

DOI: 10.12737/ 24383

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ ДЕВОЧЕК ПРИ ШИРОТНОМ ПЕРЕМЕЩЕНИИ

Д.Ю.ФИЛАТОВА, Л.С. ШАКИРОВА, О.М.ВОРОШИЛОВА, Я.Ю.АЛЕКСЕНКО

*БУ ВО ХМАО-Югры «Сургутский государственный университет»,
проспект Ленина, 1, г. Сургут, 628412, Россия*

Аннотация. Анализировались параметры сердечно-сосудистой системы девочек при широтных перемещениях. Кратковременный отдых сужает размеры квазиаттрактора вектора состояний организма человека и частично нормализует показатели кардиореспираторной системы девочек. Использование метода расчета матриц межаттракторных расстояний в m-мерном фазовом пространстве предоставляет определенную количественную оценку адаптационных резервов организма. Это позволяет объективно оценивать динамику резервных возможностей организма и их прогностическую значимость.

Ключевые слова: хаос, самоорганизация, кардиореспираторная система.

COMPARATIVE EVALUATION OF THE CARDIOVASCULAR SYSTEM PARAMETERS OF GIRLS IN LATITUDINAL DISPLACEMENTS

D.YU. FILATOVA, L.S. SHAKIROVA, O. M. VOROSHILOVA, YA. ALEKSENKO

Surgut State University, Lenina pr., 1, Surgut, 628412, Россия

Abstract. The parameters of the cardiovascular system of girls in latitudinal displacements were analyzed. Short-term rest reduces the size of quasiattractor vector of conditions of the human body and partially normalizes the indicators of the cardiorespiratory system of girls. The use of the method of calculation of matrices mega-factory of distances in m-dimensional phase space provides some quantitative evaluation of adaptive reserves of the body. This allows us to objectively assess the dynamics of reserve possibilities of organism and their prognostic significance.

Key words: chaos, self-organization, cardiorespiratory system.

Введение. Особая роль в решении проблемы высокой заболеваемости *сердечно-сосудистой системы* (ССС) жителей Севера принадлежит изучению влияния суровых климатогеографических факторов Севера на физиологические показатели организма [3,5]. Комплексное влияние экстремальных факторов (дефицит солнечного света и тепла, пониженный уровень влажности воздуха, необычный световой режим, низкий уровень содержания в воздухе аэроионов, геомагнитные возмущения, резкие перепады атмосферного давления) приводят к напряжению механизмов саморегуляции и истощению функционального резерва организма человека (особенно детского) [2,8]. Организация детского отдыха в комфортных климатогеографических усло-

виях (Юг РФ) компенсирует неблагоприятное воздействие окружающей среды Севера, но в тоже время сопровождается физиологической перестройкой организма [6-10].

Наиболее доступным для регистрации параметром, отражающим процессы регуляции ССС, является ритм сердечных сокращений, динамические характеристики, которого позволяют оценить выраженность симпатических и парасимпатических сдвигов, при изменении физиологического состояния исследуемого [1,3-5]. При этом было доказано, что традиционные стохастические подходы малоэффективны в оценке ССС организма человека [4,7].

Целью исследования является изучение влияния широтных перемещений (с Севера на Юг РФ и обратно) на процесс

изменения динамики функциональных систем организма учащихся у нас это состояние ССС), на примере которой мы изучаем динамику параметров ССС с позиции *теории хаоса-самоорганизации* (ТХС).

Объекты и методы исследования. В ходе проведения настоящего исследования использованы результаты мониторингового обследования состояния сердечно-сосудистой системы 30 девочек г. Сургута. Критерии включения: возраст 7-14 лет; отсутствие жалоб на состояние здоровья в период проведения обследований; наличие информированного согласия на участие в исследовании. *Критерии исключения:* болезнь учащегося в период обследования. Тестирование выполнялось в 4-х разных временных промежутках: 1-й этап – нахождение в Сургуте, до отъезда детей в оздоровительный лагерь; 2-ой этап – по прилету в оздоровительный лагерь «Юный нефтяник»; 3-й этап – в конце отдыха перед вылетом из «Юного нефтяника»; 4-й этап – непосредственно по прилету в г. Сургут [9].

Информацию о состоянии параметров ССС учащихся получали методом пульсоинтервалографии на базе приборно-программного обеспечения пульсоксиметра «ЭЛОКС-01». Программный продукт «Eg3.exe», которым снабжен прибор, в автоматическом режиме отображает изменение в виде ряда показателей в режиме реального времени с одновременным построением гистограммы распределения длительности *кардиоинтервалов* (КИ) [15].

Выбор данного метода был связан с тем, что ритм сердечных сокращений является наиболее доступным для регистрации физиологических параметров состояний *нейро-вегетативной системы* (НВС). Регистрация параметров ССС обследуемых производилась в шестимерном фазовом пространстве состояний общего *вектора состояния системы* (ВСС) в виде $x=x(t)=(x_1, x_2, \dots, x_m)^T$, где $m=6$. Эти координаты x_i состояли из: x_1 – *SIM* – показатель активности симпатического отдела *вегетативной нервной системы* (ВНС), у.е.; x_2 – *PAR* – показатель активности парасимпатического отдела ВНС, у.е.; x_3 – *SSS* – число ударов сердца в минуту; x_4 – *SDNN* – стандарт отклонения

измеряемых *кардиоинтервалов*, мс; x_5 – *INB* – индекс напряжения (по Р.М. Баевскому); x_6 – *SpO₂* – уровень оксигенации крови (уровень оксигемоглобина).

Полученные результаты первоначально обрабатывались методами математической статистики с помощью программного продукта *Statistica version 6.1*. Статистическая обработка данных производилась до доверительного интервала с вероятностью $\beta=0,95$. На основе вычисления критерия Шапиро-Уилка оценивалось распределение признака на соответствие нормальному закону распределения (при критическом уровне значимости принятым равным $p>0,05$). Однако не все описываемые параметры подчиняются закону нормального распределения, поэтому дальнейшие исследования зависимостей производились методами непараметрической статистики [3-10].

При описании асимметричных распределений использовалась медиана, в качестве мер рассеяния – процентиля (5-й и 95-й). Для сравнения трёх и более связанных выборок, данные в которых не подчиняются закону нормального распределения, применяется критерий Фридмана (Ранговый ДА – *FriedmanTest*). Применение критерия Фридмана показало наличие статистически значимых различий между 4-мя группами. Однако, между какими группами существуют различия, и по каким параметрам – на этот вопрос нам отвечает критерий Вилкоксона. Количество возможных парных сравнений с помощью непараметрического критерия Вилкоксона было рассчитано по формуле: $n=0,5N(N-1)$, где N – количество изучаемых групп.

Одновременно для учёта элементов хаоса, в динамике параметров ССС, нами использовались методы ТХС, которые обеспечили расчёт параметров квазиаттракторов – объём (V_G), параметр асимметрии (R_x), а также матриц межаттракторных состояний Z_{ij} параметров ВНС. Результаты статистической обработки данных показателей ССС школьников в условиях широтных перемещениях представлены ниже [13,15-19].

Результаты и их обсуждение. Анализируя результаты статистической обра-

ботки интегрально-временных параметров, мы установили, что значение параметра СИМ у девочек колеблется в интервале от 1 у.е. до 15 у.е. При перемещении девочек с Севера на Юг интервал составлял от 0 у.е. до 14 у.е. ($Me = 2$). Наибольшее значение медианы у девочек наблюдается до отъезда из оздоровительного лагеря ($Me = 3,5$ соответственно).

Индекс активности парасимпатического отдела ВНС имеет среднюю активность и в выборке изменялся у девочек от 2 до 24 у.е. Наибольший показатель медианы у девочек регистрируется до отъезда детей на юг ($Me=16$), наименьшее значение отмечается в 3-ей точке (отъезд из ЮН) в виде $Me=0$ у.е.

Значение INB варьируется в пределах от 10 до 234 у.е. Наибольший показатель отмечается при нахождении девочек на отдыхе, при возвращении в г. Сургут показатель не превышает 191 у.е., что говорит о некотором повышении симпатической активности ВНС у девочек.

Значение параметров уровня оксигенации крови (SPO_2) при широтных перемещениях практически не изменяются ($Me=98$ у.е.). А это говорит о том, что девочки находятся на максимуме возможностей своего организма (в средней полосе этот показатель для групп детей составляет 93-95 у.е.) [14,15].

Проведенный анализ сравнения интегрально-временных параметров x_i ССС с использованием критерия Вилкоксона показал, (табл. 1), что статистически значимые различия между 1-й и 2-й, 1-й и 4-й, 2-й и 4-й не выявлены. Статистически значимые различия между 2-й и 3-й группами выявлено только по показателю SPO_2 (критерий Вилкоксона составляет $p=0,03$). Это значит, что резких изменений по остальным показателям ССС и ВНС после приезда в оздоровительный лагерь и двухнедельного отдыха на юге по сравнению с 1-м состоянием (до отъезда) не отмечается. Статистически значимые различия при сравнении 1-й и 3-й групп девочек выявлены по показателям ПАР, ЧСС, $SDNN$ (критерий Вилкоксона равен $p=0,02$, $p=0,01$ и $p=0,03$ соответственно). Анализ сравнения

параметров в конце отдыха (3-я точка) и непосредственно по возвращению в г. Сургут (4-я точка, выявил в группе девочек различия при сравнении параметров СИМ, ЧСС. Это говорит о влиянии смены часовых поясов и проведения оздоровительных мероприятий на параметры вегетативного статуса девочек.

Следующий этап исследований посвящен расчету параметров квазиаттракторов ВСОЧ в шестимерном фазовом пространстве состояний, т.к. изменения данных параметров более существенны, чем результаты статистической обработки первичных данных. Значения показателя асимметрии R_x и общего объема многомерного параллелепипеда V_G получены в результате обработки статистических данных в программе *Identity 4*. Программа по крайним точкам определяет объем параллелепипеда V (*General V value*) и автоматически определяет его геометрический центр, так называемый стохастический центр.

Таблица 1

Уровни значимости p для попарных сравнений интегрально-временных параметров x_i ССС девочек ($n=30$) при широтных перемещениях в четырех связанных выборках с помощью критерия Вилкоксона ($p>0,05$)

Группы сравнения	Уровни значимости p для признаков x_i					
	СИМ	ПАР	ССС	SDNN	INB	SPO ₂
1 и 2	0,47	0,24	0,28	0,07	0,16	0,84
1 и 3	0,10	0,02	0,01	0,03	0,06	0,47
1 и 4	0,87	0,13	0,36	0,29	0,63	0,66
2 и 3	0,26	0,11	0,09	0,20	0,19	0,03
2 и 4	0,85	0,79	0,46	0,65	0,69	0,68
3 и 4	0,02	0,12	0,02	0,11	0,27	0,78

Примечание: p – достигнутый уровень значимости при попарном сравнении с помощью критерия Вилкоксона

Согласно расчётам, объём КА после приезда в оздоровительный лагерь Юный нефтяник (2-я точка исследования) у девочек уменьшился в 1,8 раза ($V_G=1,47 \times 10^8$ у.е.), по сравнению с 1 точкой (приезд в ЮН). После 2-х недельного отдыха (3-я точка исследования) объём КА девочек

продолжает снижаться (рис.) и составляет $V_G=1,18 \times 10^8$ у.е. в группе девочек. Уменьшение объема КА во время 2-х недельного отдыха (2-я и 3-я точки) показывает снижение уровня разброса в ФПС координат вектора состояния организма. В ТХС постулируется: чем меньше объем, тем больше стабильность нашей системы [4-12]. Объем КА у девочек по приезду в г.Сургут (4 точка) составил $V_G=0,57 \times 10^8$ у.е., что 4,7 раза меньше наблюдаемого объема КА 1 точки. Это говорит, об активизации регуляторных механизмов ССС и хорошем оздоравливающем эффекте двухнедельного пребывания на юге на параметры организма девочек.

Показатель асимметрии R_x в группе девочек уменьшается во 2-й и 3-й точках (72,96 и 69,57 усл. е соответственно), по сравнению с 1-й точкой (97,53 усл. ед). Однако, и после прилёта в г. Сургут (4-я точка) наблюдается увеличение коэффициента асимметрии R_x (72,26 усл. ед), однако данный показатель меньше регистрируемого в 1-й точке. Это говорит о том, что организм девочек до начала лечения (1 точка) и в конце санаторного отдыха (4 точка) находится в определенном состоянии, которое приближается к стохастическому.

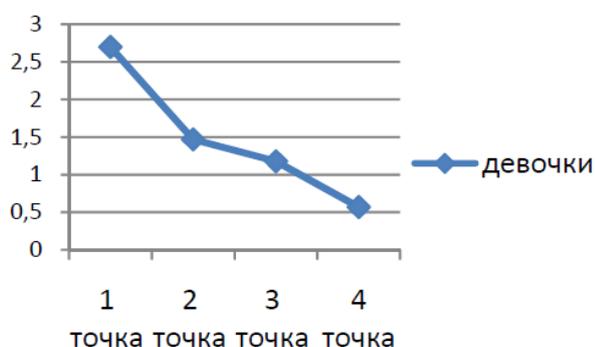


Рис. Динамика изменения объемов (V_G) КА (у.е.) интегрально-временных параметров ССС девочек ($n=30$) в условиях широтных перемещений

Рассмотрим значения межаттракторных расстояний Z_{ij} . Параметр Z_{ij} (i и j – номера обследуемых групп) – расстояние между центрами хаотических квазиаттракторов двух изучаемых групп (компартиментов) испытуемых, определяет эволюцию организма в фазовом пространстве. Между хао-

тических центрами этих КА для описания Z_{ij} создается матрица Z . Данная матрица представлена в табл. 2, где представлены все возможные расстояния между хаотическими центрами КА.

Анализируя полученные результаты (таб. 2), расчёта межаттракторных расстояний для четырех кластеров испытуемых девочек, наибольшее расстояние Z_{ij} установлено между 1 и 3 точками ($z_{14}=21,98$ у.е.), а наименьшее при сравнении 2 и 3 точек ($z_{23}=6,32$ у.е.). Установлено, что большие межаттракторные расстояния наблюдаются в группе девочек между 1 и 2; 1 и 3 точками ($z_{21}=15,98$ у.е.; $z_{31}=21,98$ у.е. соответственно).

В группе девочек оценка общего (суммарного) значения Z_{ij} (при сложении всех элементов столбцов) расстояние Z_{ij} между центрами хаотических КА после приезда в санаторий (2 точка) снижается (30,78 у.е.), затем снова увеличивается после двухнедельного отдыха (42,81 у.е.). После отдыха, межаттракторное расстояние между 3 и 4 точками уменьшается практически до уровня 2 состояния и составляет 30,74 у.е., что говорит об оздоровительном эффекте отдыха на параметры ССС девочек. В целом, 1-я и 3-я точки имеют наибольшее значение при суммировании всех Z_{ij} (по каждой строке).

Таблица 2

Матрица идентификации расстояний (Z_{ij} , у.е.) между хаотическими центрами квазиаттракторов интегрально-временных показателей сердечно-сосудистой и вегетативной нервной системы организма девочек ($n=30$) при широтных перемещениях в 6-ти мерном фазовом пространстве ($m=6$)

Точка исследования, у.е.	1	2	3	4	Σ	$\langle x_i \rangle$
1	0	15.9	21.9	7.75	45.55	11.39
2	15.9	0	6.32	8.48	30.7	7.67
3	21.9	6.32	0	14.5	42.72	10.68
4	7.75	8.48	14.5	0	30.73	7.68

Выводы:

1. Результат анализа параметров сердечно-сосудистой системы девочек при широтных перемещениях с позиции стохастики, показал,

что поведение кардиоинтервалов носит всё-таки хаотический характер. Отсюда следствие – традиционная стохастика в описании кардиоинтервалов имеет низкую эффективность, в сравнение с методами ТХС в виде расчёта параметров квазиаттракторов.

2. Используя метод расчёта параметров квазиаттракторов (V_G и R_X) мы показали, что кратковременное лечение в санатории уменьшает размеры квазиаттрактора ВСС и частично нормализует показатели кардиореспираторной системы девочек.

3. Метод расчёта матриц межаттракторных расстояний в m -мерном фазовом

пространстве представляет определённую количественную оценку адаптационных резервов организма. В группе девочек при общем (суммарном) значении расстояния Z_{ij} между 2 и 3 точками увеличивается (30,78 у.е., 42,81 у.е. соответственно), затем уменьшается между 3 и 4 точками практически до уровня 2 состояния и составляет 30,74 у.е., что говорит об оздоровительном эффекте пребывания в оздоровительном лагере на Юге РФ на параметры ССС девочек.

Литература

1. Башкатова Ю.В., Живаева Н.В., Тен Р.Б., Алиев Н.Ш. Нейрокомпьютинг в изучении параметров сердечно-сосудистой системы // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2016. №1. С. 32–38.
2. Башкатова Ю.В., Белощенко Д.В., Баженова А.Е., Мороз О.А. Хаотическая динамика параметров кардиоинтервалов испытуемого до и после физической нагрузки при повторных экспериментах // Вестник новых медицинских технологий. 2016. Т. 23, №3. С. 39–45.
3. Бетелин В.Б., Еськов В.М., Галкин В.А., Гавриленко Т.В. Стохастическая неустойчивость в динамике поведения сложных гомеостатических систем // Доклады Академии Наук. Математическая физика. 2017. Т. 472, № 6. С. 1–3.
4. Веракса А.Н., Еськов В.В., Сорокина Л.С., Ключ И.В. Третья парадигма представляет «повторение без повторения» Н.А. Бернштейна в виде эффекта Еськова-Зинченко // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2016. №2. Публикация 1-7. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2016-2/1-7.pdf> (дата обращения: 20.06.2016). DOI: 10.12737/20307.
5. Веракса А.Н., Филатова Д.Ю., Поскина Т.Ю., Ключ Л.Г. Термодинамика в эффекте Еськова – Зинченко при изучении стационарных состояний сложных биомедицинских систем // Вестник новых меди-

References

1. Bashkatova YuV, Zhivaeva NV, Ten RB, Aliev NSh. Neyrokomp'yuting v izuchenii parametrov serdechno-sosudistoy sistemy [Neurokompyuting in the study of the parameters of the cardiovascular system]. Slozhnost'. Razum. Postneklassika. 2016;1:32-8. Russian.
2. Bashkatova YuV, Beloshchenko DV, Bazhenova AE, Moroz OA. Khaoticheskaya dinamika parametrov kardiointervalov ispytuemogo do i posle fizicheskoy nagruzki pri povtornykh eksperimentakh [Chaotic dynamics of the parameters of the cardiointervals of the subject before and after of physical load with the repeated experiments]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2016;23(3):39-45. Russian.
3. Betelin VB, Es'kov VM, Galkin VA, Gavrilenko TV. Stokhasticheskaya neustoychivost' v dinamike povedeniya slozhnykh gomeostaticeskikh sistem [Stochastic instability in the dynamics of the behavior of the complex homeostatic systems]. Doklady Akademii Nauk. Matematicheskaya fizika. 2017;472(6):1-3. Russian.
4. Veraksa AN, Es'kov VV, Sorokina LS, Klyus IV. Tret'ya paradigma predstavlyaet «povtorenie bez povtoreniya» N.A. Bernshteyna v vide effekta Es'kova-Zinchenko [The third paradigm represents n.a. bernstein's «repetition without repetition» as the eskov-zinchenko effect]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. Elektronnoe izdanie [internet]. 2016[cited 2016 Jun 20];2[about 8 p.]. Russian. Available from: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2016-2/1-7.pdf>. DOI: 10.12737/20307.
5. Veraksa AN, Filatova DYU, Poskina TYU, Klyus LG. Termodinamika v effekte Es'kova – Zinchenko pri izuchenii statsionarnykh sostoyaniy slozhnykh biomeditsinskikh sistem [Thermodynamics in the effect Of eskova – Zinchenko during the

- зова В.И., Гусак Ю.К. Программы адаптации в эксперименте и клинике. Тула: Изд-во ТулГУ, 2003. 284 с.
15. Системный анализ, управление и обработка информации в биологии и медицине. Часть IV. Обработка информации, системный анализ и управление (общие вопросы в клинике, в эксперименте) / Сидорова И.С., Хадарцев А.А., Еськов В.М. [и др.]. Тула: Изд-во ТулГУ, 2003. 203 с.
16. Филатова О.Е., Русак С.Н., Майстренко Е.В., Добрынина И.Ю. Возрастная динамика параметров сердечно-сосудистой системы населения Севера РФ // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2016. № 2. С. 40–49.
17. Хадарцев А.А., Еськов В.М., Козырев К.М., Гонтарев С.Н. Медико-биологическая теория и практика. / Под ред. В.Г. Тыминского. Тула: Изд-во ТулГУ. Белгород: ЗАО «Белгородская областная типография», 2011. 232 с.
18. Хадарцев А.А., Шакирова Л.С., Пахомов А.А., Полухин В.В., Синенко Д.В. Параметры сердечно-сосудистой системы школьников в условиях санаторного лечения // Вестник новых медицинских технологий. 2016. Т. 23, №1. С. 7–14.
19. Шакирова Л.С., Гараева Г.Р., Синенко Д.В., Сорокина Л.С. Сравнительная оценка параметров сердечно-сосудистой системы школьников в условиях санаторного лечения // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2016. № 2. С. 34–39.
- Gusak YuK. Programmy adaptatsii v eksperimente i klinike. Tula: Izd-vo TulGU; 2003. Russian.
- Sidorova IS, Khadartsev AA, Es'kov VM, et al. Sistemnyy analiz, upravlenie i obrabotka informatsii v biologii i meditsine. Chast' IV. Obrabotka informat-sii, sistemnyy analiz i upravlenie (obshchie voprosy v klinike, v eksperimente). Tula: Izd-vo TulGU; 2003. Russian.
- Filatova OE, Rusak SN, Maystrenko EV, Dobryni-na IYu. Vozrastnaya dinamika parametrov serdechno-sosudistoy sistemy naseleniya Severa RF [The dynamics of the parameters of the cardiovascular system of the population of the north RF dependent on age]. Slozhnost'. Razum. Postneklassika. 2016;2:40-9. Russian.
- Khadartsev AA, Es'kov VM, Kozyrev KM, Gontarev SN. Mediko-biologicheskaya teoriya i praktika. Pod red. V.G. Tyminskogo. Tula: Izd-vo TulGU. Belgorod: ZAO «Belgorodskaya oblastnaya tipografiya»; 2011. Russian.
- Khadartsev AA, Shakirova LS, Pakhomov AA, Polukhin VV, Sinenko DV. Parametry serdechno-sosudistoy sistemy shkol'nikov v usloviyakh sanatornogo lecheniya [Parameters of the cardiovascular system of schoolboys under the conditions for the sanatorium treatment]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2016;23(1):7-14. Russian.
- Shakirova LS, Garaeva GR, Sinenko DV, Sorokina LS. Sravnitel'naya otsenka parametrov serdechno-sosudistoy sistemy shkol'nikov v usloviyakh sanatornogo lecheniya [Comparative estimation of the parameters of the cardiovascular system of schoolboys under the conditions for the sanatorium treatment]. Slozhnost'. Razum. Postneklassika. 2016;2:34-9.