

ПРОБЛЕМА ОДНОРОДНОСТИ ПАРАМЕТРОВ КАРДИОИНТЕРВАЛОВ У ДЕТЕЙ ШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА В УСЛОВИЯХ ШИРОТНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

© 2020 г. Д. Ю. Филатова, Ю. В. Башкатова, Е. Г. Мельникова, *Л. С. Шакирова

БУ ВО «Сургутский государственный университет», г. Сургут;

*ТО Управления Роспотребнадзора по г. Сургуту и Сургутскому району, г. Сургут

Проблема подбора однородной группы испытуемых в экологии человека решается на основе расчета коэффициента вариации $v = \sigma/\langle x \rangle$ и выхода за $v = 33\%$ или методом АВС. Однако этого оказалось недостаточно для гомеостатических систем. Цель исследования – установить статистические и хаотические закономерности варибельности сердечного ритма у детей школьного возраста при широтных перемещениях. Методом пульсоинтервалографии на базе приборно-программного обеспечения пульсоксиметра ЭЛОКС-01 получали информацию о состоянии показателей сердечно-сосудистой системы (ССС) девочек. Полученные выборки кардиоинтервалов (КИ) обрабатывали в виде матриц парных сравнений выборок. Результаты. Установлено, что после двухнедельного отдыха на Юге Российской Федерации число k пар выборок в матрицах парных сравнений уменьшается. Таким образом, у девочек реакция ССС выражена в сторону усиления неоднородности при широтных перемещениях. В целом при статистическом парном сравнении выборок КИ в группе девочек к одной генеральной совокупности можно отнести только 2–15 % пар выборок. Расчёт матриц парного сравнения выборок КИ для одного испытуемого показал, что выборки при повторных измерениях в одном гомеостазе могут статистически меньше совпадать, чем в группе разных людей. Выводы. Традиционная статистика в описании ССС имеет низкую эффективность, поведение КИ носит хаотический характер, так как прогноз динамики на основе анализа предыдущих состояний и начального значения $x(t_0)$ невозможен. В работе в рамках нового подхода с позиций теории хаоса – самоорганизации изучены особенности параметров ССС девочек при действии различных климатогеографических факторов. С помощью новых методов была проанализирована проблема однородности выборок КИ девочек до и после оздоровительных мероприятий.

Ключевые слова: широтные перемещения, варибельность сердечного ритма, неопределенность I типа, неопределенность II типа

HOMOGENEITY OF THE PARAMETERS OF THE CARDIOINTERVALS IN SCHOOL CHILDREN AFTER NORTH-SOUTH TRAVEL

¹D. Yu. Filatova, Yu. V. Bashkatova, E. G. Melnikova, *L. S. Shakirova

Surgut State University, Surgut; *Russian Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing (Rospotrebnadzor), Surgut

The problem of selecting a homogeneous group of subjects can be addressed by calculating the coefficient of variation or by using the ABC method. However, this is not sufficient for homeostatic systems. The aim of the study is to establish the statistical and chaotic patterns of parameters of the cardiovascular system among girls in the city of Surgut following North-South travel. *Methods:* The data on indicators of the cardiovascular system (CVS) of girls were collected using pulsoximeter ELOX-01. The obtained samples of cardiointervals (CI) were processed as matrices of pairwise comparisons of samples. *Results.* After two weeks of rest in the South of the Russia, the number of k pairs of samples in the matrices of pairwise comparisons decreases indicating changes towards increased heterogeneity in the CVS parameters. In general, with statistical paired comparison of samples of CI in the group of girls, only 2-15 % of pairs of samples can be attributed to one general population. The calculation of the pairwise comparison matrix of samples of CI for one subject showed that the samples with repeated measurements in the same homeostasis may statistically less match than in a group of different people. *Conclusions.* Traditional statistics in the description of the CVS has low efficiency, the behavior of the CI is chaotic, because the forecast of dynamics based on the analysis of previous states and the initial value $x(t_0)$ is impossible. In the work within the framework of the new approach from the standpoint of the theory of chaos-self-organization, the features of the parameters of the CVS of girls under the action of various climatogeographic factors are studied.

Key words: heart rate variability, cardiovascular system, adaptation, type I uncertainty, type II uncertainty.

Библиографическая ссылка:

Филатова Д. Ю., Башкатова Ю. В., Мельникова Е. Г., Шакирова Л. С. Проблема однородности параметров кардиоинтервалов у детей школьного возраста в условиях широтных перемещений // Экология человека. 2020. № 1. С. 6–10.

For citing:

Filatova D. Yu., Bashkatova Yu. V., Melnikova E. G., Shakirova L. S. Homogeneity of the Parameters of the Cardiointervals in School Children after North-South Travel. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2020, 1, pp. 6-10.

Суровые климатические условия северных регионов побуждают жителей к массовым переездам в период отпусков. Транширотные перемещения (смена климатических зон) в ряде случаев могут

способствовать срыву адаптации и приблизить наступление фазы истощения для ряда функциональных систем человека и в первую очередь для сердечно-сосудистой системы (ССС) [1, 2]. Воз-

действие комплекса оздоровительных мероприятий и климатогеографических факторов на параметры ССС (в частности, на показатели вегетативно-нервной системы) является важной характеристикой функционального состояния взрослого и детского организма [3, 6].

В настоящее время эффективность оздоровительных мероприятий в медицине, и в частности в физиологии, оценивают путём статистического сравнения отдельных диагностических признаков. Традиционные стохастические методы при этом обладают рядом недостатков и не учитывают изменчивости параметров всего вектора состояния организма человека $x = x(t) = (x_1, x_2 \dots x_m)^T$ по всем возможным диагностическим признакам x_i в m -мерном фазовом пространстве состояний. Эта хаотическая изменчивость приводит к статистической неустойчивости параметров ССС в неизменном состоянии, что получило название эффекта Еськова — Зинченко [4–8]. При этом возникает острая проблема подбора однородной группы испытуемых.

Цель исследования — установить статистические и хаотические закономерности вариабельности сердечного ритма у детей школьного возраста при широтных перемещениях

Методы

При выполнении настоящих исследований использовались результаты мониторингового обследования состояния ССС 15 учащихся (девочки) г. Сургута. Эти обследования проводились согласно Хельсинкской декларации по 15 параметрам ССС. Предметом анализа явились изменения только одного параметра — кардиоинтервалов (КИ) из всех 15 параметров ССС учащихся до и после широтных перемещений (с Севера на Юг Российской Федерации и обратно) и проведения оздоровительных мероприятий на Юге. Исследования проводились в конце марта и начале апреля, температура воздуха в г. Сургуте составляла (от -8 до -16 °C), а в Туапсе (от $+8$ до $+20$ °C). Критерии включения: возраст учащихся 7–11 лет; отсутствие жалоб на состояние здоровья в период проведения обследований. Критерии исключения: болезнь учащегося в период обследования. Тестирование выполнялось для четырех разных интервалов времени: 1-й этап — до отъезда детей в оздоровительный лагерь «Юный нефтяник» (ЮН); 2-й этап — по прибытии в ЮН; 3-й этап — в конце отдыха и оздоровления, перед вылетом из ЮН; 4-й этап после прибытия в г. Сургут (на 2-е или 3-и сутки).

Информацию о состоянии параметров ССС, и в частности нейровегетативной регуляции организма, учащихся получали неинвазивным методом пульсоинтервалографии на базе приборно-программного обеспечения пульсоксиметра ЭЛОКС-01, разработанного и изготовленного в ЗАО ИМЦ «Новые приборы», г. Самара. Использовался программный продукт Eg3-f.exe (им снабжен прибор) и дополни-

тельный продукт по расчету матриц. В автоматическом режиме формировался расчет матриц парного сравнения выборок показателей изменения работы ССС и механизмов регуляции сердца в режиме реального времени. Одновременно строились матрицы парных сравнений выборок длительности КИ. Регистрировался уровень оксигемоглобина (SpO_2) в крови в процентах [11]. Исследование производилось в рамках традиционной математической статистики при помощи программных пакетов Excel MS Office-2003 и Statistica 6.1. Сравнение переменных выполнялось при помощи критерия парных сравнений Вилкоксона ($p < 0,05$) для одного человека и с помощью критерия Краскела — Уоллиса для группы разных обследуемых.

Результаты

Анализ полученных КИ (записывались в виде файлов) производился на базе обработки в виде матриц парных сравнений выборок. Для одного человека с помощью критерия Вилкоксона ($p < 0,05$), а для группы разных испытуемых по критерию Краскела — Уоллиса. В результате были получены многочисленные таблицы парного сравнения выборок КИ девочек в четырех разных точках исследования. Пример матрицы парного сравнения выборок КИ дается в табл. 1, где представлена матрица парного сравнения КИ в 4-м измерении (группа возвратилась в Сургут, произведя перелет Юг — Север Российской Федерации). Очевидно, что однородность группы (по параметрам КИ) не более 4 %, нет статистической устойчивости выборок ($k_1 = 4$).

Анализ расчёта матриц всех парных сравнений получаемых функций распределения $f(x)$ КИ (во всех четырех экологических состояниях группы) для 15 отрезков КИ девочек (разные испытуемые) показал, что для такого набора $f(x)$ и их парного сравнения мы получим из 105 различных пар выборок всего от 2 до 12 пар совпадений, то есть 1,9–11,4 % статистических совпадений. Эти пары показывают возможность отнесения пары данных к одной генеральной совокупности. Относительно всех 105 пар сравнений выборок КИ это весьма малое число статистических совпадений. Остальные 93–103 пары сравнений выборок в каждой такой матрице для КИ демонстрируют различие ($p > 0,05$). Общая картина изменений числа k совпадений пар выборок КИ для групп девочек во всех четырех точках (1-я точка исследования — 12 пар совпадений; 2-я точка — 2; 3-я точка — 7; 4-я точка — 4) показывает, что наименьшее ($k_2 = 2$) число пар получено после трансширотного перемещения (хаос максимален). После приезда (резкое изменение экоусловий) в оздоровительный лагерь (2-я точка) происходит «сжатие» до $k_2 = 2$ пар для девочек против $k_1 = 12$ (т. е. измерение в Сургуте). После двухнедельного отдыха опять наблюдается некоторое увеличение пар k_3 до 7. Однако после 2-го пере-

Матрица сравнения выборок кардиоинтервалов 15 девочек на 4-м этапе исследования (приезд в г. Сургут), парное сравнение по критерию Краскела – Уоллиса (критическое значение $p < 0,05$), число статистических совпадений $k_4 = 4$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,64	0,00	0,00	0,00	0,08
2	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
3	0,01	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	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	0,00	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
7	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	0,34
8	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
9	0,00	0,02	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	0,64	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,05
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	0,00	0,00
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0,24	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	0,00	0,24		0,00
15	0,08	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,64	0,00	0,00	0,00	0,08

Примечание. Жирным выделено число пар совпадений k .

лета (и изменения экоусловий), т. е. возвращения в г. Сургут (4-я точка) в группе девочек наблюдается снижение пар k_4 до 4. Очевидно, что число k и является долей стохастики в общем наборе КИ для группы обследуемых. Анализируя результаты парного сравнения выборок КИ, мы установили, что между выборками КИ существенных различий в количестве «совпадений» не наблюдается, но имеется тенденция ($k_2 < k_1$ и $k_3 > k_2$). Иными словами, широтные перемещения оба раза (особенно в первый раз: Сургут – Туапсе, $k_2 = 2$) резко повышали долю хаоса в матрицах парных сравнений выборок КИ (при сравнении всех 15 испытуемых самих на себя).

Анализ расчета для 15 матриц парных сравнений 15 выборок для одного испытуемого показал, что из 105 пар независимых выборок (для одного испытуемого) можно получить не более 10,4 % одинаковых пар сравнения выборок КИ. Остальные 89,6 % пар сравнения демонстрируют различие, т. е. принадлежат к разным генеральным совокупностям. В нашем случае группа девочек демонстрирует более высокие k при повторных (подряд) измерениях параметров ($k_1 = 11,4$ %), чем один испытуемый (для самого себя) при повторных измерениях (в одном гомеостазе) $k = 10,4$ %).

Каждый испытуемый демонстрирует различные статистические данные, и расчет данных целой группы испытуемых будет только искажать индивидуальные особенности организма человека. Это говорит о необходимости перехода к индивидуализированной медицине [8, 9, 12]. В целом при изменении климато-географических факторов количество пар совпадений

будет непрерывно изменяться (число k совпадений в 1-м и 2-м состоянии – 9; 1-м и 3-м – 10; 1-м и 4-м – 15; 2-м и 3-м – 8; 2-м и 4-м – 13; 3-м и 4-м – 15). Более всего различается группа в 1-м и 2-м состоянии ($k = 9$), а также существенно влияют ($k = 8$) лечебные мероприятия (2-я и 3-я группы). Разница между количеством совпадений показывает различие функционального состояния девочек до и после широтных перемещений и оздоровления на Юге России. В нашем случае при сравнении всех состояний количество пар совпадений у девочек варьирует от 8 до 15 (1–4 и 3–4).

Обсуждение результатов

Параметры КИ проявляют неустойчивость в виде хаотического калейдоскопа функций распределения для различных промежутков времени измерений (в разных темах исследований). Следовательно, для регуляции сердечного ритма свойственна хаотическая динамика, любые интервалы выборок КИ, полученные при регистрации будут уникальными, тогда внутренняя регуляция будет непрерывно изменяться (даже в состоянии покоя). Поэтому полученные результаты с использованием стохастического анализа в виде матриц парных сравнений выборок будут обладать небольшой информативностью [8, 10, 11]. Это значит, что любые выборки КИ, полученные при регистрации, будут уникальными, внутренняя регуляция будет непрерывно изменяться (даже в состоянии покоя). Только для конкретного промежутка времени, будут характерные изменения в изучаемых параметрах и функциях распределения

$f(x)$, подобрать статистически однородную группу (чтобы $k \geq 90\%$) — это крайне сложная задача. В этой связи мы вводим новые критерии оценки однородности группы.

Заключение

Расчёт матриц парного сравнения получаемых выборок КИ в группе девочек (разные испытываемые) показал, что в 1,9–11,4 % пар мы получим выборки, которые показывают возможность отнесения данных к одной генеральной совокупности. Это крайне малые значения k , и они говорят об отсутствии однородности группы в разных состояниях. Остальные 88,6–98,1 % пар сравнений выборок КИ демонстрируют различие. В итоге мы доказываем невозможность прогноза динамики на основе анализа начального и предыдущих состояний. Результаты измерений параметров k группы девочек показывают более низкие k при широтных перемещениях и при лечении. В целом мы получили низкую эффективность использования традиционных статистических методов в оценке параметров гомеостаза CCC.

Благодарности

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

Авторство

Филатова Д. Ю. принимала участие в разработке методов оценки однородности групп; Башкатова Ю. В. измеряла кардиоинтервалы у группы испытуемых в четырех состояниях; Мельникова Е. Г. рассчитывала матрицы парных сравнений выборок кардиоинтервалов; Шакирова Л. С. анализировала динамику k во всех матрицах.

Авторы подтверждают отсутствие конфликта интересов.

Филатова Диана Юрьевна — ORCID 0000-0002-8052-3148; SPIN 5756-3070

Башкатова Юлия Владимировна — ORCID 0000-0002-5862-3417; SPIN 8991-6566

Мельникова Екатерина Геннадьевна — ORCID 0000-0002-9795-0971

Шакирова Лилия Салаватовна — ORCID 0000-0003-2938-3108; SPIN 9004-3343.

Список литературы

1. Агаджанян Н. А. Стресс и теория адаптации. Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ. 2005, 190 с.
2. Гудков А. Б., Мосягин И. Г., Иванов В. Д. Характеристика фазовой структуры сердечного цикла у новобранцев учебного центра ВМФ на Севере // Военно-медицинский журнал. 2014. Т. 335, № 2. С. 58–59.
3. Дерягина Л. Е., Цыганок Т. В., Рувинова Л. Г., Гудков А. Б. Психофизиологические свойства личности и особенности регуляции сердечного ритма под влиянием трудовой деятельности // Медицинская техника. 2001. № 3. С. 40–44.
4. Еськов В. В. Математическое моделирование неэргодических гомеостатических систем // Вестник новых медицинских технологий. 2017. Т. 24, № 3. С. 33–39.

5. Еськов В. М., Хадарцев А. А., Филатова О. Е., Ильяшенко Л. К. Биофизика живых систем в зеркале теории хаоса — самоорганизации // Вестник новых медицинских технологий. 2017. Т. 24, № 4. С. 20–26.

6. Мирошниченко И. В., Эльман К. А., Прасолова А. А., Глазова О. А. Динамика кардиоинтервалов детско-юношеского населения Югры в аспекте возрастных изменений // Вестник новых медицинских технологий. 2017. Т. 24, № 4. С. 14–19.

7. Томчук А. Г., Широков В. А., Мирошниченко И. В., Яхно В. Г. Стохастический и хаотический анализ психоэмоционального статуса и вегетативных показателей в комплексном лечении хронических мышечно-скелетных болей // Вестник новых медицинских технологий. 2017. Т. 24, № 3. С. 40–46.

8. Филатова О. Е., Прохоров С. А., Ильяшенко Л. К. Хаос метеопараметров как признак гомеостатичности // Вестник новых медицинских технологий. 2017. Т. 24, № 4. С. 33–38.

9. Филатова О. Е., Хадарцева К. А., Филатова Д. Ю., Живаева Н. В. Биофизика сложных систем — complexity // Вестник новых медицинских технологий. 2016. Т. 23, № 2. С. 9–17.

10. Betelin V. B., Eskov V. M., Galkin V. A. and Gavrilenko T. V. Stochastic Volatility in the Dynamics of Complex Homeostatic Systems // Doklady Mathematics. 2017. Vol. 95, N 1. P. 92–94.

11. Eskov V. M., Eskov V. V., Braginskii M. Ya., Pashnin A. S. Determination of the degree of synergism of the human cardiorespiratory system under conditions of physical effort // Measurement Techniques. 2011. N 54 (7). P. 832–837.

12. Eskov V. M., Eskov V. V., Gavrilenko T. V. and Vochmina Yu. V. Formalization of the Effect of “Repetition without Repetition” Discovered by N. A. Bernshtein // Biophysics. 2017. Vol. 62, N 1. P. 143–150.

References

1. Agadzhanyan N. A. *Stress i teorii adaptatsii* [Stress and adaptation theory]. Orenburg, 2005, 190 p.
2. Gudkov A. B., Mosyagin I. G., Ivanov V. D. Characteristic of cardiac cycle phase structure in recruits of a Navy Training Center in the North. *Voenno-meditsinskii zhurnal* [Military-Medical Journal]. 2014, 335 (2), pp. 58–59. [In Russian]
3. Deryagina L. E., Tsyganok T. V., Ruvinova L. G., Gudkov A. B. Psychophysiological traits of personality and the specific features of heart rhythm regulation under the influence of occupational activities. *Meditsinskaia Tekhnika*. 2001, 3, pp. 40–44. [In Russian]
4. Eskov V. V. Mathematical modeling of non-ergodic homeostatic systems. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii* [Bulletin of new medical technologies]. 2017, 24 (3), pp. 33–39. [In Russian]
5. Eskov V. M., Khadartsev A. A., Filatova O. E., Ilyashenko L. K. Biophysics of living systems in the mirror of the theory of chaos-self-organization. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii* [Bulletin of new medical technologies]. 2017, 24 (4), pp. 20–26. [In Russian]
6. Miroshnichenko I. V., Elman K. A., Prasolova A. A., Glazova O. A. Dynamics of cardiointervals of the youth of Ugra in the chamber of age-related changes. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii* [Bulletin of new medical technologies]. 2017, 24 (4), pp. 14–19. [In Russian]
7. Tomchuk A. G., Shirokov V. A., Miroshnichenko I. V., Yakhno V. G. Stochastic and chaotic analysis of psycho-

emotional status and autonomic indices in the complex treatment of chronic musculoskeletal pain. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii* [Bulletin of new medical technologies]. 2017, 24 (3), pp. 40-46. [In Russian]

8. Filatova O. E., Prokhorov S. A., Ilyashenko L. K. Chaos of meteorological parameters as a sign of homeostatism. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii* [Bulletin of new medical technologies]. 2017, 24 (4), pp. 33-38. [In Russian]

9. Filatova O. E., Khadartseva K. A., Filatova D. Yu., Zhivaeva N. V. Biophysics of complex systems - complexity. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii* [Bulletin of new medical technologies]. 2016, 23 (2), pp. 9-17. [In Russian]

10. Betelin V. B., Eskov V. M., Galkin V. A. and Gavrilenko T. V. Stochastic Volatility in the Dynamics of Complex Homeostatic Systems. *Doklady Mathematics*. 2017, 95 (1), pp. 92-94.

11. Eskov V. M., Eskov V. V., Braginskii M. Ya., Pashnin A. S. Determination of the degree of synergism of the human cardiorespiratory system under conditions of physical effort. *Measurement Techniques*. 2011, 54 (7), pp. 832-837.

12. Eskov V. M., Eskov V. V., Gavrilenko T. V. and Vochmina Yu. V. Formalization of the Effect of "Repetition without Repetition" Discovered by N.A. Bernshtein. *Biophysics*. 2017, 62 (1), pp. 143-150.

Контактная информация:

Башкатова Юлия Владимировна — кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры экологии и биофизики Института естественных и технических наук БУ ВО «Сургутский государственный университет»

Адрес: 628412, ХМАО, г. Сургут, пр. Ленина, д. 1

E-mail: yuliya-bashkatova@yandex.ru