

Дата публикации: 01.06.2021

DOI: 10.51871/2588-0500\_2021\_05\_02\_4

УДК 612.172.2

## **ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ СЕРДЕЧНОГО РИТМА, КАК ОСНОВНОЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА СПОРТСМЕНОВ, ПРИНИМАЮЩИХ УЧАСТИЕ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ВИДАХ СПОРТА**

В.И. Пустовойт, М.С. Ключников, С.Е. Назарян, И.А. Ероян,  
А.С. Самойлов

ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Россия

**Ключевые слова:** функциональное состояние организма, дифференциальная диагностика, спортсмены, адаптация.

**Аннотация.** Цель данного исследования – разработать модель ранней диагностики уровня функционального состояния спортсменов, участвующих в экстремальных видах спорта, опираясь на значимые предикатные показатели variability сердечного ритма (VSR). Обследовали состояние здоровья спортсменов на АПК «Варикард 2.51», анализ результатов VSR проводили с использованием метода линейно-дискриминантного анализа. Для систематизации результатов был использован специализированный пакет прикладных программ статистической обработки данных и “Statistica 7”. По результатам дискриминантного анализа спортсмены были распределены на четыре групп функционального состояния организма (ФСО) с уровнем классификационной способности 90,66%. Разработанная модель обеспечивает совпадение прогнозируемого уровня ФСО с реальным результатом в 80,27% случаев с оптимальным, в 97,08% с допустимым, в 84,05% с преморбидным, и в 77,08% случаев с критическим уровнем ФСО. Изменение ФСО обусловлено процессами его адаптации к условиям окружающей среды и интенсивностью физических и психоэмоциональных нагрузок, связанных с перенастройкой механизмов регуляции, что подтверждается при регистрации VSR. Определены значимые ( $p < 0,05$ ) предиктивные показатели VSR (SI, SDNN, HR, CV, pNN50, Xmax, Mean RR, Xmin, AMo50, Mo, MxRMn, HFmx, RMSSD, LF/HF, CC1), значения которых необходимо подставить в разработанные формулы линейно-дискриминантной функции. Разработанная модель прогноза характеризуется высокой информационной способностью (90,1%), что позволяет своевременно и достоверно ( $p < 0,05$ ) спрогнозировать уровень ФСО у спортсменов, принимающих участие в экстремальных видах спорта. Для разработанной модели выявлена сильная корреляционная связь

( $r > 0,70$ ;  $p < 0,05$ ) уровня ФСО у спортсменов, экстремальных видов спорта, при развитии выраженной стрессовой реакции в преморбидном и критическом состоянии с результатами отношения концентрации гормонов в слюне.

## **HEART RATE VARIABILITY AS THE MAIN METHOD OF ASSESSING THE FUNCTIONAL STATE OF ATHLETES PARTICIPATING IN EXTREME SPORTS**

V.I. Pustovojt, M.S. Klyuchnikov, S.E. Nazaryan, I.A. Eroyan,  
A.S. Samojlov

SRC FMBC named after A.I. Burnazyan FMBA of Russia, Moscow, Russia

**Keywords:** functional state, differential diagnostics, athletes, adaptation.

**Annotation.** The aim of this study is to develop a model for early diagnosis of the functional state of extreme sports athletes, based on heart rate variability (HRV) data. Athletes had been examined with diagnostic device “Varicard 2.51”, linear discriminant analysis was made on HRV data. Statistics were calculated with the “Statistica 7” software. According to discriminant analysis, athletes were divided into 4 groups by their functional state (FS) with a level of classification ability 90,66%. Developed model is precise and accurate: match of calculated results with actual FS is 80,27% for optimal FS, 97,08% for acceptable FS, 84,05% for premorbid condition, 77,08% for critical FS. The change in FS is due to the processes of athletes’ adaptation to environmental conditions and the intensity of physical and psycho-emotional stress associated with the readjustment of the regulation mechanisms, which is confirmed by HRV analysis. Significant ( $p < 0,05$ ) predictive indicators of HRV (SI, SDNN, HR, CV, pNN50, Xmax, Mean RR, Xmin, AMo50, Mo, MxRMn, HFmx, RMSSD, LF/HF, CC1), which values must be used in developed LDF model, were identified. The developed forecasting model is characterized by a high informational ability (90.1%), which allows reliable ( $p < 0,05$ ) forecasting of the FS dynamics in extreme sports athletes. Developed model has a strong correlation ( $r > 0,70$ ,  $p < 0,05$ ) between FS levels, extreme sports and stress reaction in premorbid and critical state, indicated by stress-hormone concentration in saliva.

**Введение.** В настоящее время в мире широко используется неинвазивный метод для диагностики активности вегетативных контуров нервной системы, путем регистрации электрокардиографического (ЭКГ) сигнала – вариативность сердечного ритма (ВСР) [12]. Исследования показывают связь значений ВСР с такими состояниями, как боль [14], острый и хронический стресс [15, 19, 16], метаболический синдром [20, 21]

депрессия [18], психоэмоциональное напряжение [17], которые часто встречаются у спортсменов и могут быть причиной неудач в спортивной карьере и отражаться на состоянии здоровья в будущем.

Сопровождение спортсменов, принимающих участие в экстремальных видах спорта, в настоящее время порождает большие сложности для врачей, в связи с частым изменением климатических условий спортивного труда, приводящим к истощению функциональных резервов организма. Для увеличения профессионального здоровья и улучшения показателей в спортивной деятельности, необходимо своевременно и точно определять уровень функционального состояния организма (ФСО) с последующей метаболической коррекцией, предоставляющей возможность сохранить на необходимом уровне адаптационные резервы организма спортсмена.

Изучением процессов адаптации организма человека к предельным физическим нагрузкам занималось большое количество современных физиологов [1, 2, 3, 4, 5, 11]. Полагаясь на их научные исследования, мы решили разработать объективные критерии оценки уровня ФСО у спортсменов, принимающих участие в экстремальных видах спорта. Полученные данные наглядно увеличат диагностическую точность метода ВСР и предоставят возможность объективно оценивать эффективность метаболической коррекции при сопровождении спортсменов, участвующих в экстремальных видах спорта.

Цель исследования: разработать модель ранней диагностики уровня ФСО спортсменов, участвующих в экстремальных видах спорта, опираясь на значимые предикатные показатели ВСР.

**Методы и организация исследования.** Модель прогнозирования разрабатывалась на 60 здоровых спортсменах, участвующих в экстремальных видах спорта, возраст которых составлял в среднем  $25,1 \pm 3,1$  лет, в динамике проведено 1521 обследование. Спортивная квалификация соответствовала первому взрослому разряду и выше. Фоновую регистрацию ВСР проводили в оптимальном ФСО в пункте постоянного проживания. На момент обследования, все спортсмены были здоровыми, отдохнувшими и в состоянии максимальной работоспособности. Динамическое исследование проводили в период тренировочных сборов, до и после выступления на соревнованиях. Дизайн исследования соответствовал Хельсинкской декларации 1964 г. с изменениями от октября 2013 г.

Регистрация показателей ВСР осуществлялась на аппаратно-программном комплексе (АПК) «Варикард 2.51» с программой «ISCIM 6.1» (Build 2.8) в соответствии с требованиями Европейского Кардиологического общества [12]. Обследование проводили в состоянии покоя с 9 до 12 часов

утра в положении сидя. Длительность записи составляла пять минут в шумоизолированном помещении при температуре воздуха  $22 \pm 1^\circ\text{C}$ .

В итоговый анализ данных не включали результаты обследования спортсменов, у которых регистрировали наличие одного из критериев на момент обследования – это употребление алкоголя, сон менее 8 часов за последние 24 часа, прием пищи или курение в течении последних двух часов.

На АПК «Варикард 2.51» определяли показатели временной области ВСР: частоту сердечных сокращений (HR, уд./мин.) среднюю длительность интервала RR (Mean RR, мс); максимальную длительность интервала RR (XMax, мс), минимальную длительность интервала RR (XMin, мс), разность XMax-XMin (MxDMn), отношение XMax/XMin (MxRMn), квадратный корень из суммы разностей последовательного ряда кардиоинтервалов RMSSD, число пар кардиоинтервалов, отличающихся более, чем на 50 %, в процентах от общего числа кардиоинтервалов в массиве (pNN50), среднее квадратичное отклонение (SDNN, мс), коэффициент вариации (CV, %), дисперсию (D, мс<sup>2</sup>), моду (Mo, мс), амплитуду моды (AMoSDNN, %), амплитуду моды (AMo50, %), амплитуду моды (AMo7.8, %), показатель автокорреляционной функции (CC1), показатель автокорреляционной функции (CC0), индекс напряжения регуляторных систем (Si) по Р.М. Баевскому [3, 13].

В частотном домене после проведения фильтрации спектрального сигнала (для всестороннего визуального отображения фильтрованных частот) [13], вычисляли суммарную мощность спектра (TP, мс<sup>2</sup>), абсолютную мощность высокочастотного диапазона (HF, мс<sup>2</sup>), абсолютную мощность низкочастотного диапазона (LF, мс<sup>2</sup>), абсолютную мощность очень низкочастотного диапазона (VLF, мс<sup>2</sup>), абсолютную мощность ультранизкочастотного диапазона (ULF, мс<sup>2</sup>), максимум высокочастотной составляющей (HFmx, мс<sup>2</sup>/Гц), максимум низкочастотной составляющей (LFmx, мс<sup>2</sup>/Гц), максимум очень низкочастотной составляющей (VLFmx, мс<sup>2</sup>/Гц), максимум ультранизкочастотной составляющей (ULFmx, мс<sup>2</sup>/Гц), период максимального спектра HF (HFt, мс<sup>2</sup>/Гц), период максимального спектра LF (LFt, мс<sup>2</sup>/Гц), период максимального спектра VLF (VLFt, мс<sup>2</sup>/Гц), период максимального спектра ULF (ULFt, мс<sup>2</sup>/Гц), относительную мощность высокочастотного диапазона (PHF, %), относительную мощность низкочастотного диапазона (PLF, %), относительную мощность очень низкочастотного диапазона (PVLF, %), отношение LF/HF, VLF/HF, индекс централизации (VLF+LF)/HF [2, 13, 14].

Результаты данной работы базируются на методах статистической обработки показателей ВСР с учетом исходного фона, психоэмоциональных

и физических нагрузок, а также показателей общего клинического анализа крови и соотношения содержания в слюне гормонов стресса (кортизол / дегидроэпиандростерон). Результаты исследования заносились в табличный редактор Excel for Windows 2016, для систематизации данных использовался специализированный пакет прикладных программ статистической обработки “Statistica 7” [10]. Достоверность ( $p < 0,05$ ) различий между группами для непараметрических и зависимых выборок определяли с помощью U-критерия Манна-Уитни. Корреляционный анализ измеряемых показателей и ФСО проводили по методу Спирмена. Для построения прогностической диагностической модели определения уровня ФСО использовался метод дискриминантного анализа [10].

**Результаты исследования и их обсуждение.** Анализ ВСР у спортсменов, принимающих участие в экстремальных видах спорта, показал, что в зависимости от психоэмоционального напряжения и интенсивности физических нагрузок регистрируются значимые различия в показателях, характеризующих уровни ФСО.

В критическом ФСО у спортсменов регистрировали признаки нарушения механизмов регуляции сердечной деятельности и истощение нейрогормональной систем, по причине длительного стресса, что подтверждается низким уровнем кортизола и дегидроэпиандростерона (DHEA). У этих атлетов чаще всего регистрировали развитие острых, персистирующих инфекционных заболеваний и обострение хронических болезней [8].

В преморбидном ФСО у спортсменов регистрировали состояние относительного истощения гипоталамо-гипофизарно-адреналовой системы, характеризующиеся низким уровнем DHEA и нормальным или повышенным уровнем кортизола в слюне. У этой группы атлетов согласно классификации Р.М. Баевского отмечали низкий уровень адаптационных резервов организма [1, 6, 9], проведение нагрузочного тестирования показало снижение функциональной работоспособности организма в полтора раза по сравнению с оптимальным состоянием здоровья.

В допустимом ФСО спортсмены хорошо переносят адаптацию к новым факторам окружающей среды.

В оптимальном ФСО активность регуляторных системы у спортсменов, участвующих в экстремальных видах спорта регистрируется в пределах физиологической нормы и характеризуется высоким уровнем адаптационных резервов, что способствует легкой адаптации к новым условиям спортивного труда [9].

С помощью программы Statistica 7 мы проанализировали полученные данные с целью выявления наиболее значимых предикативных признаков для последующего включения в модель дифференциальной диагностики уровня ФСО спортсменов, принимающих участие в экстремальных видах спорта.

Метод линейно-дискриминантного анализа (linear discriminant analysis) дал возможность разработать модель прогнозирования ФСО спортсменов, основанную на четырёх уровнях: ЛДФ4 – соответствует оптимальному уровню; ЛДФ3 – допустимому уровню; ЛДФ2 – преморбидному уровню и ЛДФ1 – критическому уровню.

По итогам линейно-дискриминантной функции определили значимые предикторы и их коэффициенты, которые влияют на отнесение конкретного спортсмена к одному из уровней ФСО, для этого необходимо учитывать такие значимые ( $p < 0,05$ ) показатели, как: SI, SDNN, HR, CV, pNN50, Xmax, Mean RR, Xmin, AMo50, Mo, MxRMn, HFmx, RMSSD, LF/HF, CC1.

Для того чтобы решить задачу выработки окончательной дискриминантной модели использовали метод пошагового отбора наиболее значимых ( $p < 0,05$ ) признаков с уровнем надёжности не менее 95%. В первой таблице приведены значения, включённые в модель с уровнями градации признаков, их значимостью и коэффициентами согласно каждой функции.

Для определения уровня ФСО, а также прогноза возможных изменений в состоянии здоровья решали задачу по формулам ЛДФ, подставляя включенные в модель значения ВСР, полученные при обследовании конкретного спортсмена (Таблица 1). По итогам решения уравнений дискриминантной функции наибольшее значение ЛДФ соответствует ФСО. Например, если наибольшей оказалась ЛДФ2, то у этого спортсмена скорее всего преморбидное ФСО.

При ЛДФ1 > ЛДФ2, ЛДФ3, ЛДФ4 у спортсменов, экстремальных видов спорта, наибольшая вероятность критического уровня ФСО; при ЛДФ2 > ЛДФ1, ЛДФ3, ЛДФ4 у спортсменов, экстремальных видов спорта, наибольшая вероятность преморбидного уровня ФСО; при ЛДФ3 > ЛДФ1, ЛДФ2, ЛДФ4 у спортсменов экстремальных видов спорта наибольшая вероятность допустимого уровня ФСО; при ЛДФ4 > ЛДФ1, ЛДФ2, ЛДФ3 у спортсменов, экстремальных видов спорта, наибольшая вероятность оптимального уровня ФСО.

Таблица 1

Показатели ВСР, включённые в модель дифференциальной диагностики ФСО и их степени выраженности

Признаки	Условное обозначение	Коэффициенты				p-level
		ЛДФ1	ЛДФ2	ЛДФ3	ЛДФ4	
SI	X1	0,23	-0,26	-0,26	-0,25	0,000
SDNN	X2	5,70	5,45	5,46	5,63	0,000
HR	X3	52,21	50,38	49,59	49,48	0,000
CV	X4	-38,49	-35,56	-34,83	-35,84	0,000
pNN50	X5	-0,42	-0,46	-0,49	-0,46	0,000
Xmax	X6	-0,31	-0,31	-0,30	-0,29	0,000
Mean RR	X7	2,70	2,64	2,63	2,62	0,000
Xmin	X8	0,85	0,85	0,84	0,82	0,000
AMo50	X9	0,88	0,87	0,77	0,70	0,000
Mo	X10	-0,07	-0,07	-0,07	-0,06	0,000
MxRMn	X11	177,37	176,29	175,46	172,96	0,007
HFmx	X12	0,05	0,04	0,04	0,04	0,002
RMSSD	X13	-0,13	-0,11	-0,10	-0,10	0,000
LF/HF	X14	0,25	0,39	0,72	0,94	0,020
CC1	X15	50,46	50,95	47,93	48,72	0,039
Константа		-3438,35	-3244,45	-3177,27	-3172,73	

Статистически значимая ( $p < 0,05$ ) модель ранней дифференциальной диагностики ФСО основана на четырех уровнях:

– критический уровень функционального состояния (ЛДФ1)

$$\text{ЛДФ1} = -3438,35 + (-0,23 \times X1) + 5,70 \times X2 + 52,21 \times X3 + (-38,49 \times X4) + (-0,42 \times X5) + (-0,31 \times X6) + 2,7 \times X7 + 0,85 \times X8 + 0,88 \times X9 + (-0,07 \times X10) + 177,37 \times X11 + 0,05 \times X12 + (-0,13 \times X13) + 0,25 \times X14 + 50,46 \times X15;$$

– преморбидный уровень функционального состояния (ЛДФ2)

$$\text{ЛДФ2} = -3244,45 + (-0,26 \times X1) + 5,45 \times X2 + 50,38 \times X3 + (-35,56 \times X4) + (-0,46 \times X5) + (-0,31 \times X6) + 2,64 \times X7 + 0,85 \times X8 + 0,87 \times X9 + (-0,07 \times X10) + 176,29 \times X11 + 0,04 \times X12 + (-0,11 \times X13) + 0,39 \times X14 + 50,95 \times X15;$$

– допустимый уровень функционального состояния (ЛДФ3)

$$\text{ЛДФ3} = -3177,27 + (-0,26 \times X1) + 5,46 \times X2 + 49,59 \times X3 + (-34,83 \times X4) + (-0,49 \times X5) + (-0,30 \times X6) + 2,63 \times X7 + 0,84 \times X8 + 0,77 \times X9 + (-0,07 \times X10) + 175,46 \times X11 + 0,04 \times X12 + (-0,1 \times X13) + 0,72 \times X14 + 47,93 \times X15;$$

– оптимальный уровень функционального состояния (ЛДФ4)

$$\text{ЛДФ4} = -3172,73 + (-0,25 \times X1) + 5,63 \times X2 + 49,48 \times X3 + (-35,84 \times X4) + (-0,46 \times X5) + (-0,29 \times X6) + 2,62 \times X7 + 0,82 \times X8 + 0,7 \times X9 + (-0,06 \times X10) + 172,96 \times X11 + 0,04 \times X12 + (-0,1 \times X13) + 0,94 \times X14 + 48,72 \times X15.$$

Результаты линейно-дискриминантной функции имеют достаточно высокую информационную способность (90,7%), что подтверждается результатами нагрузочного тестирования, по итогам которого отмечается значительное в 1,5 и 1,9 раза снижение функциональной работоспособности спортсменов в преморбидном и критическом состоянии организма, а корреляционная связь находится в сильной положительной взаимосвязи ( $r > 0,70$ ;  $p < 0,05$ ). Ранговая корреляция результатов общего клинического анализа крови по классификации Л.Х. Гаркави (определение типов адаптационных реакций) с уровнями ФСО показывает среднюю отрицательную корреляционную связь ( $-0,69 < r < -0,30$ ;  $p < 0,05$ ) только с двумя типами адаптации – переактивации и стресса, они в 61,8% случаев совпадают с преморбидным и критическим состоянием организма спортсменов, участвующих в экстремальных видах спорта. Дополнительно в качестве объективизирующих диагностических показателей раннего периода напряжения механизмов регуляции гипоталамо-гипофизарно-адреналовой системы, проводили анализ концентрации гормонов в слюне спортсменов методом высокоэффективной жидкостной хроматографией-масс-спектрометрии (ВЭЖХ-МС). Рассчитанные соотношения кортизола к дегидроэпиандростерону имели сильную положительную корреляционную связь ( $r > 0,70$ ;  $p < 0,05$ ) с прогнозом ЛДФ и выраженностью стрессового состояния у спортсменов.

По данным, представленным в классификационной матрице прогноза ФСО у спортсмена, участвующего в экстремальных видах спорта (Таблица 2), видим, что в четвертой группе оптимального состояния предлагаемая модель обеспечивает совпадение прогнозируемого уровня, с реальным результатом в 80,3% случаев. В третьей и второй группах ФСО совпадение прогнозируемого диагноза с реальными результатами составило 97,1% и 84,1%, соответственно. В первой группе критического ФСО предполагаемая модель обеспечивает прогнозируемое совпадение в 77,1% случаев. Классификационная способность определения уровня ФСО спортсменов, принимающих участие в экстремальных видах спорта, обеспечивает прогнозируемое совпадение в 90,1% случаев с реальными результатами.

Разработанная дискриминантная модель дифференциальной диагностики уровня ФСО по данным анализа ВСР основана на 15 статистически значимых ( $p < 0,05$ ) простейших показателях (SI, SDNN, HR, CV, pNN50, Xmax, Mean RR, Xmin, AМо50, Мо, MxRMn, HFmx, RMSSD, LF/HF, CC1) и обладает достаточно высокой (90,1%) информационной способностью.

Таблица 2

Классификационная матрица прогноза функционального состояния спортсмена, участвующего в экстремальных видах спорта.

Диагноз	%	ЛДФ1	ЛДФ2	ЛДФ3	ЛДФ4	Всего
Критический уровень функционального состояния	7,08	4	22	0	0	96
Преморбидный уровень функционального состояния	4,05	5	195	32	0	232
Допустимый уровень функционального состояния	7,08	0	10	898	17	925
Оптимальный уровень функционального состояния	0,27	0	0	59	240	299
Всего	90,66	9	227	989	275	1552

Примечание: по строкам - классификация соответственно базе данных; по столбцам - классификация соответственно прогнозу

Вычисления по разработанной формуле, возможно, произвести при помощи калькулятора или для упрощения расчёта построить алгоритм в программе Excel. Нами разработано бесплатное приложение для персонального компьютера.

Эту модель можно использовать на любом этапе сопровождения спортсменов. Важным моментом является её простая доступность и масштабируемость, поскольку для проведения измерений достаточно наличия портативной ВСП гарнитуры и персонального компьютера.

Необходимо подчеркнуть, что скрининг по параметрам ВСП представляет собой процедуру первичной диагностики, цель которой – выявление спортсменов с высокой вероятностью критического и преморбидного функционального состояния организма. Для принятия окончательного решения необходимо пройти дополнительные клиничко-лабораторные обследования. Эта модель является лишь первичным диагностическим инструментом, позволяющим в совокупности дать оценку ФСО у спортсменов на самом раннем этапе и инициировать метаболическую коррекцию в точке её максимальной эффективности.

### **Заключение.**

1. Изменение ФСО обусловлено процессами его адаптации к условиям окружающей среды и интенсивностью физических и психоэмоциональных нагрузок, связанных с перенастройкой механизмов регуляции, что подтверждается при регистрации ВСП.

2. Определены значимые ( $p < 0,05$ ) предиктивные показатели ВСП (SI, SDNN, HR, CV, pNN50, Xmax, Mean RR, Xmin, AMo50, Mo, MxRMn, HFmx, RMSSD, LF/HF, CC1), значения которых необходимо подставить в разработанные формулы линейно-дискриминантной функции.

3. Разработанная модель прогноза характеризуется высокой информационной способностью (90,1%), что позволяет своевременно и достоверно ( $p < 0,05$ ) спрогнозировать уровень ФСО у спортсменов, принимающих участие в экстремальных видах спорта.

4. Для разработанной модели выявлена сильная корреляционная связь ( $r > 0,70$ ;  $p < 0,05$ ) уровня ФСО у спортсменов, экстремальных видов спорта, при развитии выраженной стрессовой реакции в преморбидном и критическом состоянии с результатами отношения концентрации гормонов в слюне.

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest:** the authors declare no conflict of interest.

### Список литературы

1. Баевский Р.М. Анализ variability сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (часть 1) / Р.М. Баевский, Г.Г. Иванов, Л.В. Чирейкин, А.П. Гаврилушкин, П.Я. Довгалевский, Ю.А. Кукушкин, Т.Ф. Миронова, Д.А. Прилуцкий, А.В. Семенов, В.Ф. Федоров, А.Н. Флейшман, М.М. Медведев // Вестник аритмологии. – 2002 – № 24. – С. 65-86.

2. Баевский Р.М. Анализ variability сердечного ритма: физиологические основы и основные методы проведения / Р.М. Баевский, А.Г. Черникова // *Cardiometry*. – 2017. – № 10. – С.66-76. DOI: 10.12710/cardiometry.2017.6676.

3. Гаркави Л.Х. Антистрессорные реакции и активационная терапия / Л.Х. Гаркави, Е.Б. Квакина, Т.С. Кузьменко // В кн.: Антистрессорные реакции и активационная терапия – М.: Изд-во Книга по требованию. – 2015. – С. 559.

4. Жукова Г.В. Об информативности некоторых гистохимических, цитологических, и биоритмических показателей для оценки изменения функционального состояния организма. / Г.В. Жукова, Л.Х. Гаркави, Н.Ю. Михайлов, О.Ф. Евстратов, Н.М. Мащенко, Г.Н. Толмачев, Т.А. Бартенева, Л.Н. Логинова // Вестник южного научного центра РАН. – 2010. – Т.6, № 3. – С. 49-59.

5. Земцовский Э.В. Спортивная кардиология / Э.В. Земцовский // Издательство Гиппократ. –1995. – 448 с.

6. Ключников М.С. Мониторинг психофизиологического состояния спортсменов на учебно-тренировочных сборах. / М.С. Ключников, Е.И. Разумец // Спортивный психолог. – 2016. – № 4(43). – С. 16-21.

7. Паскотинова Л.В. Патент 2317771. Российская Федерация. Применение комплекса для обработки кардиоинтервалограмм и анализа variability сердечного ритма «Варикард 2,51», работающего под управлением компьютерной программы ISCIM 6.1 (Build 2.8), для коррекции вегетативных дисбалансов с использованием биологической обратной связи. / Л.В. Паскотинова, Ю.Н. Семенов // Заявитель и патентообладатель Ин-т физиологии природных адаптаций Уральск. отд. РАН – № 2006110652; заявл. 03.04.2006; опублик. 27.02. 2008, Бюл. № 6. – 1 с.

8. Пустовойт В.И. Особенности инфекционной патологии у спортсменов-дайверов в сложных климатических условиях / В.И. Пустовойт, А.С. Самойлов, Р.В. Никонов // Спортивная медицина: наука и практика. 2020. – № 1. – С. 67-75.

9. Самойлов А.С. Применение методики анализа variability сердечного ритма для определения индивидуальной устойчивости к токсическому действию кислорода. / А.С. Самойлов, Р.В. Никонов, В.И. Пустовойт, М.С. Ключников // Спортивная медицина: наука и практика. – 2020. – № 10(3). – С. 73-80. DOI: <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2020.3.73>

10. Электронный учебник по статистике «StatSoft» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://statsoft.ru/home/textbook/default.htm> (дата обращения 08.11.2020).

11. Новиков В.С. Дезадаптационные состояния человека при экстремальных воздействиях и их коррекция./ В.С. Новиков, С.И. Сороко, Е.Б. Шустов // СПб.: Политехника-принт. – 2018. – 548 с.

12. Laborde S. Heart Rate Variability and Cardiac Vagal Tone in Psychophysiological Research – Recommendations for Experiment Planning, Data Analysis, and Data Reporting / S. Laborde, E. Mosley, J. F. Thayer // Frontiers in Psychology – 2017. – № 8. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00213>.

13. Schafer A. «How accurate is pulse rate variability as an estimate of heart rate variability? A review on studies comparing photoplethysmographic technology with an electrocardiogram» / A. Schafer, J. Vagedes // International Journal of Cardiology. – 2013. – Vol. 166 – P. 15-29. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2012.03.119>.

14. Nseir S. Measurement of heart rate variability to assess pain in sedated critically ill patients: a prospective observational study / S. Nseir, C. Broucqsaault-Dédrie, J.D. Jonckheere, M. Jeanne // PLoS ONE. – 2016. – Vol.11:e0147720. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0147720>

15. Lehrer P. Comparison of finger plethysmograph to ECG in the measurement of heart rate variability / P. Lehrer, N. Giardino, R. Edelberg // *Psychophysiology*. – 2002. – Vol. 39. – P. 246-253. DOI: 10.1111/1469-8986.3920246

16. Melillo, P. Acute mental stress assessment via short term HRV analysis in healthy adults: a systematic review with meta-analysis / P. Melillo, R. Castaldo, U. Bracale, M. Caserta, M. Triassi, L. Pecchia // *Biomed. Signal Process. Control*. – 2015. – Vol. 18. – P. 370-377. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2015.02.012>

17. Murray A. Examining heart rate variability and alpha-amylase levels in predicting PTSD in combat-experienced marines (Ph.D. thesis) / A. Murray // Alliant International University, Alhambra, CA, United States. – 2012.

18. Ryu Y.H. Is heart rate variability (HRV) an adequate tool for evaluating human emotions? A focus on the use of the International Affective Picture System (IAPS) / Y.H. Ryu, K.-H. Choi, J. Kim, O. Kwon, M. J. Kim, J.-E. Park // *Psychiatry Res*. – 2017. – Vol. 251. – P. 192-196. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-04324-7\\_69](https://doi.org/10.1007/978-3-030-04324-7_69)

19. Thayer J. Depression and resting state heart rate variability in children and adolescents – a systematic review and metaanalysis / J. Thayer, J. Koenig, A. Kemp, T. Beauchaine, M. Kaess // *Clin. Psychol. Rev*. – 2016. – Vol. 46 – P. 136-150. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2016.04.013>

20. Tulppo M. Heart rate variability and the metabolic syndrome: a systematic review of the literature / M. Tulppo, M. Stuckey, A. Kiviniemi, R. Petrella // *Diabetes. Metab. Res. Rev*. – 2014. – Vol. 30. – P. 784-793. DOI: <https://doi.org/10.1002/dmrr.2555>

21. Fox S. *Human Physiology*/ S. Fox // NY: McGraw-Hill Education. – 2016. – 14th edition. – 832 p.

### References

1. Baevskij R.M. Analysis of heart rate variability using various electrocardiographic systems (part 1) / R.M. Baevskij, G.G. Ivanov, L.V. Chirejkin, A.P. Gavrilushkin, P.Ya. Dovgalevskij, Yu.A. Kukushkin, T.F. Mironova, D.A. Prilutskij, A.V. Semenov, V.F. Fedorov, A.N. Flejshman, M.M. Medvedev // *Bulletin of Arrhythmology*. – 2002 – № 24. – P. 65-86.

2. Baevskij R.M. Analysis of heart rate variability: physiological foundations and basic methods of carrying out / R.M. Baevskij, A.G. Chernikova // *Cardiometry*. – 2017. – № 10. – P. 66-76. DOI: 10.12710/cardiometry.2017.6676.

3. Garkavi L.Kh. Antistress reactions and activation therapy / L.Kh. Garkavi, E.B. Kvakina, T.S. Kuz'menko // In the book: *Antistress reactions and activation therapy*. – M.: Publishing house “Book on Demand”. – 2015. – P. 559.

4. Zhukova G.V. On the information content of some histochemical, cytological, and biorhythmic indicators for assessing changes in the functional state of the body / G.V. Zhukova, L.Kh. Garkavi, N.Yu. Mikhajlov, O.F. Evstratov, N.M. Mashchenko, G.N. Tolmachev, T.A. Barteneva, L.N. Loginova // Bulletin of the Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. – 2010. – Vol. 6. – № 3. – P. 49-59.

5. Zemtsovskij E.V. Sports cardiology / E.V. Zemtsovskij // Publishing house "Hippocrates". –1995. – 448 p.

6. Klyuchnikov M.S. Monitoring the psychophysiological state of athletes at training camps / M.S. Klyuchnikov, E.I. Razumets // Sports Psychologist. – 2016. – № 4(43). – P. 16-21.

7. Paskotina L.V. Patent 2317771. Russian Federation. Application of the complex for processing cardiointervalograms and analysis of heart rate variability "Varicard 2.51", running under the computer program ISCIM 6.1 (Build 2.8), for the correction of autonomic imbalances using biofeedback / L.V. Paskotina, Yu.N. Semenov // Applicant and patentee: Institute of Physiology of Natural Adaptations of the Uralsk. RAS Dep. – № 2006110652; declared 03.04.2006; publ. 27.02. 2008, Bul. № 6. – 1 p.

8. Pustovojt V.I. Features of infectious pathology in divers in difficult climatic conditions / V.I. Pustovojt, A.S. Samojlov, R.V. Nikonov // Sports Medicine: Science and Practice. – 2020. – № 1. – P. 67-75.

9. Samojlov A.S. Application of the method of analysis of heart rate variability to determine individual resistance to the toxic effects of oxygen / A.S. Samojlov, R.V. Nikonov, V.I. Pustovojt, M.S. Klyuchnikov // Sports Medicine: Science and Practice. – 2020. – № 10(3). – P. 73-80. DOI: <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2020.3.73>

10. 10. Electronic textbook on statistics «StatSoft» [Electronic resource] – Access mode: <http://statsoft.ru/home/textbook/default.htm> (Accessed on 08.11.2020).

11. Novikov V.S. Maladaptive states of a person under extreme influences and their correction / V.S. Novikov, S.I. Soroko, E.B. Shustov // Saint Petersburg: Polytechnic-print. – 2018. – 548 p.

12. Laborde S. Heart Rate Variability and Cardiac Vagal Tone in Psychophysiological Research – Recommendations for Experiment Planning, Data Analysis, and Data Reporting / S. Laborde, E. Mosley, J. F. Thayer // Frontiers in Psychology – 2017. – № 8. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00213>.

13. Schafer A. «How accurate is pulse rate variability as an estimate of heart rate variability? A review on studies comparing photoplethysmographic technology with an electrocardiogram» / A. Schafer, J. Vagedes //

International Journal of Cardiology. – 2013. – Vol. 166 – P. 15-29. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2012.03.119>.

14. Nseir S. Measurement of heart rate variability to assess pain in sedated critically ill patients: a prospective observational study / S. Nseir, C. Broucqsault-Dédrie, J.D. Jonckheere, M. Jeanne // PLoS ONE. – 2016. – Vol.11:e0147720. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0147720>

15. Lehrer P. Comparison of finger plethysmograph to ECG in the measurement of heart rate variability / P. Lehrer, N. Giardino, R. Edelberg // Psychophysiology. – 2002. – Vol. 39. – P. 246-253. DOI: 10.1111/1469-8986.3920246

16. Melillo P. Acute mental stress assessment via short term HRV analysis in healthy adults: a systematic review with meta-analysis / P. Melillo, R. Castaldo, U. Bracale, M. Caserta, M. Triassi, L. Pecchia // Biomed. Signal Process. Control. – 2015. – Vol. 18. – P. 370-377. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2015.02.012>

17. Murray A. Examining heart rate variability and alpha-amylase levels in predicting PTSD in combat-experienced marines (Ph.D. thesis) / A. Murray // Alliant International University, Alhambra, CA, United States. – 2012.

18. Ryu Y.H. Is heart rate variability (HRV) an adequate tool for evaluating human emotions? A focus on the use of the International Affective Picture System (IAPS) / Y.H. Ryu, K.-H. Choi, J. Kim, O. Kwon, M. J. Kim, J.-E. Park // Psychiatry Res. – 2017. – Vol. 251. – P. 192-196. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-04324-7\\_69](https://doi.org/10.1007/978-3-030-04324-7_69)

19. Thayer J. Depression and resting state heart rate variability in children and adolescents – a systematic review and metaanalysis / J. Thayer, J. Koenig, A. Kemp, T. Beauchaine, M. Kaess // Clin. Psychol. Rev. – 2016. – Vol. 46 – P. 136-150. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2016.04.013>

20. Tulppo M. Heart rate variability and the metabolic syndrome: a systematic review of the literature / M. Tulppo, M. Stuckey, A. Kiviniemi, R. Petrella // Diabetes. Metab. Res. Rev. – 2014. – Vol. 30. – P. 784-793. DOI: <https://doi.org/10.1002/dmrr.2555>

21. Fox S. Human Physiology/ S. Fox // NY: McGraw-Hill Education. – 2016. – 14th edition. – 832 p.

### **Spisok literary**

1. Baevskij R.M. Analiz variabel'nosti serdechnogo ritma pri ispol'zovanii razlichnykh elektrokardiograficheskikh sistem (chast' 1) / R.M. Baevskij, G.G. Ivanov, L.V. Chirejkin, A.P. Gavrilushkin, P.Ya. Dovgalevskij, Yu.A. Kukushkin, T.F. Mironova, D.A. Prilutskij, A.V. Semenov, V.F. Fedorov, A.N. Flejshman, M.M. Medvedev // Vestnik aritmologii. – 2002 – № 24. – S. 65-86.

2. Baevskij R.M. Analiz variabel'nosti serdechnogo ritma: fiziologicheskie osnovy i osnovnye metody provedeniya / R.M. Baevskij, A.G. Chernikova // *Cardiometry*. – 2017. – № 10. – С.66-76. DOI: 10.12710/cardiometry.2017.6676.

3. Garkavi L.Kh. Antistressornye reaktsii i aktivatsionnaya terapiya / L.Kh. Garkavi, E.B. Kvakina, T.S. Kuz'menko // *V kn.: Antistressornye reaktsii i aktivatsionnaya terapiya* – M.: Izd-vo Kniga po trebovaniyu. – 2015. – S. 559.

4. Zhukova G.V. Ob informativnosti nekotorykh gistokhimicheskikh, tsitologicheskikh, i bioritmicheskikh pokazatelej dlya otsenki izmeneniya funktsional'nogo sostoyaniya organizma / G.V. Zhukova, L.Kh. Garkavi, N.Yu. Mikhajlov, O.F. Evstratov, N.M. Mashchenko, G.N. Tolmachev, T.A. Barteneva, L.N. Loginova // *Vestnik yuzhnogo nauchnogo tsentra RAN*. – 2010. – T.6. – № 3. – S. 49-59.

5. Zemtsovskij E.V. Sportivnaya kardiologiya / E.V. Zemtsovskij // *Izdatel'stvo Gippokrat*. –1995. – 448 s.

6. Klyuchnikov M.S. Monitoring psikhofiziologicheskogo sostoyaniya sportsmenov na uchebno-trenirovochnykh sborakh / M.S. Klyuchnikov, E.I. Razumets // *Sportivnyj psikholog*. – 2016. – № 4(43). – S. 16-21.

7. Paskotina L.V. Patent 2317771. Rossijskaya Federatsiya. Primenenie kompleksa dlya obrabotki kardiointervalogramm i analiza variabel'nosti serdechnogo ritma «Varikard 2,51», rabotayushchego pod upravleniem komp'yuternoj programmy ISCIM 6.1 (Build 2.8), dlya korrektsii vegetativnykh disbalansov s ispol'zovaniem biologicheskoy obratnoj svyazi / L.V. Paskotina, Yu.N. Semenov // *Zayavitel' i patentoobladatel' In-t. fiziologii prirodnykh adaptatsij Ural'sk. otd. RAN* – № 2006110652; zayavl. 03.04.2006; opubl. 27.02. 2008, *Byul.* № 6. – 1 s.

8. Pustovojt V.I. Osobennosti infektsionnoj patologii u sportsmenov-dajverov v slozhnykh klimaticheskikh usloviyakh / V.I. Pustovojt, A.S. Samojlov, R.V. Nikonov // *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika*. 2020. – № 1. – S. 67-75.

9. Samojlov A.S. Primenenie metodiki analiza variabel'nosti serdechnogo ritma dlya opredeleniya individual'noj ustojchivosti k toksicheskomu dejstviyu kisloroda / A.S. Samojlov, R.V. Nikonov, V.I. Pustovojt, M.S. Klyuchnikov // *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika*. – 2020. – № 10(3). – S. 73-80. DOI: <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2020.3.73>

10. Elektronnyj uchebnik po statistike «StatSoft» [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: <http://statsoft.ru/home/textbook/default.htm> (data obrashcheniya 08.11.2020).

11. Novikov V.S. Dezadaptatsionnye sostoyaniya cheloveka pri ekstremal'nykh vozdeystviyakh i ikh korrektsiya / V.S. Novikov, S.I. Soroko, E.B. Shustov // SPb.: Politekhnikaprint. – 2018. – 548 s.

12. Laborde S. Heart Rate Variability and Cardiac Vagal Tone in Psychophysiological Research – Recommendations for Experiment Planning, Data Analysis, and Data Reporting / S. Laborde, E. Mosley, J. F. Thayer // *Frontiers in Psychology* – 2017. – № 8. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00213>.

13. Schafer A. «How accurate is pulse rate variability as an estimate of heart rate variability? A review on studies comparing photoplethysmographic technology with an electrocardiogram» / A. Schafer, J. Vagedes // *International Journal of Cardiology*. – 2013. – Vol. 166 – P. 15-29. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2012.03.119>.

14. Nseir S. Measurement of heart rate variability to assess pain in sedated critically ill patients: a prospective observational study / S. Nseir, C. Broucqsaault-Dédrie, J.D. Jonckheere, M. Jeanne // *PLoS ONE*. – 2016. – Vol.11:e0147720. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0147720>

15. Lehrer P. Comparison of finger plethysmograph to ECG in the measurement of heart rate variability / P. Lehrer, N. Giardino, R. Edelberg // *Psychophysiology*. – 2002. – Vol. 39. – P. 246-253. DOI: 10.1111/1469-8986.3920246

16. Melillo P. Acute mental stress assessment via short term HRV analysis in healthy adults: a systematic review with meta-analysis / P. Melillo, R. Castaldo, U. Bracale, M. Caserta, M. Triassi, L. Pecchia // *Biomed. Signal Process. Control*. – 2015. – Vol. 18. – P. 370-377. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bspc.2015.02.012>

17. Murray A. Examining heart rate variability and alpha-amylase levels in predicting PTSD in combat-experienced marines (Ph.D. thesis) / A. Murray // Alliant International University, Alhambra, CA, United States. – 2012.

18. Ryu Y.H. Is heart rate variability (HRV) an adequate tool for evaluating human emotions? A focus on the use of the International Affective Picture System (IAPS) / Y.H. Ryu, K.-H. Choi, J. Kim, O. Kwon, M. J. Kim, J.-E. Park // *Psychiatry Res*. – 2017. – Vol. 251. – P. 192-196. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-04324-7\\_69](https://doi.org/10.1007/978-3-030-04324-7_69)

19. Thayer J. Depression and resting state heart rate variability in children and adolescents - a systematic review and metaanalysis / J. Thayer, J. Koenig, A. Kemp, T. Beauchaine, M. Kaess // *Clin. Psychol. Rev*. – 2016. – Vol. 46 – P. 136-150. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2016.04.013>

20. Tulppo M. Heart rate variability and the metabolic syndrome: a systematic review of the literature / M. Tulppo, M. Stuckey, A. Kiviniemi, R.

Petrella // *Diabetes. Metab. Res. Rev.* – 2014. – Vol. 30. – P. 784-793. DOI: <https://doi.org/10.1002/dmrr.2555>

21. Fox S. *Human Physiology*/ S. Fox // NY: McGraw-Hill Education. – 2016. – 14th edition. – 832 p.

**Сведения об авторах:** **Василий Игоревич Пустовойт** – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник лаборатории больших данных и прецизионной спортивной медицины ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, e-mail: [vipust@yandex.ru](mailto:vipust@yandex.ru); **Михаил Сергеевич Ключников** – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией больших данных и прецизионной спортивной медицины ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, e-mail: [kljuchnikov@me.com](mailto:kljuchnikov@me.com); **Светлана Евгеньевна Назарян** – заведующая отделением психологии Центра спортивной медицины и реабилитации ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, e-mail: [sveta-nazaryan@yandex.ru](mailto:sveta-nazaryan@yandex.ru); **Илона Арашаковна Ероян** – ординатор кафедры восстановительной медицины, спортивной медицины, курортологии и физиотерапии с курсом сестринского дела ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва; **Александр Сергеевич Самойлов** – генеральный директор ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва.

**Information about authors:** **Vasilij Igorevich Pustovojt** – Candidate of Medical Sciences, Senior Researcher at the Laboratory of Big Data and Precision Sports Medicine of the SRC FMBC named after A.I. Burnazyan of FMBA of Russia, Moscow, e-mail: [vipust@yandex.ru](mailto:vipust@yandex.ru); **Mikhail Sergejevich Klyuchnikov** – Candidate of Biological Sciences, Head of the Laboratory of Big Data and Precision Sports Medicine of the SRC FMBC named after A.I. Burnazyan of FMBA of Russia, Moscow, e-mail: [kljuchnikov@me.com](mailto:kljuchnikov@me.com); **Svetlana Evgen'evna Nazaryan** – Head of the Psychology Department of the Center for Sports Medicine and Rehabilitation of the SRC FMBC named after A.I. Burnazyan of FMBA of Russia, Moscow, e-mail: [sveta-nazaryan@yandex.ru](mailto:sveta-nazaryan@yandex.ru); **Ilona Arashakovna Yeroyan** – Attending Physician at the Department of Restorative Medicine, Sports Medicine, Balneology and Physiotherapy with a Course of Nursing at of the SRC FMBC named after A.I. Burnazyan of FMBA of Russia, Moscow; **Aleksandr Sergeevich Samojlov** – General Director of the SRC FMBC named after A.I. Burnazyan of FMBA of Russia, Moscow.