$\Phi P = -0,044 \times \text{АДС} + 0,050 \times \text{ЧСС} - 0,112 \times p\text{NN50} + 0,008 \times \text{HF\%} + 3,745$$

$$\text{СН} = -0,008 \times \text{АДС} + 0,035 \times \text{ЧСС} + 0,191 \times p\text{NN50} + 0,042 \times \text{HF\%} - 4,100$$

Заключение

Приведенные результаты позволяют считать, что новая модель дискриминантного анализа, учитывающая показатели ВСР и АД, достаточно чувствительна, репрезентативна, и обладает потенциалом для использования другими исследовательскими группами, работающими

со здоровыми людьми, в частности, в области экологической физиологии.

Список литературы

1. Баевский Р.М., Черникова А.Г. К проблеме физиологической нормы: математическая модель функциональных состояний на основе анализа variability сердечного ритма. *Авиакосмическая и экологическая медицина*. 2002. 36(5): 34–37.
2. Агаджанян Н.А., Баевский Р.М., Берсенева А.П. *Проблемы адаптации и учение о здоровье*. Москва: Издательство РУДН, 2006. 284 с.
3. Баевский Р.М., Лучицкая Е.С., Фунтова И.И., Черникова А.Г. Исследования вегетативной регуляции кровообращения в условиях длительного космического полета. *Физиология человека*. 2013; 39(5): 42–52. DOI: 10.7868/S0131164613050044
4. Баевский Р.М., Черникова А.Г. Оценка адаптационного риска в системе индивидуального донозологического контроля. *Российский физиологический журнал имени И.М. Сеченова*. 2014; 100(10): 1180–1194.
5. Берсенева Е.Ю., Русанов В.Б., Черникова А.Г. *Динамика показателей variability сердечного ритма в условиях длительной изоляции*. В сб.: *Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и практическое применение*. Материалы V Всероссийского симпозиума с международным участием. Под ред. Р.М. Баевского, Н.И. Шлык. Ижевск: Издательство «Удмуртский университет», 2011: 491–499.
6. Панкова Н.Б. *Оценка состояния сердечно-сосудистой системы здорового человека методом одновременной регистрации variability сердечного ритма и артериального давления*. Saarbrücken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2013. 144 с.
7. Панкова Н.Б., Карганов М.Ю., Качалова Л.М., Котенев А.В., Латанов А.В. *Сочетанное применение умеренной физической нагрузки и технологии БОС-тренингов для реабилитации лиц с хроническим психоэмоциональным стрессом*. В сб. *Психологические, педагогические и медико-биологические аспекты физического воспитания*. Материалы V Международной электронной научно-практической конференции. Украина, Одесса, 2014: 327–331.
8. Панкова Н.Б., Алчинова И.Б., Яковенко Е.Н., Карганов М.Ю. Представленность разных величин функциональных показателей сердечно-сосудистой системы в возрасте 22–90 лет. *Технологии живых систем*. 2016; 13(7): 16–24.
9. Pankova N.B., Alchinova I.B., Cherepov A.B., Yakovenko E.N., Karganov M.Yu. Cardiovascular system parameters in participants of Arctic expeditions. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health*. 2020; 33(6): 819–828. DOI: 10.13075/ijom.1896.01628
10. Pankova N.B., Buynov R.P., Filchuk K.F., Alchinova I.B., Cherepov A.B., Karganov M.Yu. Dynamics of Indicators of the Cardiovascular System and its Autonomic Regulation during Overwintering in the Arctic. *Univ. J. Public Health*. 2024; 12(4): 717–729. DOI: 10.13189/ujph.2024.120411
11. Руденко Е.А., Черепов А.Б., Баранов М.В., Лебедева М.А., Хлебникова Н.Н. Исследование вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы при длительном пребывании в условиях ортостатической и антиортостатической гипокинезии. *Авиакосмическая и экологическая медицина*. 2020; 54(1): 31–37. DOI: 10.21687/0233-528X-2020-54-1-31-37
12. Черепов А.Б., Алчинова И.Б., Хлебникова Н.Н., Лебедева М.А., Пивоваров В.В., Зайцев Г.К., Баранов М.В., Шпаков А.В. Оценка сердечно-сосудистой variability человека при антиортостатической гипокинезии с помощью прибора САКР-и: новые возможности. *Патогенез*. 2022; 20(2): 70–77. DOI: 10.25557/2310-0435.2022.02.70-77
13. Guzii O., Romanchuk A., Mahlovany A., Trach V. Polyfunctional express-evaluation criteria of the sportsman organism state. *J. Phys Edu. Sport*. 2019; 19(4): 2352–2358. DOI: 10.7752/jpes.2019.04356
14. Bustamante-Sánchez Á., Tornero-Aguilera J.F., Fernández-Elías V.E., Horneño-Holgado A.J., Dalamitros A.A., Clemente-Suárez V.J. Effect of Stress on Autonomic and Cardiovascular Systems in Military Population: A Systematic Review. *Cardiol. Res. Pract.* 2020; 2020: 7986249. DOI: 10.1155/2020/7986249
15. 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; 17(3): 354–381.
16. Matusik P.S., Zhong C., Matusik P.T., Alomar O., Stein P.K. Neuroimaging Studies of the Neural Correlates of Heart Rate Variability: A Systematic Review. *J. Clin. Med.* 2023; 12(3): 1016. DOI: 10.3390/jcm12031016

17. Shaffer F., Ginsberg J.P. An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. *Front. Public Health*. 2017; 5: 258. DOI: 10.3389/fpubh.2017.00258

References

1. Baevsky R.M., Chernikova A.G. [On the problem of physiological norm: a mathematical model of functional states based on the analysis of heart rate variability]. *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina [Aerospace and Environmental Medicine]*. 2002. 36(5): 34–37. (in Russian)
2. Agadzhanian N.A., Baevsky R.M., Berseneva A.P. *[Problems of adaptation and the doctrine of health]*. Moscow: RUDN University Publishing House, 2006. 284 p. (in Russian)
3. Baevsky R.M., Luchitskaya E.S., Funtova I.I., Chernikova A.G. Studies of autonomic regulation of blood circulation in conditions of long-term space flight. *Fiziologiya cheloveka [Human Physiology]*. 2013; 39(5): 42–52. DOI: 10.7868/S0131164613050044 (in Russian)
4. Baevsky R.M., Chernikova A.G. [Assessment of adaptation risk in the system of individual pre-clinical control]. *Rossiiskii fiziologicheskii zhurnal imeni I.M. Sechenova [I.M. Sechenov Russian Physiological Journal]*. 2014; 100(10): 1180–1194. (in Russian)
5. Bersenev E.Yu., Rusanov V.B., Chernikova A.G. *[Dynamics of heart rate variability indices under conditions of long-term isolation]*. In: *Heart rate variability: theoretical aspects and practical application*. Proceedings of the V All-Russian symposium with international participation. Ed. by R.M. Baevsky, N.I. Shlyk. Izhevsk: Udmurt University Publishing House, 2011: 491–499. (in Russian)
6. Pankova N.B. *[Assessment of the state of the cardiovascular system of a healthy person by the method of simultaneous recording of heart rate variability and blood pressure]*. Saarbrücken, Germany: LAP Lambert Academic Publishing, 2013. 144 p. (in Russian)
7. Pankova N.B., Karganov M.Yu., Kachalova L.M., Kotenev A.V., Latanov A.V. *[Combined use of moderate physical activity and biofeedback training technology for the rehabilitation of individuals with chronic psychoemotional stress]*. In the collection *Psychological, pedagogical and medical-biological aspects of physical education*. Proceedings of the V International Electronic Scientific and Practical Conference. Ukraine, Odessa, 2014: 327–331. (in Russian)
8. Pankova N.B., Alchinova I.B., Yakovenko E.N., Karganov M.Yu. [Representation of different values of functional indicators of the cardiovascular system at the age of 22–90 years]. *Tekhnologii zhivyykh sistem [Living Systems Technologies]*. 2016; 13(7): 16–24. (in Russian)
9. Pankova N.B., Alchinova I.B., Cherepov A.B., Yakovenko E.N., Karganov M.Yu. Cardiovascular system parameters in participants of Arctic expeditions. *Int. J. Occup. Med. Environ. Health*. 2020; 33(6): 819–828. DOI: 10.13075/ijom.1896.01628
10. Pankova N.B., Buynov R.P., Filchuk K.F., Alchinova I.B., Cherepov A.B., Karganov M.Yu. Dynamics of Indicators of the Cardiovascular System and its Autonomic Regulation during Overwintering in the Arctic. *Univ. J. Public Health*. 2024; 12(4): 717–729. DOI: 10.13189/ujph.2024.120411
11. Rudenko E.A., Cherepov A.B., Baranov M.V., Lebedeva M.A., Khlebnikova N.N. [Study of autonomic regulation of the cardiovascular system during prolonged stay in conditions of orthostatic and antiorthostatic hypokinesia]. *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina [Aerospace and Environmental Medicine]*. 2020; 54(1): 31–37. DOI: 10.21687/0233-528X-2020-54-1-31-37 (in Russian)
12. Cherepov A.B., Alchinova I.B., Khlebnikova N.N., Lebedeva M.A., Pivovarov V.V., Zaitsev G.K., Baranov M.V., Shpakov A.V. [Assessment of human cardiovascular variability in antiorthostatic hypokinesia using the SACR-i device: new possibilities]. *Patogenez [Pathogenesis]*. 2022; 20(2): 70–77. DOI: 10.25557/2310-0435.2022.02.70-77 (in Russian)
13. Guzii O., Romanchuk A., Mahlovany A., Trach V. Polyfunctional express-evaluation criteria of the sportsman organism state. *J. Phys Edu. Sport*. 2019; 19(4): 2352–2358. DOI: 10.7752/jpes.2019.04356
14. Bustamante-Sánchez Á., Tornero-Aguilera J.F., Fernández-Elías V.E., Horneño-Holgado A.J., Dalamitros A.A., Clemente-Suárez V.J. Effect of Stress on Autonomic and Cardiovascular Systems in Military Population: A Systematic Review. *Cardiol. Res. Pract.* 2020; 2020: 7986249. DOI: 10.1155/2020/7986249
15. 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; 17(3): 354–381.

-
16. Matusik P.S., Zhong C., Matusik P.T., Alomar O., Stein P.K. Neuroimaging Studies of the Neural Correlates of Heart Rate Variability: A Systematic Review. *J. Clin. Med.* 2023; 12(3): 1016. DOI: 10.3390/jcm12031016
17. Shaffer F., Ginsberg J.P. An Overview of Heart Rate Variability Metrics and Norms. *Front. Public Health.* 2017; 5: 258. DOI: 10.3389/fpubh.2017.00258

Сведения об авторах:

Панкова Наталия Борисовна — доктор биологических наук, доцент, главный научный сотрудник лаборатории физико-химической и экологической патофизиологии Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии»; <https://orcid.org/0000-0002-3582-817X>

Карганов Михаил Юрьевич — доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник, и.о. заведующего лабораторией физико-химической и экологической патофизиологии Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт общей патологии и патофизиологии»; <https://orcid.org/0000-0002-5862-8090>