

УДК 612.172.2:616-001.186

ПАРАМЕТРЫ КАРДИОИНТЕРВАЛОВ ИСПЫТУЕМЫХ В УСЛОВИЯХ ГИПОТЕРМИИ

© 2018 г. В. М. Еськов, Д. В. Белошченко, Ю. В. Башкатова, *Л. К. Иляшенко

БУ ВО ХМАО – Югры «Сургутский государственный университет», г. Сургут; *Филиал ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, г. Сургут

Изучение функционального состояния организма человека, проживающего в условиях Севера Российской Федерации, представляет особый интерес в рамках теории хаоса – самоорганизации. *Цель* исследования – выявить особенности variability сердечного ритма при локальном гипотермическом воздействии. *Методы*. Использовался традиционный стохастический подход – расчет статистических функций распределения $f(x)$ получаемых подряд выборок кардиоинтервалов (КИ) у одного испытуемого и группы лиц, строились матрицы парных сравнений выборок КИ и сравнивались полученные из этих матриц числа k (число пар статистических совпадений). *Результаты*. В работе демонстрируется хаотическая динамика КИ как отдельного человека, так и группы испытуемых (в режиме многократных измерений параметров КИ) в спокойном состоянии до и после локального холодового воздействия. Доказывается статистическая неустойчивость подряд получаемых выборок КИ при повторных регистрациях как у одного и того же человека, так и у группы лиц. Показано, что группа разных людей более статистически устойчива ($k \geq 19$), чем один человек в режиме 15 повторов регистрации КИ в неизменном гомеостазе ($k \leq 12$). Функции $f(x)$ без какого-либо воздействия на человека могут демонстрировать совпадения (для пар КИ) не более 10 % от общего числа выборок КИ при расчете матриц парных сравнений выборок, получаемых в одинаковом (неизменном) состоянии организма одного испытуемого. *Выводы*. Расчет матриц парных сравнений выборок показал, что охлаждение кисти (как стресс-воздействие) приводит к увеличению числа k в матрицах сравнения КИ. Показано, что разные испытуемые могут быть более статистически похожи, чем один испытуемый на самого себя в режиме $n = 15$ повторов регистрации КИ. Организм человека не является объектом современной стохастики и теории хаоса, необходимы повторения испытаний и расчет k в матрицах парных сравнений выборок параметров гомеостаза.

Ключевые слова: кардиоинтервалы, хаос – самоорганизация, эффект Еськова – Филатовой, эффект Еськова – Зинченко

CARDIOINTERVALS PARAMETERS OF HUMAN BODY IN RESPONSE TO HYPOTHERMIA

V. M. Eskov, Yu. V. Bashkatova, D. V. Beloshchenko, *L. K. Ilyashenko

Surgut State University; *Tyumen Industrial University, Surgut, Russia

The study of the functional state of the human body, living in the North of Russia is of particular interest within the framework of theory of chaos-self-organization. *The aim* of the study was to find out peculiarities of heart rate variability to local hypothermia. *Methods*. The stochastic approach was used - calculation of statistical functions of distribution $f(x)$ successively obtained by R-R intervals samples in one subject and group of subjects; matrices of paired comparison of R-R intervals samples were built and k number (pair number of statistical coincidence) derived from these matrices were compared. *Results*. The paper showed R-R intervals chaotic dynamics both in one person and in a group of persons (during multiply measurement of R-R intervals parameters) in a state of rest before and after local cooling. The statistical instability of successively obtained samples of R-R intervals upon re-registration both in one person and in a group of persons has been proved. It has been shown that a group of different persons was more statistically stable ($k \geq 19$) than one person in terms of 15 recordings of R-R intervals in permanent homeostasis ($k \leq 12$). $f(x)$ functions without any impact on the person could demonstrate coincidences (for pairs of R-R intervals) not more than 10% of the total number of samples while calculating matrices of paired comparison samples obtained in an unchanged organism state of one subject. *Conclusions*. Matrices calculation of samples of paired comparison has shown that a hand cooling (as a stress effect) led to k number increase in matrices of comparison of R-R intervals. It was demonstrated that different subjects could be more statistically similar than one and the same subject in terms of $n = 15$ recordings of R-R intervals registration. Human body is not an object of a modern stochastic and a chaos theory. Tests repetitions are necessary as well as k calculations in matrices of samples of paired comparison of homeostasis parameters.

Key words: cardiointervals, chaos and self-organization, Eskov-Filatova paradox, Eskov-Zinchenko effect

Библиографическая ссылка:

Еськов В. М., Белошченко Д. В., Башкатова Ю. В., Иляшенко Л. К. Параметры кардиоинтервалов испытуемых в условиях гипотермии // Экология человека. 2018. № 10. С. 39–45.

Eskov V. M., Beloshchenko D. V., Bashkatova Yu. V., Ilyashenko L. K. Cardiointervals Parameters of Human Body in Response to Hypothermia. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2018, 10, pp. 39-45.

Еще в 1937 году W. B. Cannon поддерживал представления о неустойчивости гомеостаза, возможности непрерывного изменения. Однако в каких пределах для систем третьего типа (СТТ, сложных биосистем, *complexity*) существует эта неустойчивость, где эти границы – на этот вопрос ни W. B. Cannon, ни

Н. А. Бернштейн (в 1947 г.), ни I. R. Prigogine так и не дали ответа за этот полувековой период. Все они считали, что получить в явном виде стационарные режимы для вектора $x(t)$ невозможно в общем случае (то есть получить для СТТ $dx/dt = 0$ – это весьма проблемно). При этом все были уверены, что

на фоне $dx / dt \neq 0$ мы можем получить статистическую устойчивость. Это означает, что для одной и той же биосистемы, находящейся в одном и том же гомеостазе (неизменном биологическом или психологическом состоянии человека), мы можем для двух выборок (на коротких интервалах времени $\Delta t_1 = \Delta t_2$, следующих друг за другом) получить две одинаковые статистические функции распределения. В медицине для сердечно-сосудистой системы (ССС) это было догмой последние 100–150 лет, то есть считалось, что всегда $f_1(x_1) = f_2(x_2)$ при неизменном гомеостазе СССР у одного испытуемого [1, 4, 5, 10].

До настоящего времени это являлось центральной догмой для всех наук о жизни: биологии, медицины, биофизики, экологии и многих других наук о живых системах (включая и социологию, политологию). Однако действительность оказалась иной. Если I. R. Prigogine в монографии «The end of Certainty...» провозглашал окончание функционального анализа (детерминистских моделей) в описании сложных биосистем, то сейчас мы декларируем стохастическую неопределенность в описании любой СТТ-complexity (любых гомеостатических систем). В рамках статистических функций распределения $f(x)$, различных статистических характеристик (спектральных плотностей сигнала — СПС, автокорреляций $A(t)$), фрактальной размерности и т. д.) в описании СТТ-complexity мы не можем наблюдать их статистической устойчивости [6, 9–12]. Особая проблема возникает при оценке влияния экологических факторов Севера Российской Федерации на параметры СССР, которые находятся в непрерывном хаотическом изменении и без воздействия экофакторов среды.

Любая полученная выборка x_i , любые ее статистические функции распределения $f_i(x_i)$ не могут быть дважды произвольно повторены. Мы имеем статистическую неустойчивость любых параметров гомеостаза. В настоящей работе с позиций эффекта Еськова — Зинченко мы представляем иллюстрации хаотической динамики гомеостатических систем на примере кардиореспираторной системы (КРС) человека. Именно СССР подвержена существенным изменениям в условиях локального и общего охлаждения человека, и это составило основную проблему наших исследований.

В соответствие с вышеизложенным целью настоящей работы является исследование динамики изменения параметров СССР у одного испытуемого и группы девушек на примере кардиоинтервалов (КИ) до и после локального холодового воздействия. Этот фактор представляет особый научно-практический интерес для оценки механизмов адаптации и для понимания принципов функционирования сложных систем, систем третьего типа, complexity в особых условиях Севера РФ, когда многие профессии в нефтегазовом комплексе связаны с работой на морозе в период с осени до весны (например, низкие температуры в среднем в Югре длятся с октября по май), т. е. не менее 7–8 месяцев в году) [2, 3, 7, 8].

Методы

В настоящих исследованиях объектом для наблюдения являлись испытуемые — молодые девушки в возрасте 20–22 лет, которые родились и проживают на Севере РФ. В режиме многократных повторений производились обследования испытуемых с помощью пульсоксиметра (ЭЛОКС-01 М, г. Самара). Регистрацию пульсовой волны осуществляли специальным фотооптическим датчиком (в виде прищепки), который крепили на дистальную фалангу указательного пальца правой руки, в положении сидя в течение 5 мин по 15 раз (у одного испытуемого до охлаждения и после). Показатели снимались в спокойном состоянии (без какого либо воздействия) и после гипотермического (локального холодового) воздействия (верхняя конечность — правая кисть руки испытуемого помещалась в емкость с талой водой при $t \approx +3^\circ\text{C}$ и находилась там в течение 1 минуты, после чего снимались показатели). Всего было обследовано 15 человек на предмет состояния их СССР в условиях гипотермии. При помощи программы «ELOGRAPH» в режиме реального времени изучали динамику параметров СССР с одновременным построением гистограммы распределения длительности кардиоинтервалов [1, 3, 16].

Обследование испытуемых производилось неинвазивными методами и соответствовало этическим нормам Хельсинкской декларации (2000). Работа выполнялась в рамках плана научных исследований лаборатории «Функциональные системы организма человека на Севере» при БУ ВО «Сургутский государственный университет ХМАО — Югры».

Критерии включения в исследование: возраст испытуемых 20–22 года; отсутствие жалоб на состояние здоровья в период проведения обследований; наличие информированного согласия на участие в исследовании. Критерии исключения: болезнь учащегося в период обследования.

Статистическая обработка данных осуществлялась с помощью программного пакета Statistica 10. Проверка данных на соответствие закону нормального распределения оценивалась на основе вычисления критерия Шапиро — Уилка. Дальнейшие исследования производились методами непараметрической статистики (критерий Вилкоксона). Были рассчитаны матрицы парных сравнений выборок параметров КИ для 15 серий повторов выборок КИ по 15 выборок в каждой серии эксперимента для каждого испытуемого. Устанавливалась закономерность изменения числа «совпадений» пар выборок k получаемых параметров КИ у испытуемых.

Систематизация материала и представленных результатов расчетов выполнялась с применением программного пакета электронных таблиц Microsoft EXCEL. Таким образом, для каждого человека рассчитывалось всего 15 серий, т. е. 225 выборок КИ. При этом гомеостаз по параметрам всего организма существенно не изменялся. Однако матрицы парных сравнений выборок КИ не показывали статистической устойчивости получаемых подряд выборок КИ у од-

ного испытуемого в одном (неизменном) гомеостазе [1, 13–16].

Результаты

Изначально для группы испытуемых был выполнен сравнительный статистический анализ динамики параметров КРС для 15 серий повторов выборок КИ по 15 выборок в каждой серии эксперимента (225 выборок) в спокойном состоянии (в неизменном гомеостазе) с более чем 300 точек КИ в каждой выборке из всех 15 выборок (всего значений $x_i(t)$ в серии 4 500 КИ). Далее производился их анализ с помощью различных методов. В частности, были получены матрицы парных сравнений выборок до и после локального холодового воздействия (табл. 1–4), которые демонстрируют число пар совпадений (k) как у одного испытуемого, так и у группы девушек. При использовании непараметрического критерия Вилкоксона были получены многочисленные таблицы, в которых представлены результаты сравнения значений КИ для 15 серий повторов выборок КИ по 15 выборок в каждой серии. В качестве примера представлены результаты обработки данных значений КИ испытуемой БДВ в спокойном состоянии (без какого либо воздействия) в виде матрицы (15×15) для одной (из всех 15) серии (табл. 1). Эти повторы измерений КИ производили для проверки эффекта Еськова – Зинченко (в физиологии) относительно состояния ССС как базовой функциональной системы организма (ФСО) [4–6, 15–18].

Результаты попарного сравнения выборок КИ (225 пар, из которых независимых пар было всего 105 – диагональные элементы исключались, а оставшиеся 210 пар делились пополам из-за симметрии этой матрицы по диагонали) на примере испытуемой БДВ с помощью непараметрического критерия

Вилкоксона показали, что число k пар выборок КИ, которые следует отнести к одной генеральной совокупности, невелико ($k_i = 9$). Характерно, что все статистические функции распределения $f(x)$ выборок КИ показывают общую неустойчивость (для подряд регистрируемых повторов). Имеется (см. табл. 1) только один поддиагональный элемент ($p_{2-1} = 0,73$, т. е. $ks = 1$), с $p > 0,05$. Это означает крайне низкую долю стохастики в работе сердца вообще (общая доля стохастики около 9 %, остальные выборки все разные), а у конкретного человека при повторных измерениях можно получить только один раз $f_j(x_i) = f_{j+1}(x_i)$ из 105 разных пар сравнения.

В табл. 2 представлена вторая матрица (15×15), которая составлена при сравнении 15 выборок КИ уже для 15 испытуемых (разных девушек), находящихся приблизительно в одинаковых физиологических и психических состояниях (испытуемые были одного пола и возраста). Очевидно, что число пар совпадений выборок $k_2 = 19$ (при $ks = 3$), что даже несколько отличается от данных предыдущей табл. 1, где $k_i = 9$. Это демонстрирует необычный статистический результат для систем регуляции кардиоритма у всех людей, если они физиологически (статистически) различаются менее значимо ($k_2 = 19$), чем один человек в режиме 15 повторов регистрации КИ.

В этом случае мы можем говорить об исходном (подобном) гомеостазе одного человека или группы людей. Более того, число поддиагональных элементов, у которых совпадают две соседние выборки (мы обозначили это как ks , см. выше), для разных людей даже получилось выше, чем для одного человека, находящегося в одном гомеостазе ($ks = 1$ в табл. 1). Получается, что разные люди стохастически даже более близки, чем один человек самому себе. Такой

Таблица 1

Уровни значимости (p) для попарных сравнений 15 выборок параметров кардиоинтервалов испытуемой БДВ при повторных экспериментах ($k_i=9$), с помощью непараметрического критерия Вилкоксона (Wilcoxon Signed Ranks Test)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		0,73	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,08	0,00
2	0,73		0,00	0,00	0,00	0,01	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,04	0,00
3	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,20	0,01	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,70	0,00
7	0,00	0,08	0,02	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,91	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,10
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,08
13	0,01	0,15	0,01	0,00	0,00	0,00	0,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00
14	0,08	0,04	0,00	0,00	0,00	0,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,08	0,00	0,00	

Примечание. p – достигнутый уровень значимости (критическим уровнем принят $p < 0,05$).

Таблица 2

Уровни значимости (p) для попарных сравнений выборок параметров кардиоинтервалов группы девушек из 15 человек, с помощью непараметрического критерия Краскела – Уоллиса ($k_2=19$)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000
2	0,000		1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000	0,000	0,063	0,000	0,000
3	0,000	1,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	0,727	0,000	0,577	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000		0,000	0,040	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,015
5	0,000	0,000	0,000	0,000		1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000
6	0,000	0,000	0,000	0,040	1,000		0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,249	0,000	0,000	1,000
7	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,001		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,275	0,000
9	0,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,016	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000
10	0,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,016		1,000	0,000	0,000	0,000	0,000
11	0,000	1,000	0,727	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000		0,000	0,000	0,000	0,000
12	0,002	0,000	0,000	0,000	1,000	0,249	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000	0,546
13	0,000	0,063	0,577	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
14	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,275	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000
15	0,000	0,000	0,000	0,015	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,546	0,000	0,000	

Примечание. p – достигнутый уровень значимости (критическим уровнем принят $p < 0,05$).

результат ставит под угрозу вообще любые стохастические измерения и модели, если между разными людьми больше общности, чем в одном человеке (в одном гомеостазе) при повторных измерениях. Этот результат мы обозначаем сейчас как парадокс Еськова – Филатовой в экологии человека (да и во всей физиологии и медицине). Подчеркнем, что такие случаи не единичны, они часто встречаются в оценке треморограмм (ТМГ), теппинграмм (ТПГ), электромиограмм (ЭМГ) и электроэнцефалограмм (ЭЭГ) [3–6, 9, 16].

Парадокс Еськова – Филатовой ставит под сомнение статистическую оценку различий всех этих параметров гомеостаза (ЭМГ, ЭЭГ, ТМГ, ТПГ и т. д.) для группы людей – как их различать, если каждый из них более различен, чем вся группа? В ходе исследований и статистической обработки данных также были получены матрицы парных сравнений выборок после локального холодового воздействия (табл. 3 и 4). В качестве примера представлены результаты обработки (характерные матрицы) данных значений КИ испытуемой БДВ в виде матрицы (15×15) для

Таблица 3

Уровни значимости (p) для попарных сравнений 15 выборок параметров кардиоинтервалов испытуемой БДВ после локального холодового воздействия при повторных экспериментах ($k=12$), с помощью непараметрического критерия Вилкоксона (Wilcoxon Signed Ranks Test)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00		0,04	0,70	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,05	0,00	0,00
3	0,00	0,04		0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,64	0,00	0,71	0,00	0,00
4	0,00	0,70	0,12		0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,11	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,21		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00		0,00	0,00	0,12	0,00	0,01	0,00	0,01
9	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,02	0,64	0,03	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00		0,00	0,35	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00		0,00	0,33	0,01
13	0,00	0,00	0,71	0,11	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,35	0,00		0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,00		0,04
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,04	

Примечание. p – достигнутый уровень значимости (критическим уровнем принят $p < 0,05$).

Таблица 4

Уровни значимости (p) для попарных сравнений выборок параметров кардиоинтервалов группы девушек из 15 человек после локального холодового воздействия, с помощью непараметрического критерия Краскела – Уоллиса ($k=20$)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		0,000	0,000	1,000	0,000	0,618	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000
2	0,000		0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	0,005	1,000	1,000	0,000	0,000
4	1,000	0,000	0,000		0,000	0,115	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000
5	0,000	1,000	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,064	0,000	0,000	0,000	0,000
6	0,618	0,000	0,000	0,115	0,000		1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000
7	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,170
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,000
9	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,268	0,000	1,000	1,000	0,000	0,000
10	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,268		1,000	1,000	0,014	0,000	0,000
11	0,000	0,000	0,005	0,000	0,064	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000		0,001	0,000	0,000	0,000
12	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	0,001		1,000	0,000	0,000
13	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	1,000	0,014	0,000	1,000		0,000	0,000
14	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000
15	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,170	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	

Примечание. p – достигнутый уровень значимости (критическим уровнем принят $p < 0,05$).

одной (из всех 15) серии (табл. 3). В этом случае число ks с $p > 0,05$ на поддиагональных элементах увеличилось до 2, так же как и общее число k до 12. У группы девушек из 15 человек наблюдается аналогичная ситуация (табл. 4), однако число ks с $p > 0,05$ на поддиагональных элементах увеличилось до 4, а общее число k всего лишь до 20. Это говорит об индивидуальных особенностях организма человека и о том, что группа дает слабые различия при оценке гомеостаза ССС (целесообразно работать с каждым человеком отдельно).

Отметим, что в табл. 4 мы имеем число соседних пар совпадений (когда $f_j(x_i) = f_{j+1}(x_i)$) в виде $ks = 4$ из всех $k = 20$. Для выборок 6–7, 9–10, 10–11, 12–13, полученных подряд, эти пары выборок КИ могут показать общую функцию $f(x)$ этих выборок КИ. Это очень редкая матрица, обычно $ks < 2$ и тогда вероятность p совпадений подряд полученных выборок для КИ обычно $< 0,03$. Это и есть доля стохастичности (справедливость статистики) в медицине при оценке ССС. Напомним, что доверительная вероятность начинается обычно с $\beta > 0,95$, т. е. в этом случае из 100 опытов 15 должны закончиться выполнением определенного условия (например, совпадения выборок).

Еще раз подчеркнем, что в различных медицинских изданиях наблюдается большое количество работ, где ученые использовали различные статистические функции распределения $f(x)$ для получаемых выборок кардиоинтервалов $x_i(t)$, т. е. КИ как функция времени t . Кардиологи Европы убеждены, что регистрация выборок КИ за период $t = 5$ мин дает объективную информацию о состоянии ССС человека. Однако еще в 1947 году Н. А. Бернштейн пытался высказать гипотезу о «повторении без повторений» в биомеханике, а сейчас эта гипотеза получила до-

казательства в эффекте Еськова – Зинченко. Суть этого эффекта – отсутствие статистической устойчивости в получаемых подряд выборках ТМТ, ТПГ (а теперь уже и КИ), которые регистрируются у одного человека, находящегося в одном, неизменном гомеостазе. Это доказывает невозможность произвольного повторения (подряд) двух статистических функций распределения $f(x)$ для выборок ТМГ или ТПГ. Может ли этот эффект быть распространен на все параметры гомеостаза организма человека, и в частности на КРС? Мы сейчас доказываем – это возможно [1, 3–6, 9–11, 16].

Обсуждение результатов

Отсутствие статистической (а заодно и невозможность применения моделей динамического хаоса Лоренца) устойчивости в динамике поведения сложных гомеостатических систем на примере КИ показывает: для двух любых (соседних) j -й и $j+1$ -й выборок параметров x_i (их статистических функций распределения $f_j(x_i)$ и $f_{j+1}(x_i)$) почти всегда $f_j(x_i) \neq f_{j+1}(x_i)$ (вероятность равенства $p < 0,03$). Кардиоинтервалы являются характерным примером хаотической динамики поведения параметров ССС человека как сложной биосистемы – complexity. Параметры КИ ($x_i(t)$, $x_2(t) = dx_1/dt$ и $x_3(t) = dx_2/dt$) демонстрируют неповторимую динамику, которую невозможно изучать в рамках традиционной науки, т. е. детерминизма или стохастичности. Функции распределения $f(x)$ непрерывно изменяются, а значит, любые статистические результаты имеют краткосрочный (одномоментный) характер изменения (хаотического). Это представляет эффект Еськова – Зинченко в аспекте изучения КИ.

Расчет матриц парных сравнений 15 выборок для одного человека показал, что из 105 пар независимых выборок можно получить не более 8–19 %

пар совпадений выборок. Остальные 92–81 % пар сравнения выборок КИ демонстрируют отсутствие возможности их отнесения к одной генеральной совокупности. В этом случае критерий Вилкоксона был значительно меньше $p < 0,05$. Это доказывает отсутствие статистической устойчивости выборок КИ, которые получаются подряд у одного и того же человека или группы людей, находящихся как в неизменном гомеостазе, так и после локального холодового воздействия. Возникает парадокс Еськова – Филатовой, когда группа испытуемых статистически более однородна ($k_2 = 19$), чем каждый испытуемый отдельно в режиме 15 повторений регистрации КИ. Данные методы исследования функциональных систем организма человека на Севере (построение матриц (15×15)) могут быть использованы для оценки влияния холода на индивидуальный функциональный резерв человека.

Таким образом, изучение состояния механизмов регуляции, определение степени напряжения регуляторных систем имеют большое значение для оценки особенностей адаптации организма человека, проживающего на территории ХМАО – Югры.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-07-00161 А «Разработка вычислительной системы мониторинга и моделирования параметров организма жителей Севера РФ»; гранта РФФИ № 18-07-00162 А «Вычислительные системы для идентификации параметров нормогенеза и патогенеза в биомеханике на примере тремора и теппинга».

Авторство

Еськов В. М. выполнил математическое обоснование расчета матриц парных сравнений выборок, а также обосновал методы расчета квазиаттракторов для оценки гомеостаза при охлаждении; Белощенко Д. В. выполнила обработку данных в режиме многих повторений, доказала отсутствие совпадений двух соседних выборок КИ у одного человека и группы людей в неизменном гомеостазе; Башкатова Ю. В. обработала полученные данные по КИ в двух состояниях (до и после холодового воздействия); Иляшенко Л. К. выполнила опыты с охлаждением у испытуемых (получила выборки КИ до и после холодового воздействия). Еськов Валерий Матвеевич – ORCID 0000-0002-1497-897X; SPIN 6349-8387
Белощенко Дарья Васильевна – ORCID 0000-0001-7584-7124; SPIN 9144-7657
Башкатова Юлия Владимировна – ORCID 0000-0002-5862-3417; SPIN 8991-6566
Иляшенко Любовь Кирилловна – ORCID 0000-0002-7637-8590; SPIN 6071-4770

Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов

Список литературы

1. Бетелин В. Б., Еськов В. М., Галкин В. А., Гавриленко Т. В. Стохастическая неустойчивость в динамике поведения сложных гомеостатических систем // Доклады академии наук. 2017. Т. 472, № 6. С. 642–644.
2. Гудков А. Б., Теддер Ю. Р., Дёгтева Г. Н. Некоторые особенности физиологических реакций организма рабочих при экспедиционно-вахтовом методе организации труда в Заполярье // Физиология человека. 1996. Т. 22, № 4. С. 137–142.

3. Еськов В. В., Филатова О. Е., Гавриленко Т. В., Химикова О. И. Прогнозирование долгожительства у российской народности ханты по хаотической динамике параметров сердечно-сосудистой системы // Экология человека. 2014. № 11. С. 3–8.

4. Еськов В. М., Еськов В. В., Гавриленко Т. В., Вохмина Ю. В. Формализация эффекта «повторение без повторения» Н. А. Бернштейна // Биофизика. 2017. Т. 62, вып. 1. С. 168–176.

5. Зилов В. Г., Еськов В. М., Хадарцев А. А., Еськов В. В. Экспериментальное подтверждение эффекта «Повторение без повторения» Н. А. Бернштейна // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2017. № 1. С. 4–9.

6. Зинченко Ю. П., Еськов В. М., Еськов В. В. Понятие эволюции Глендсдорфа – Пригожина и проблема гомеостатического регулирования в психофизиологии // Вестник Московского университета. Серия 14: Психология. 2016. № 1. С. 3–24.

7. Сарычев А. С., Гудков А. Б., Попова О. Н., Ивченко Е. В., Беляев В. Р. Характеристика компенсаторно-приспособительных реакций внешнего дыхания у нефтяников в динамике экспедиционно-вахтового режима труда в Заполярье // Вестник Российской военно-медицинской академии. 2011. № 3 (35). С. 163–166.

8. Нифонтова О. Л., Литовченко О. Л., Гудков А. Б. Показатели центральной и периферической гемодинамики детей коренной народности Севера // Экология человека. 2010. № 1. С. 28–32.

9. Филатова О. Е., Мирошниченко И. В., Попов Ю. М., Глазова О. А. Хаотическая динамика кардионтервалов трёх возрастных групп пришлого и коренного населения Югры // Вестник новых медицинских технологий. 2016. Т. 23, № 4. С. 10–17.

10. Eskov V. M., Filatova O. E., Papshev V. A. Scanning moving surfaces of biological objects // Measurement Techniques. 1996. Vol. 39 (5). Pp. 573–575.

11. Eskov V. M., Filatova O. E., Kozlov A. P., Papshev V. A. Measurement of variable parameters of biological objects in motion // Measurement Techniques. 1996. Vol. 39 (4). Pp. 443–447.

12. Eskov V. M., Filatova O. E. A compartmental approach in modeling a neuronal network. Role of inhibitory and excitatory // Biophysics. 1999. Vol. 44 (3). Pp. 518–525.

13. Eskov V. M., Filatova O. E. Problem of identity of functional states in neuronal networks // Biophysics. 2003. Vol. 48 (3). Pp. 497–505.

14. Eskov V. M., Eskov V. V., Filatova O. E., Khadartsev A. A., Sinenko, D. V. Neurocomputational identification of order parameters in gerontology // Advances in Gerontology. 2016. Vol. 6 (1). Pp. 24–28.

15. Eskov V. M., Eskov V. V., Vochmina J. V., Gavrilenco T. V. The evolution of the chaotic dynamics of collective modes as a method for the behavioral description of living systems // Moscow University Physics Bulletin. 2016. Vol. 71 (2). Pp. 143–154.

16. Eskov V. M., Bazhenova A. E., Vochmina U. V., Filatov M. A., Ilyashenko L. K. N. A. Bernstein hypothesis in the Description of chaotic dynamics of involuntary movements of person // Russian Journal of Biomechanics. 2017. Vol. 21 (1). Pp. 14–23.

17. Vokhmina Y. V., Eskov V. M., Gavrilenco T. V., Filatova O. E. Medical and biological measurements: measuring order parameters based on neural network technologies // Measurement Techniques. 2015. Vol. 58 (4). Pp. 65–68.

18. Vokhmina Y. V., Eskov V. M., Gavrilenko T. V., Filatova O. E. Measuring Order Parameters Based on Neural Network Technologies // *Measurement Techniques*. 2015. Vol. 58 (4). Pp. 462–466.

References

1. Betelin V. B., Eskov V. M., Galkin V. A., Gavrilenko T. V. Stochastic volatility in the dynamics of the homeostatic behavior of complex systems. *Doklady akademii nauk* [Doklady of the Russian Academy of Sciences]. 2017, 472 (6), pp. 642–644. [In Russian]
2. Gudkov A. B., Tedder Yu. R., Degteva G. N. Physiological Responses of shift-workers in polar regions. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology], 1996, 22 (4), pp. 137–142. [In Russian]
3. Eskov V. V., Filatova O. E., Gavrilenko T. V., Khimikova O. I. Longevity Forecasting at the Russian peoples Khanty on chaotic dynamics of the cardiovascular system parameters]. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2014, 11, pp. 3–8. [In Russian]
4. Eskov V. M., Eskov V. V., Gavrilenko T. V., Vochmina Yu. V. Formalization of the Effect of “Repetition without Repetition” by N.A. Bernstein. *Biofizika*. 2017, 62 (1), pp. 168–176. [In Russian]
5. Zilov V. G., Eskov V. M., Khadartsev A. A., Eskov V. V. Experimental confirmation of the effect of “repetition without repetition” N. A. Bernstein. *Byulleten' eksperimental'noi biologii i meditsiny* [Bulletin of Experimental Biology and Medicine]. 2017, 1, pp. 4–9. [In Russian]
6. Zinchenko Yu. P., Eskov V. M., Eskov V. V. The concept of the evolution of Glensdorf-Prigogine and the problem of homeostatic regulation in psychophysiology. *Vestnik Moskovskogo universiteta* [Bulletin of Moscow University]. Series 14: Psychology. 2016, 1, pp. 3–24. [In Russian]
7. Sarychev A. S., Gudkov A. B., Popova O. N., Ivchenko E. V., Beljaev V. R. Characteristics of compensatory-adaptive reactions of external respiration at oil industry workers in dynamics expeditionary rotational team work in the Polar region. *Vestnik Rossiiskoi voenno-meditsinskoi akademii* [Bulletin of Russian military medicine academy]. 2011, 3 (35), pp. 163–166. [In Russian]
8. Nifontova O. L., Litovchenko O. L., Gudkov A. B. Indices of central and peripheral hemodynamics in indigenous children of the North. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2010, 1, pp. 28–32. [In Russian]
9. Filatova O. E., Miroschnichenko I. V., Popov Yu. M., Glazova O. A. Chaotic dynamics of cardiointervals of three age groups of alien and indigenous population of Yugra. *Vestnik*

novykh meditsinskikh tekhnologiy [Journal of New Medical Technologies]. 2016, 23 (4), pp. 10–7. [In Russian]

10. Eskov V. M., Filatova O. E., Papshev V. A. Scanning moving surfaces of biological objects. *Measurement Techniques*. 1996, 39 (5), pp. 573–575.
11. Eskov V. M., Filatova O. E., Kozlov A. P., Papshev V. A. Measurement of variable parameters of biological objects in motion. *Measurement Techniques*. 1996, 39 (4), pp. 443–447.
12. Eskov V. M., Filatova O. E. A compartmental approach in modeling a neuronal network. Role of inhibitory and excitatory. *Biophysics*. 1999, 44 (3), pp. 518–525.
13. Eskov V. M., Filatova O. E. Problem of identity of functional states in neuronal networks. *Biophysics*. 2003, 48 (3), pp. 497–505.
14. Eskov V. M., Eskov V. V., Filatova O. E., Khadartsev A. A., Sinenko D. V. Neurocomputational identification of order parameters in gerontology. *Advances in Gerontology*. 2016, 6 (1), pp. 24–28.
15. Eskov V. M., Eskov V. V., Vochmina J. V., Gavrilenko T. V. The evolution of the chaotic dynamics of collective modes as a method for the behavioral description of living systems. *Moscow University Physics Bulletin*. 2016, 71 (2), pp. 143–154.
16. Eskov V. M., Bazhenova A. E., Vochmina U. V., Filatov M. A., Ilyashenko L. K. N. A. Bernstein hypothesis in the Description of chaotic dynamics of involuntary movements of person. *Russian Journal of Biomechanics*. 2017, 21 (1), pp. 14–23.
17. Vokhmina Y. V., Eskov V. M., Gavrilenko T. V., Filatova O. E. Medical and biological measurements: measuring order parameters based on neural network technologies. *Measurement Techniques*. 2015, 58, (4), pp. 65–68.
18. Vokhmina Y. V., Eskov V. M., Gavrilenko T. V., Filatova O. E. Measuring Order Parameters Based on Neural Network Technologies. *Measurement Techniques*. 2015, 58 (4), pp. 462–466.

Контактная информация:

Еськов Валерий Матвеевич — доктор физико-математических наук, доктор биологических наук, профессор, зав. научно-исследовательской лабораторией биокibernетики и биофизики сложных систем Института естественных и технических наук БУ ВО «Сургутский государственный университет», заслуженный деятель науки Российской Федерации

Адрес: 628412, Ханты-Мансийский автономный округ — Югра, г. Сургут, пр. Ленина, д. 1

E-mail: yuliya-bashkatova@yandex.ru