

ОЦЕНКА СПЕКТРАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ
МЕТОДОМ БИНАРНОЙ КЛАССИФИКАЦИИ

Ю.В. БАШКАТОВА*, Л.К. ИЛЯШЕНКО**, Н.Ш. АЛИЕВ*, Р.Б. ТЕН*

*БУ ВО «Сургутский государственный университет»,
пр. Ленина, д. 1, Сургут, Россия, 628400, e-mail: yuliya-bashkatova@yandex.ru
**ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» филиал в г. Сургуте,
Ул. Володарского, 38, Сургут, 625000, Россия, e-mail: end_fiz@mail.ru

Аннотация. Специфика изменений спектральных параметров сердечно-сосудистой системы человека составила основу настоящего исследования. Методом математической статистики и бинарной классификации изучалось поведение вектора состояния сердечно-сосудистой системы у одного человека при 15-ти повторях измерений в ответ на дозированную физическую нагрузку. Математическая статистика показала отсутствие статистически значимых различий спектральных параметров испытуемого до и после физической нагрузки. Нейронная сеть представляла различия спектральных параметров испытуемого, т.е. выполнялась процедура бинарной классификации. Каждый раз нейронная сеть выполняла идентификацию, но с помощью различного типа внутренней конфигурации. Из таких повторений получаем хаотическую динамику и для каждой серии. Использование нейро-ЭВМ обеспечивает идентификацию различий спектральных параметров испытуемого в разном гомеостазе (статистически неэффективно) при изучении характера влияния нагрузки на организм испытуемого.

Ключевые слова: нейрокомпьютинг, сердечно-сосудистая система, физические нагрузки, бинарная классификация.

EVALUATION OF SPECTRAL PARAMETERS OF THE CARDIAC-VASCULAR SYSTEM
BY THE METHOD OF BINARY CLASSIFICATION

Yu.V. BASHKATOVA*, L.K. ILYASHENKO**, N.Sh. ALIEV*, R.B. TEN*

*Surgut State University, Lenina pr., 1, Surgut, 628400, Russia, e-mail: yuliya-bashkatova@yandex.ru

**Industrial University of Tyumen, Surgut Branch, Ul. Volodarskogo, 38, Surgut, 625000, Russia
e-mail: end_fiz@mail.ru

Abstract. Specific changes in the spectral parameters of the human cardiovascular system formed the basis of this study. Using the method of mathematical statistics and binary classification, the behavior of the state vector of the cardiovascular system in one person was studied with 15 replicates in response to the measured physical load. Mathematical statistics showed the absence of statistically significant differences in the spectral parameters of the subject before and after physical exertion. The neural network represented differences in the spectral parameters of the subject, i.e. the binary classification procedure was performed. Each time the neural network performed identification, but using a different type of internal configuration. From such repetitions, we get chaotic dynamics for each series. The use of a neuro computer provides identification of differences in the spectral parameters of the subject in different homeostasis (statistically ineffective) when studying the nature of the effect of the load on the subject's body.

Key words: neurocomputing, cardiovascular system, physical activity, binary classification.

Введение. Воздействие экофакторов на организм человека осуществляется через формирование приспособительных реакций на уровне центральной и вегетативной нервных систем, через закрепление условно рефлекторного влияния. Резкие колебания экологических параметров среды обитания у жителей ХМАО – Югры оказывает выраженное влияние на все функциональные системы организма (ФСО), особенно на сердечно-сосудистую систему (ССС) и нервно-мышечную систему (НМС), гармоничная работа которых существенно влияет на жизненно важные процессы, происходящие в организме [1-9, 12-19].

Кратковременные воздействия физических дозированных нагрузок на организм человека направлены на самосохранение, а после освобождения организма от физических дозированных нагрузок происходит восстановление гомеостаза. Выносливость к физическим нагрузкам определяется как состоянием вегетативных функций, обеспечивающих необходимый кислородный режим организма, так и функциональным состоянием нервно-мышечного аппарата. Поэтому изучение вегетативных и моторных функций под влиянием дозированной физической нагрузки, является необходимым условием для выявления степени физической работоспособности, тренированности и текущего функционального состояния спортсмена.

смена [7, 12-18]. Физическая дозированная нагрузка в процессе тренировок имеет особое значение. Появляется возможность управления чувствительностью и устойчивостью организма к физическим нагрузкам [12-17, 22].

Установлено, что во многих случаях при переходе организма от состояния покоя к состоянию напряжения функциональных систем (30 приседаний) и обратном процессе под действием динамической физической нагрузки в рамках применения традиционных статистических методов не удаётся зафиксировать статистически значимые различия между выборками различных параметров x_i организма, если он находится в разных гомеостатических состояниях [1-5, 7]. В этом случае возникает неопределённость 1-го типа, когда статистика показывает отсутствие различий между выборками x_i в момент t_1 (состояние покоя) и в момент t_2 (физическая нагрузка). Более того, в геронтологии весьма затруднительно выявить статистические различия между параметрами x_i (их выборками) для разных возрастных групп, в экологии человека изменение параметров внешней среды и лечения может не показывать различий выборками x_i в момент t_1 (например, до переезда и лечения) и t_2 (при переезде и лечении) [5-7, 12-18].

Изучение функционального состояния организма человека по параметрам ССС, а также по степени физической подготовленности представляет особый интерес в рамках *теории хаоса и самоорганизации* (ТХС), которая позволяет прогнозировать возможные изменения ССС и получать важную информацию о текущей динамике исследуемых функций. Исследования показывают, что именно нарушения в НМС и ССС отражают наиболее ранние метаболические и гемодинамические сдвиги, являются фактором, предопределяющим характер изменений работоспособности и степень выраженности изменений в состоянии здоровья [1, 3-5, 7-14, 16-22]. В этой связи методы ТХС могут обеспечить объективную оценку состояния ССС жителей Севера РФ.

Цель работы – оценка состояния параметров сердечно-сосудистой системы у одного человека при 15-ти повторях измерений методом бинарной классификации на базе программы *NeuroPro*.

Объекты и методы исследования. Объектом настоящего исследования явился испытуемый БУ ВО «Сургутский государственный университет», проживающий на территории округа более 5 лет, который подвергался многократным изменениям параметров ССС до и после физической нагрузки.

Обследование производилось с помощью пульсоксиметра (ЭЛОКС-01 М, г. Самара). Специальным фотооптическим датчиком в положении сидя в течение 5 мин регистрировали частоту сердечных сокращений (ЧСС), а затем рассчитывали показатели активности симпатического (СИМ) и парасимпатического (ПАП) отделов вегетативной нервной системы (ВНС), стандартного отклонения *NN*-интервалов (*SDNN*), индекса напряжения Баевского, а также рассчитывали компоненты спектральной мощности ВСП в высокочастотном (*HF*, 0,15–0,4 Гц), низкочастотном (*LF*, 0,04–0,15 Гц) и ультранизкочастотном (*VLF*, $\leq 0,04$ Гц) диапазонах, а также величину вагосимпатического баланса (*LF/HF*). После выполнения стандартизированной динамической нагрузки (30 приседаний) регистрация продолжалась в течение 5 минут.

Для идентификации параметров порядка вектора состояния организма испытуемых (как наиболее важных диагностических признаков x_i) были применены нейросетевые методики. Использовалась стандартная процедура бинарной классификации, а также многокластерной классификации на базе программы *NeuroPro*.

Обучение нейронной сети на некоторой фиксированной выборке производилось градиентным методом оптимизации. Во всех случаях определялись параметры порядка системы и значимость входных сигналов. Основой работы самообучающихся нейропрограмм является искусственная нейронная сеть, состоящая из совокупности нейронов – элементов, взаимосвязанных между собой определенным образом. Межнейронные связи задаются программно. Функционирование нейрона в нейрокомпьютере или нейропрограмме сопоставимо с работой биологического нейрона. Нейросетевые технологии позволяют решать задачи классификации, оптимизации и прогнозирования [1, 12-18, 22].

Проведена статистическая обработка результатов исследований показателей ССС одного испытуемого (в рамках персонализированной медицины) в 15-ти повторях измерений до и 15-ти после физической дозированной нагрузки. Статистическая обработка данных осуществлялась при помощи программного пакета «*Statistica 6.1*». Анализ соответствия вида распределения полученных данных закону нормального распределения производился на основе вычисления критерия Шапиро-Уилка. Дальнейшие исследования в зависимости от распределения производились методами непараметрической статистики (критерий Вилкоксона). Критический уровень значимости при проверке статистических гипотез в данном исследовании принимали равным 0,05.

Результаты и их обсуждение. Проверка данных на соответствие закону нормального распределения оценивалась на основе вычисления критерия Шапиро-Уилка. Выявлено, что параметры сердечно-сосудистой системы до и после физической нагрузки для испытуемого не описываются законом нормального распределения, поэтому дальнейшие исследования зависимостей производились методами непараметрической статистики.

В ходе исследований и статистической обработки данных были получены следующие сводные количественные характеристики результатов изменения параметров сердечно-сосудистой и вегетативной нервной системы, которые представлены в табл. 1.

Очевидно, что у испытуемого без физической подготовки при 15-ти повторях измерений отсутствуют полностью статистически значимые различия следующих параметров: мощность спектра низкочастотного компонента variability (LF), мощность спектра в высокочастотном диапазоне в нормированных единицах ($Hf\ norm$), мощность спектра в низкочастотном диапазоне в нормированных единицах ($LF\ norm$) и соотношение LF к HF отдела вегетативной нервной системы до и после физической нагрузки. Это демонстрирует с позиции стохастики отсутствие резких изменений в параметрах сердечно-сосудистой и вегетативной нервной систем. При этом, у испытуемого показатели параметров VLF , HF и $Total$ статистически значимо различались ($p < 0,05$). Такое статистическое совпадение в ТХС обозначается как неопределенность 1-го типа [7, 14].

Из полученных данных следует, что наблюдалось увеличение показателей VLF , LF , HF и $Total$ у испытуемого после физической нагрузки. По результатам данных табл. 1 VLF до и после нагрузки у испытуемого увеличивается с $2470,53 \pm 113,12$ мс² до $3849,80 \pm 177,26$ мс² ($p < 0,05$), что отражает гуморально-метаболические влияния. При сравнении спектральных характеристик у испытуемого наблюдалось увеличение LF компонента против уменьшения HF , что свидетельствует о степени напряжения параметров сердечно-сосудистой и вегетативной нервной систем после физической нагрузки при 15-ти повторях испытаний [1-4, 7, 14].

Таблица 1

Спектральные показатели регуляции сердечно-сосудистой системы со стороны вегетативной нервной системы (n=15)

Показатели	Испытуемый без физической подготовки		
	До нагрузки	После нагрузки	<i>p</i>
<i>VLF</i>	2470,53±113,12	3849,80±177,26	0,03
<i>LF</i>	2435,93±107,73	2974,47±148,68	0,43
<i>HF</i>	1625,60±502,41	2467,73±946,69	0,004
<i>Total</i>	6531,87±173,57	9292,27±285,28	0,012
<i>LF norm</i>	58,20±1,22	53,27±1,14	0,268
<i>Hf norm</i>	41,80±1,22	46,73±1,14	0,268
<i>LF/HF</i>	1,64±0,07	1,39±0,07	0,233

Примечание: *n*-количество обследуемых, LF , мс² – мощность спектра низкочастотного компонента variability; HF , мс² – мощность спектра высокочастотного компонента variability; $Total\ power$, мс² – общая спектральная мощность; VLF , % – мощность спектра свернизкочастотного компонента variability; *p* – достоверность значимых различий, по критерию Вилкоксона ($p < 0,05$)

Диапазон значений общего спектра мощности колебаний ритма сердца ($Total$) статистически достоверен у испытуемого. После динамической нагрузки наблюдалось уменьшение показателей $LF\ norm$, увеличение $Hf\ norm$ и уменьшение LF/HF , который характеризует баланс влияния на сердце парасимпатического и симпатического отделов.

На основе метода идентификации параметров порядка нейроэмулятором исследована также динамика поведения спектральных параметров ССС со стороны вегетативной нервной системы испытуемого до и после физической динамической нагрузки в семимерном фазовом пространстве [7, 17]. Результаты этих расчетов представлены в табл. 2.

Нейронная сеть представляла различия между спектральными параметрами испытуемого до и после физической нагрузки, т.е. выполнялась процедура бинарной классификации. При повторении процедуры классификации результат был одинаков, но значения весовых коэффициентов для каждого цикла были различными. Веса диагностических признаков x_i хаотически изменялись. Каждый раз нейронная сеть выполняла идентификацию, но с помощью различного типа внутренней конфигурации. Выход (результат бинарной классификации) был одинаков, но внутренняя конфигурация нейронной сети каждого *j*-того обучения (метод градиентного спуска) была различной. При каждом повторении настройки нашей нейронной сети мы получали различные значения каждого x_i на каждой *j*-той настройке.

Из полученных данных, представленных в табл. 2, следует наибольшее усредненное значение $x_1 = VLF$ вектора состояния системы спектральных параметров ССС у испытуемого до и после физической нагрузки. Усредненные значения спектральных параметров $x_4 = Total$ – общая мощность спектра и x_7

$=LF/HF$ – индекс вагосимпатического взаимодействия находятся в одном диапазоне значений, которые позволяют оценить суммарную активность воздействий на ритм сердца вегетативной нервной системы. Общая мощность спектра отражает суммарный запас сил, которые может мобилизовать организм для преодоления динамической физической нагрузки (30 приседаний).

Таблица 2

Усредненные значения w_i признаков отдельных координат x_i вектора состояния системы (параметры x_i спектральных параметров ССС испытуемого до и после нагрузки) при идентификации параметров порядка нейроэмулятором 50 итераций в режиме бинарной классификации

Расчеты итераций	Средние значения координат вектора состояния системы						
	$VLF=<x_1>$	$LF=<x_2>$	$HF=<x_3>$	$Total=<x_4>$	$LF_{norm}=<x_5>$	$HF_{norm}=<x_6>$	$LF/HF=<x_7>$
50	0,801	0,711	0,497	0,645	0,407	0,599	0,641
Me (5%; 95%)	0,944 (0,397; 1,000)	0,683 (0,308; 1,000)	0,443(0,223; 1,000)	0,589 (0,261; 1,000)	0,378 (0,144; 0,685)	0,591 (0,309; 1,000)	0,625 (0,294; 1,000)
D	0,055	0,055	0,047	0,056	0,030	0,044	0,050

Очевидно, что веса признаков x_i изменялись при каждой настройке и эти вариации (распределение каждого x_i) нейро-ЭВМ не попадают под закон нормального распределения. Более того, непараметрические распределения для каждой серии (из $N=50$) тоже получались разными. Мы имели просто некоторые наборы выборок, которые генерируются как бы из разных генеральных совокупностей [2-7, 18, 22].

Заключение. Установлено, что у испытуемого без физической подготовки при 15-ти повторах измерений отсутствуют полностью статистически значимые различия параметров LF , Hf_{norm} , LF_{norm} и соотношение LF к HF показателей регуляции ССС со стороны вегетативной нервной системы до и после физической нагрузки. Наблюдалось резкое увеличение средних значений показателя мощности спектра низкочастотного компонента variability у испытуемого, в связи с низким уровнем физической подготовки (табл. 1) [18-28]. На дозированную физическую нагрузку организм реагирует мобилизацией функциональных резервных механизмов, сглаживающих и компенсирующих возможные нарушения гомеостаза.

Осуществив многократное повторение ($N \rightarrow \infty$) данной процедуры, для каждого x_i на j -ом шаге повторения процедуры, мы получили хаотическую генерацию значений весовых коэффициентов. Из таких повторений получаем хаотическую динамику и для каждой серии, но эти выборки имеют и статистическую закономерность.

Каждый раз нейросеть демонстрирует другое внутреннее состояние при своей работе. Внутреннее состояние сети – хаос, но внешний выход будет сходным. Таким образом, значимость весовых коэффициентов точно предсказать невозможно при разовой настройке, что не учитывается многими исследователями. Сравнительный анализ спектральных параметров испытуемого показал, что веса диагностических признаков x_i хаотически изменялись. Использование нейро-ЭВМ обеспечивает идентификацию различий спектральных параметров испытуемого в разном гомеостазе (статистически неэффективно) при изучении характера влияния нагрузки на организм испытуемого. Показано, что число итераций бинарной классификаций должно быть больше 100.

Литература

1. Адайкин В.И., Берестин К.Н., Глушук А.А., Лазарев В.В., Полухин В.В., Русак С.Н., Филатова О.Е. Стохастические и хаотические подходы в оценке влияния метеофакторов на заболеваемость населения на примере ХМАО-Югры // Вестник новых медицинских технологий. 2008. Т. 15, № 2. С. 7–9.
2. Брагинский М.Я., Вечканов И.Н., Глушук А.А., Еськов В.М., Еськов В.В., Митина Н.Н., Мишина Е.А., Пашнин Е.А., Полухин В.В., Степанова Д.И., Филатова О.Е., Филатов М.А., Хадарцев А.А., Хадарцева К.А., Хисамова А.В., Шипилова Т.Н., Чантурия С.М. Системный анализ, управление и обработка информации в биологии и медицине. Том 8. Общая теория систем в клинической кибернетике. Самара, 2009.
3. Ведясова О.А., Еськов В.М., Филатова О.Е. Системный компартментно-кластерный анализ механизмов устойчивости дыхательной ритмики млекопитающих. Монография. Самара: Российская академия наук, Науч. совет по проблемам биологической физики, 2005.

4. Григоренко В.В., Еськов В.М., Лысенкова С.А., Микшина В.С. Алгоритм автоматизированной диагностики динамики возрастных изменений параметров сердечно-сосудистой системы при нормальном старении в оценке биологического возраста // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2017. Т. 16. № 2. С. 357–362.
5. Еськов В.В., Филатова О.Е., Гавриленко Т.В., Горбунов Д.В. Хаотическая динамика параметров нервно-мышечной системы и проблема эволюции complexity // Биофизика. 2017. Т. 62, № 6. С. 1167–1173.
6. Еськов В.В. Эволюция систем третьего типа в фазовом пространстве состояний // Вестник кибернетики. 2017. № 3 (27). С. 53–58.
7. Еськов В.В. Математическое моделирование в прогнозах развития человечества при переходе в постиндустриальное общество // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2017. № 3. С. 90–98.
8. Еськов В.М., Назин А.Г., Русак С.Н., Филатова О.Е., Хадарцева К.А. Системный анализ и синтез влияния динамики климато-экологических факторов на заболеваемость населения Севера РФ // Вестник новых медицинских технологий. 2008. Т. 15, № 1. С. 26–29.
9. Еськов В.М., Еськов В.В., Филатова О.Е. Особенности измерений и моделирования биосистем в фазовых пространствах состояний // Измерительная техника. 2010. № 12. С. 53–57.
10. Еськов В.М., Хадарцев А.А., Филатова О.Е., Хадарцева К.А. Околосуточные ритмы показателей кардио-респираторной системы и биологического возраста человека // Терапевт. 2012. № 8. С. 036–043.
11. Еськов В.М., Филатова О.Е., Проворова О.В., Химикова О.И. Нейроэмуляторы при идентификации параметров порядка в экологии человека // Экология человека. 2015. № 5. С. 57–64.
12. Еськов В.М., Филатова О.Е., Хадарцева К.А., Еськов В.В. Универсальность понятия «гомеостаз» // Клиническая медицина и фармакология. 2015. № 4 (4). С. 29–33.
13. Еськов В.М., Зинченко Ю.П., Филатова О.Е., Веракса А.Н. Биофизические проблемы в организации движений с позиций теории хаоса-самоорганизации // Вестник новых медицинских технологий. 2016. Т. 23, № 2. С. 182–188.
14. Еськов В.М., Зинченко Ю.П., Филатов М.А., Иляшенко Л.К. Теорема Гленсдорфа - Пригожина в описании хаотической динамики тремора при холодовом стрессе // Экология человека. 2017. № 5. С. 27–32.
15. Еськов В.М., Гудков А.Б., Баженова А.Е., Козупица Г.С. Характеристика параметров тремора у женщин с различной физической подготовкой в условиях Севера России // Экология человека. 2017. № 3. С. 38–42.
16. Еськов В.М., Томчук А.Г., Широков В.А., Ураева Я.И. Стохастический и хаотический анализ вертеброневрологических показателей и визуальной аналоговой шкалы боли в комплексном лечении хронических мышечно-скелетных болей // Клиническая медицина и фармакология. 2017. Т. №3. С. 8–13
17. Зиллов В.Г., Хадарцев А.А., Еськов В.В., Еськов В.М. Экспериментальные исследования статистической устойчивости выборок кардиоинтервалов // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2017. Т. 164, № 8. С. 136–139.
18. Колосова А.И., Филатов М.А., Майстренко Е.В., Филатова Д.Ю., Макеева С.В. Параметры памяти учащих, в зависимости от типа латерализации головного мозга, как показатель здоровья на Севере РФ // Клиническая медицина и фармакология. 2017. Т. 3, №3. С. 19–23.
19. Русак С.Н., Козупица Г.С., Филатова О.Е., Еськов В.В., Шевченко Н.Г. Динамика статуса вегетативной нервной системы у учащихся младших классов в погодных условиях г. Сургута // Вестник новых медицинских технологий. 2013. Т. 20, № 4. С. 92–95.
20. Филатова О.Е., Майстренко Е.В., Болтаев А.В., Газа Г.В. Влияние промышленных электромагнитных полей на динамику сердечно-сосудистых систем работниц нефтегазового комплекса // Экология и промышленность России. 2017. Т. 21, №7. С. 46–51.
21. Филатова О.Е., Яхно В.Г., Яхно Т.А., Самсонов И.Н. Хаос нейросетей мозга – признак гомеостатичности // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2017. № 3. С. 42–50
22. Хадарцев А.А., Еськов В.М., Винокуров Б.Л., Морозов В.Н., Кидалов В.Н., Филатова О.Е., Гонтарев С.Н., Хадарцева К.А., Цогоев А.С., Наумова Э.М., Крюкова С.В., Митрофанов И.В., Валентинов Б.Г., Седова О.А. Восстановительная медицина, Том I. Тула, 2010.
23. Eskov V.V., Gavrilenko T.V., Eskov V.M., Vochmina Yu.V. Static Instability Phenomenon in Type-Three Secretion Systems: Complexity // Technical Physics. 2017. Vol. 62, №11. P. 1611–1616.
24. Eskov V.M., Filatova O.E., Eskov V.V. Gavrilenko T.V. The Evolution of the Idea of Homeostasis: Determinism, Stochastics and Chaos–Self-Organization // Biophysics. 2017. Vol. 62, №5. P. 809–820.
25. Eskov V.M., Gudkov A.B., Bazhenova A.E., Kozupitsa G.S. The tremor parameters of female with different physical training in the Russian North // Human Ecology. 2017. №3. P. 38–42.
26. Eskov V.M., Eskov V.V., Vochmina Y.V., Gorbunov D.V., Ilyashenko L.K. Shannon entropy in the research on stationary regimes and the evolution of complexity // Moscow University Physics Bulletin. 2017. Vol. 72, № 3. P. 309–317.
27. Filatova D.U., Veraksa A.N., Berestin D.K., Streltsova T.V. Stochastic and chaotic assessment of human's neuromuscular system in conditions of cold exposure // Human Ecology. 2017. №8. P. 15–20.

28. Filatova O.E., Eskov V.V., Filatov M.A., Ilyashenko L.K. Statistical instability phenomenon and evaluation of voluntary and involuntary movements // Russian Journal of Biomechanics. 2017. Vol. 21, №3. P. 224–232.

References

1. Adaykin VI, Berestin KN, Glushchuk AA, Lazarev BV, Polukhin VV, Rusak CN, Filatova OE. Stokhasticheskie i khaoticheskie podkhody v otsenke vliyaniya meteofaktorov na zaboлеваemost' naseleniya na primere KhMAO-Yugry [Stochastic and chaotic approaches to assess the impact of meteorological factors on the morbidity of population on the example of Khanty-Mansiysk Autonomous district-Yugra]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2008;15(2):7-9. Russian.
2. Braginskiy MY, Vechkanov IN, Glushchuk AA, Es'kov VM, Es'kov VV, Mitina NN, Mishina EA, Pashnin EA, Polukhin VV, Stepanova DI, Filatova OE, Filatov MA, Khadartsev AA, Khadartseva KA, Khisamova AV, Shipilova TN, Chanturiya SM. Sistemnyy analiz, upravlenie i obrabotka informatsii v biologii i meditsine [System analysis, management and processing of information in biology and medicine]. Tom 8. Obshchaya teoriya sistem v klinicheskoy kibernetike. Samara; 2009. Russian.
3. Vedyasova OA, Es'kov VM, Filatova OE. Sistemnyy kompartmentno-klasternyy analiz mekhanizmov ustoychivosti dykhatel'noy ritmiki mlekoopitayushchikh. Monografiya [System compartment-cluster analysis of the mechanisms of resistance of the respiratory rhythm of mammals. Monograph]. Samara: Rossiyskaya akad. nauk, Nauch. sovet po problemam biologicheskoy fiziki; 2005. Russian.
4. Grigorenko VV, Es'kov VM, Lysenkova SA, Mikshina VS. Algoritm avtomatizirovan-noy diagnostiki dinamiki vozrastnykh izmeneniy parametrov serdechno-sosudistoy sistemy pri normal'nom starenii v otsenke biologicheskogo vozrasta [Algorithm automated-functional diagnostics of the dynamics of age-related changes of parameters of the cardiovascular system in normal aging in the assessment of biological age]. Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh. 2017;16(2):357-62. Russian.
5. Es'kov VV, Filatova OE, Gavrilenko TV, Gorbunov DV. Khaoticheskaya dinamika parametrov nervno-myshechnoy sistemy i problema evolyutsii complexity [Chaotic dynamics parameters of the neuromuscular system and the problem of evolution of complexity]. Biofizika. 2017;62(6):1167-73. Russian.
6. Es'kov VV. Evolyutsiya sistem tret'ego tipa v fazovom prostranstve sostoyaniy [Evolution of the third type of systems in the phase space of the States]. Vestnik kibernetiki. 2017;3 (27):53-8. Russian.
7. Es'kov VV. Matematicheskoe modelirovanie v prognozakh razvitiya chelovechestva pri perekhode v postindustrial'noe obshchestvo [Mathematical modeling in the projections of human development in the transition to post-industrial society]. Slozhnost'. Razum. Postneklassika. 2017;3:90-8. Russian.
8. Es'kov VM, Nazin AG, Rusak SN, Filatova OE, Khadartseva KA. Sistemnyy analiz i sintez vliyaniya dinamiki klimato-ekologicheskikh faktorov na zaboлеваemost' naseleniya Severa RF [System analysis and synthesis of the dynamics of climatic and environmental factors on the morbidity of the population of the North of Russia]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2008;15(1):26-9. Russian.
9. Es'kov VM, Es'kov VV, Filatova OE. Osobennosti izmereniy i modelirovaniya biosistem v fazovykh prostranstvakh sostoyaniy [Features of measurements and modeling biases the phase spaces of States]. Izmeritel'naya tekhnika. 2010;12:53-7. Russian.
10. Es'kov VM, Khadartsev AA, Filatova OE, Khadartseva KA. Okolosutochnye ritmy pokazateley kardio-respiratornoy sistemy i biologicheskogo vozrasta cheloveka [Circadian rhythms of the indices of cardio-respiratory system and the human biological age]. Terapevt. 2012;8:036-43. Russian.
11. Es'kov VM, Filatova OE, Provorova OV., Khimikova OI. Neuroemulyatory pri identifikatsii parametrov poryadka v ekologii cheloveka [Neuroanatomy in the identification of order parameters in human ecology]. Ekologiya cheloveka. 2015;5:57-64. Russian.
12. Es'kov VM, Filatova OE, Khadartseva KA, Es'kov VV. Universal'nost' ponyatiya «gomeo-staz [Universality of the concept of "homey-stasis"]». Klinicheskaya meditsina i farmakologiya. 2015;4 (4):29-33. Russian.
13. Es'kov VM, Zinchenko YP, Filatova OE, Veraksa AN. Biofizicheskie problemy v organizatsii dvizheniy s pozitsiy teorii khaosa-samoorganizatsii [Biophysical problems in movements from the standpoint of the theory of chaos-self-organization]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2016;23(2):182-8. Russian.
14. Es'kov VM, Zinchenko YP, Filatov MA, Ilyashenko LK. Teorema Glensdorfa - Prigozhina v opisaniikh khaoticheskoy dinamiki tremora pri kholodovom stresse [Theorem of Glensdorff - Prigogine in the description of chaotic dynamics of tremor during cold stress]. Ekologiya cheloveka. 2017;5:27-32. Russian.
15. Es'kov VM, Gudkov AB, Bazhenova AE, Kozupitsa GS. Kharakteristika parametrov tremora u zhenshchin s razlichnoy fizicheskoy podgotovkoy v usloviyakh Severa Rossii. [Characteristic parameters of tremor in women with different physical training conditions of the Russian North] Ekologiya cheloveka. 2017;3:38-42. Russian.
16. Es'kov VM, Tomchuk AG, Shirokov VA, Uraeva YI. Stokhasticheskiy i khaoticheskiy analiz vertebroevrologicheskikh pokazateley i vizual'noy analogovoy shkaly boli v kompleksnom lechenii khronicheskikh

myshechno-skeletnykh boley [Stochastic and chaotic analysis vertebroneurological indicators and visual analogue scale of pain in complex treatment of chronic musculoskeletal pain]. *Klinicheskaya meditsina i farmakologiya*. 2017;3:8-13. Russian.

17. Zilov VG, Khadartsev AA, Es'kov VV, Es'kov VM. Eksperimental'nye issledovaniya statisticheskoy ustoychivosti vyborok kardiointervalov [Experimental research of statistical stability of samples of R-R intervals]. *Byulleten' eksperimental'noy biologii i meditsiny*. 2017;164(8):136-9. Russian.

18. Kolosova AI, Filatov MA, Maystrenko EV, Filatova DY, Makeeva SV. Parametry pamyati uchashchikhsya, v zavisimosti ot tipa lateralizatsii golovnogo mozga, kak pokazatel' zdorov'ya na Severe RF [Settings students, depending on the type of lateralization of the brain as an indicator of health in the North of Russia]. *Klinicheskaya meditsina i farmakologiya*. 2017;3(3):19-23. Russian.

19. Rusak SN, Kozupitsa GS, Filatova OE, Es'kov VV, Shevchenko NG. Dinamika statusa vegetativnoy nervnoy sistemy u uchashchikhsya mladshikh klassov v pogodnykh usloviyakh g. Surguta [The dynamics of the status of the autonomic nervous system in younger schoolchildren in weather conditions in Surgut]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy*. 2013;20(4):92-5. Russian.

20. Filatova OE, Maystrenko EV, Boltaev AV, Gazya GV. Vliyanie promyshlennykh elektromagnitnykh poley na dinamiku serdechno-sosudistykh sistem rabotnits neftegazovogo kompleksa [the Influence of industrial electromagnetic fields on the dynamics of cardiovascular system of workers of oil and gas complex]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2017;21(7):46-51. Russian.

21. Filatova OE, Yakhno VG, Yakhno TA, Samsonov IN. Khaos neyrosetey mozga – priznak gomeostachnosti [Chaos neural networks of the brain – a sign of homeostasis]. *Slozhnost'. Razum. Postneklassika*. 2017;3:42-50. Russian.

22. Khadartsev AA, Es'kov VM, Vinokurov BL, Morozov VN, Kidalov VN, Filatova OE, Gontarev SN, Khadartseva KA, Tsogoev AS, Naumova EM, Kryukova SV, Mitrofanov IV, Valentinov BG, Sedova OA. Vosstanovitel'naya meditsina [Regenerative medicine], Tom I. Tula; 2010. Russian.

23. Eskov VV, Gavrilenko TV, Eskov VM, Vochmina YV. Static Instability Phenomenon in Type-Three Secretion Systems: Complexity. *Technical Physics*. 2017;62(11):1611-6.

24. Eskov VM, Filatova OE, Eskov VV, Gavrilenko TV. The Evolution of the Idea of Homeostasis: Determinism, Stochastics and Chaos–Self-Organization. *Biophysics*. 2017;62(5):809-20.

25. Eskov VM, Gudkov AB, Bazhenova AE, Kozupitsa GS. The tremor parameters of female with different physical training in the Russian North. *Human Ecology*. 2017;3:38-42.

26. Eskov VM, Eskov VV, Vochmina YV, Gorbunov DV, Ilyashenko LK. Shannon entropy in the research on stationary regimes and the evolution of complexity. *Moscow University Physics Bulletin*. 2017;72(3):309-17.

27. Filatova DU, Veraksa AN, Berestin DK, Streltsova TV. Stochastic and chaotic assessment of human's neuromuscular system in conditions of cold exposure. *Human Ecology*. 2017;8:15-20.

28. Filatova OE, Eskov VV, Filatov MA, Ilyashenko LK. Statistical instability phenomenon and evaluation of voluntary and involuntary movements. *Russian Journal of Biomechanics*. 2017;21(3):224-32.

Библиографическая ссылка:

Башкатова Ю.В., Иляшенко Л.К., Алиев Н.Ш., Тен Р.Б. Оценка спектральных параметров сердечно-сосудистой системы методом бинарной классификации // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2017. №4. Публикация 1-4. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2017-4/1-4.pdf> (дата обращения: 12.12.2017). DOI: 10.12737/article_5a38cca4ab2014.11844293