

I. БИОМЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ И СИНЕРГЕТИКА

DOI: 10.12737/12005

СТАТИСТИЧЕСКАЯ И ХАОТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ КАРДИОИНТЕРВАЛОВ В УСЛОВИЯХ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Ю.В. БАШКАТОВА, В.А. КАРПИН, В.В. ЕСЬКОВ, Д.Ю. ФИЛАТОВА

*БУ ВО «Сургутский государственный университет»,
ул. Ленина, 1, Сургут, Россия, 628400*

Аннотация. Методами классической статистики и теории хаоса и самоорганизации изучалось поведение вектора состояния сердечно-сосудистой системы у групп студентов тренированных и нетренированных в ответ на дозированную физическую нагрузку. Установлено, что у студентов без физической подготовки показатели площади квазиаттракторов кардиоинтервалов увеличиваются после нагрузки. В результате проведенного исследования были показаны значительные изменения в динамике поведения параметров функциональных систем организма человека в сравнении стохастического подхода на основе гистограмм и энтропии Шеннона. Показана практическая возможность применения методов теории хаоса-самоорганизации в оценке реакции сердечно-сосудистой системы человека на динамическую физическую нагрузку. В качестве меры состояния сердечно-сосудистой системы человека (до нагрузки и после нагрузки) использованы квазиаттракторы движения вектора состояния системы в двухмерном фазовом пространстве состояний. В рамках теории хаоса и самоорганизации возможно определять параметры КА как для отдельных испытуемых, так и их групп и сравнивать их хаотическую динамику во времени или в фазовом пространстве состояний.

Ключевые слова: физические нагрузки, квазиаттрактор, сердечно-сосудистая система, хаос, самоорганизация.

STATISTICAL AND EVALUATION CHAOTIC PARAMETERS UNDER CARDIO EXERTION

Yu.V. BASHKATOVA, V.A. KARPIN, V.V. ESKOV, D.Yu. FILATOVA

Surgut state University, Lenin pr., 1, Surgut, Russia, 628400

Abstract. Methods of classical statistics and the theory of chaos and self-organization studied the behavior of the vector of the cardiovascular system in groups of students trained and untrained in response to dosed physical stress. It was found that students without physical fitness indicators of cardio area quasi-attractors increased after exercise. The study had shown significant changes in the dynamics of the behavior of the parameters of functional systems of the human body compared to the stochastic approach based on the histogram and Shannon entropy. It is shown the feasibility of application of chaos theory, self-organization in the evaluation of the reaction of the cardiovascular system of the person on the dynamic exercise. As a measure of the cardiovascular system of the person (to load and after the load) used quasi-attractor motion of the state vector of the system in the two-dimensional phase space of states. Within the framework of the theory of chaos and self-organization may determine the parameters of the spacecraft for individual subjects and their groups to compare their chaotic dynamics in time or in the phase space of states.

Key words: exercise, quasi-attractor, cardiovascular system, chaos, self-organization.

Введение. Любая значительная физическая нагрузка вызывает у человека реак-

цию, которая существенно отличается в соответствии уровня физической подготовленности. Поэтому несомненный интерес вызывает изучение показателей функциональных систем организма человека в ответ на действие дозированной физической нагрузки. Важную роль в приспособлении организма к дозированным физическим нагрузкам играют показатели степени активности регуляции сердечно-сосудистой системы со стороны вегетативной нервной системы. Оценка реактивности сердечного ритма при выполнении физической нагрузки дает более полную характеристику функционального состояния вегетативной нервной системы человека [1,2-4]. Наиболее доступным параметром *сердечно-сосудистой системы* (ССС), отражающим процессы регуляции, является ритм сердечных сокращений. Он позволяет оценить симпатические и парасимпатические сдвиги при выполнении дозированных физических нагрузок, которые позволяют выявить изменения в состоянии организма человека [5-20].

Известно, что изменения показателей ритма сердца при стрессе (в нашем случае, дозированная физическая нагрузка) наступают раньше, чем появляются выраженные биохимические и гормональные сдвиги [6,9]. Одной из важнейших проблем исследования функциональных систем организма человека является изучение особенностей регуляции двигательных функций человека на Севере в условиях выполнения дозированной физической нагрузки и без таковых. Именно с позиций теории хаоса и самоорганизации с использованием системного синтеза возможно решение этой проблемы.

Настоящие исследования направлены на изучение динамики поведения функциональных систем организма у групп студентов тренированных и нетренированных в ответ на дозированную физическую нагрузку с точки зрения *теории хаоса и самоорганизации* (ТХС) [6-7].

Целью работы явилась оценка состояния сердечно-сосудистой системы групп тренированных и нетренированных студентов с позиции стохастики и теории хаоса.

Объект и методы исследования.

Объектом настоящего исследования явились студенты 1-3 курсов ГБОУ ВПО «Сургутский государственный университет ХМАО – Югры», проживающие на территории округа не менее 5 лет. В зависимости от степени физической активности испытуемых разделили на 2 группы по 30 человек. В первую группу отнесли студентов основной группы здоровья, занимающихся физической культурой в рамках общеобразовательной программы университета. Вторую группу составили студенты СурГУ, профессионально занимающиеся игровыми видами спорта (баскетбол и волейбол).

Обследование студентов производили с помощью пульсоксиметра (ЭЛОКС-01 М, г. Самара). Специальным фотооптическим датчиком в положении сидя в течение 5 мин регистрировали *частоту сердечных сокращений* (ЧСС), индекса напряжения Баевского, а также рассчитывали компоненты спектральной мощности *вегетативно-сосудистой регуляции* (ВСР). После выполнения стандартизированной динамической нагрузки (30 приседаний) регистрацию продолжали в течение 5 минут.

Обработку данных осуществляли при помощи традиционных статистических методов и методов ТХС, которые обеспечили расчет параметров *квазиаттрактора* (КА) поведения *вектора состояния системы* (ВСС) в *фазовом пространстве состояний* (ФПС). Для этих целей динамика кардиоинтервалов быстрым преобразованием Фурье представлялась в виде амплитудно-частотной развертки и строились фазовые плоскости, где в качестве функции $x_1 = x_1(t)$ использовались сами кардиоинтервалы, как функции времени t , а вторая фазовая координата $x_2 = x_2(t) = dx_1 / dt$ являлась скоростью изменения $x_1(t)$ [8].

Результаты и их обсуждение. Для сравнения полученных результатов в рамках стохастики была рассчитана качественная оценка хаотической динамики – получены значения энтропии Шеннона (табл. 1) и построены гистограммы распределения частот регистрируемых кардиоинтервалов NN (в msec), что представлено на рис. 1, 2.

Из полученных данных, представленных в табл. 1, наблюдалось увеличение по-

казателя площади квазиаттракторов кардиоинтервалов у нетренированного испытуемого после физической нагрузки (69 600 у.е.). Таким образом, площадь квазиаттракторов кардиоинтервалов у нетренированного испытуемого после выполненной нагрузки увеличилась в 1,7 раза.

Таблица 1

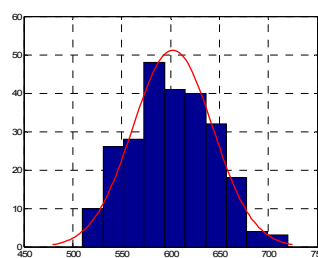
Значения энтропии Шеннона и площадей кардиоинтервалов испытуемых нетренированных и тренированных групп

| | Нетренированный испытуемый | | | Тренированный испытуемый | | |
|----------|----------------------------|----------------|----------|--------------------------|----------------|----------|
| | До нагрузки | После нагрузки | <i>p</i> | До нагрузки | После нагрузки | <i>p</i> |
| V_G | 39 900 | 69 600 | 0,036 | 54 600 | 36 800 | 0,094 |
| S_{sh} | 2,9219 | 3,3219 | 0,899 | 3,3219 | 3,3219 | 0,779 |

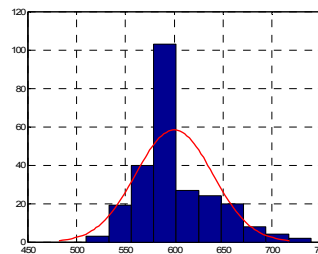
Примечание: V_G – площадь кардиоинтервалов, у.е.; S_{sh} – энтропия Шеннона, у.е.; *p* – достоверность значимых различий, по критерию Вилкоксона ($p > 0,05$)

Значение энтропии возрастает по сравнению со значениями, полученными в спокойном состоянии. У тренированного испытуемого, наоборот, после физической нагрузки площадь КА уменьшается в 1,5 раза, а значение энтропии остается без изменений по сравнению со значениями, полученными в спокойном состоянии, что свидетельствует о повышении уровня упорядоченности в режиме работы сердечного ритма. Видно, что оценки параметров хаоса по Шеннону и в рамках ТХС имеют разные величины.

Установлено, что у тренированных студентов отсутствуют полностью статистически значимые различия параметров КА кардиоинтервалов до и после физической нагрузки ($p > 0,05$). У нетренированных статистически значимые различия только по площади ($p = 0,036$).

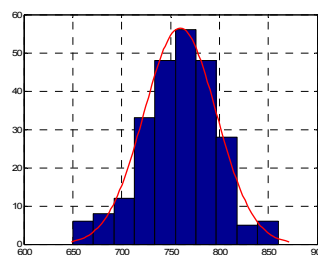


$X_I, \text{msec (I)}$

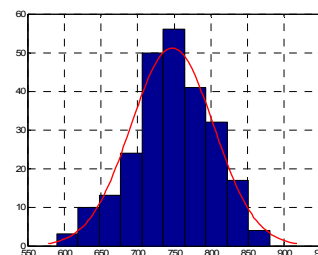


$X_I, \text{msec (II)}$

Рис. 1. Распределение значений кардиоинтервалов при расчете энтропии Шеннона: (I) тренированный испытуемый до физической нагрузки, (II) тренированный испытуемый после нагрузки



$X_I, \text{msec (I)}$



$X_I, \text{msec (II)}$

Рис. 2. Распределение значений кардиоинтервалов при расчете энтропии Шеннона: (I) нетренированный испытуемый до физической нагрузки, (II) нетренированный испытуемый после нагрузки

Для статистической оценки параметров хаоса в регистрируемых сигналах в качестве сравнения с ТХС рассчитывалась энтропия Шеннона. На рис. 2 представлены гистограммы распределений значений кар-

диоинтервалов нетренированного испытуемого, сформированные при расчете значений энтропии (значения энтропии и площади КА см. табл. 1).

Изменение значений энтропии Шеннона в полной мере согласуются с изменениями площади КА.

Заключение. Дозированная физическая нагрузка изменяет значения параметров ВСР, об этом свидетельствуют и изменения площади КА кардиоинтервалов и значения энтропии Шеннона. Значение энтропии Шеннона после физической нагрузки незначительно увеличивается, а площадь КА кардиоинтервалов существенно (в 2 раза). Имеется некоторая согласованность расчетов в рамках ТХС и энтропии Шеннона, но теория хаоса демонстрирует более существенные изменения КА.

Использование запатентованных методик показало, что мы можем определять параметры КА как для отдельных испытуемых, так и их групп и сравнивать их хаотическую динамику во времени или в фазовом пространстве состояний. Расчет параметров квазиаттракторов сердечно-сосудистой системы показывает индивидуальное различие по всем диагностическим параметрам, что позволяет объективно оценивать динамику резервных возможностей организма и их прогностическую значимость. Сравнительный анализ полученных значений энтропии Шеннона и площадей квазиаттракторов показывает, что количественная оценка площадей квазиаттракторов более показательна. Результаты исследования могут быть использованы как в медицинских исследованиях, так и в области спорта.

Литература

1. Анохин П.К. Кибернетика функциональных систем.– М., Медицина, 1998.– 285 с..

2. Гавриленко Т.В., Вохмина Ю.В., Даянова Д.Д., Берестин Д.К. Параметры квазиаттракторов в оценке стационарных режимов биологических динамических систем с позиций компартментно-кластерного подхода // Вестник новых медицинских технологий.– 2014.– Т. 21,

№ 1.– С. 134–137.

3. Гавриленко Т.В., Еськов В.М., Хадарцев А.А., Химикова О.И., Соколова А.А. Новые методы для геронтологии в прогнозах долгожительства коренного населения Югры // Успехи геронтологии. 2014.– Т. 27, № 1.– С. 30–37.

4. Даянова Д.Д., Гавриленко Т.В., Берестин Д.К., Химиков А.Е. Параметры квазиаттракторов сердечно-сосудистой системы в оценке воздействия малых доз алкоголя на человека // Системный анализ и управление в биомедицинских системах.– 2013.– Т. 12, № 3.– С. 683–688.

5. Еськов В.М., Логинов С.И., Бальсевич В.К. Кинезиологический потенциал человека: возможности управления с позиций теории хаоса и синергетики // Теория и практика физ. культуры.– 2010.– № 7.– С. 99–101

6. Еськов В.М., Еськов В.В., Козлова В.В., Филатов М.А. Способ корректировки лечебного или физкультурно-спортивного воздействия на организм человека в фазовом пространстве состояний с помощью матриц расстояний // патент на изобретение RUS 2432895 от 09.03.2010 г.

7. Еськов В.М., Еськов В.В., Филатова О.Е. Способ корректировки лечебного или лечебно-оздоровительного воздействия на пациента // патент на изобретение RUS 2433788 от 01.02.2010 г.

8. Еськов В.М., Козлова В.В., Голушков В.Н., Еськов В.В., Гизатулина Л.В. Сравнение параметров квазиаттракторов поведения вектора состояния организма тренированных и нетренированных студентов // Теория и практика физической культуры.– 2011.– № 10.– С. 92–95.

9. Еськов В.М., Добрынина И.Ю., Дрожжин Е.В., Живогляд Р.Н. Разработка и внедрение новых методов в теории хаоса и самоорганизации в медицину и здравоохранения // Северный регион: наука, образование, культура.– 2013.– Т. 27, № 1.– С. 150.

10. Еськов В.М., Королёв В.В., Хадарцев А.А., Фудин Н.А. Моделирование динамики движения вектора состояния

организма человека в условиях импульсной гипергравитационной физической нагрузки // Вестник новых медицинских технологий.– 2013.– Т. 20, №4.– С. 16–24.

11. Еськов В.М., Гавриленко Т.В., Вохмина Ю.В., Зимин М.И., Филатов М.А. Измерение хаотической динамики двух видов теппинга как произвольных движений

// Метрология.– 2014.– № 6.– С. 28–35.

12. Еськов В.М., Еськов В.В., Гавриленко Т.В., Вахмина Ю.В. Кинематика биосистем как эволюция: стационарные режимы и скорость движения сложных систем – complexity // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 3. Физ. Астрон.– 2015.– № 2.– С. 62–73.

13. Козлова В.В., Климов О.В., Майстренко Е.В., Умаров Э.Д. Корректировка лечебного или физкультурно-спортивного воздействия на организм человека в фазовом пространстве состояний с помощью матриц расстояний // Вестник новых медицинских технологий.– 2011.– Т. 18, № 3.– С. 333–334.

14. Литовченко О.Г., Апокин В.В., Семенова А.А., Нифонтова О.Л. Состояние сердечно-сосудистой системы студентов // Теория и практика физической культуры.– 2014.– № 9.– С. 90–93.

15. Нифонтова О.Л., Гудков А.Б., Щербаков А.Э. Характеристика параметров ритма сердца у детей коренного населения Ханты-Мансийского автономного округа // Экология человека.– 2007.– № 11.– С. 6–10.

16. Филатов М.А., Филатова Д.Ю., Поскина Т.Ю., Стрельцова Т.В. Методы теории хаоса-самоорганизации в психофизиологии // Сложность. Разум. Постнеклассика.– 2014.– № 1.– С. 17–33.

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

18. Хадарцев А.А., Несмеянов А.А., Еськов В.М., Кожемов А.А., Фудин Н.А. Принципы тренировки спортсменов на

основе теории хаоса и самоорганизации // Теория и практика физической культуры.– 2013.– №9.– С. 87–93.

19. Eskov V.M., Kulaev S.V., Popov Yu.M., Filatova O.E. Computer technologies in stability measurements on stationary states in dynamic biological systems // Measurement Techniques.– 2006.– Т. 49, № 1.– P. 59–65.

20. Eskov V.M., Eskov V.V., Gavrilenko T.V., Zimin M.I. Uncertainty in quantum mechanics and biophysics of complex systems // Moscow University Physics Bulletin.– 2014.– 5.– P. 41–46.

References

1. Anokhin PK. Kibernetika funktsional'nykh sistem. Moscow: Meditsina; 1998. Russian.

2. Gavrilenko TV, Vokhmina YuV, Dayanova DD, Berestin DK. Parametry kvaziatraktorov v otsenke statsionarnykh rezhimov biologicheskikh dinamicheskikh sistem s pozitsiy kompartmentno-klasternogo podkhoda. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii. 2014;21(1):134-7. Russian.

3. Gavrilenko TV, Es'kov VM, Khadartsev AA, Khimikova OI, Sokolova AA. Novye metody dlya gerontologii v prognozakh dolgozhitel'stva korennoho naseleniya Yugry. Uspekhi gerontologii. 2014;27(1):30-7. Russian.

4. Dayanova DD, Gavrilenko TV, Berestin DK, Khimikov AE. Parametry kvaziatraktorov serdechno-sosudistoy sistemy v otsenke vozdeystviya malykh doz alkogolya na cheloveka. Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh. 2013;12(3):683-8. Russian.

5. Es'kov VM, Loginov SI, Bal'se-vich VK. Kineziologicheskiy potentsial cheloveka: vozmozhnosti upravleniya s pozitsiy teorii khaosa i sinergetiki. Teoriya i praktika fiz. kul'tury. 2010;7:99-101. Russian.

6. Es'kov VM, Es'kov VV, Kozlova VV, Filatov MA, inventors; Sposob korrektsionnoy lecheniya ili fizkul'turno-sportivnogo vozdeystviya na organizm cheloveka v fazovom prostranstve sostoyaniy s pomoshch'yu matrits rasstoyaniy. Russian

Federation RU 2432895. 2010. Russian.

7. Es'kov VM, Es'kov VV, Filato-va OE, inventors; Sposob korrek-tirovki lechebnogo ili lechebno-ozdorovitel'nogo vozdeystviya na patsienta. Russian Federation patent RU 2433788. 2010. Russian.

8. Es'kov VM, Kozlova VV, Golushkov VN, Es'kov VV, Gizatulina LV. Sravnenie parametrov kvaziattraktorov povedeniya vektora sostoyaniya organizma trenirovannykh i netrenirovannykh studentov. Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury. 2011;10:92-5. Russian.

9. Es'kov VM, Dobrynina IYu, Drozhzhin EV, Zhivoglyad RN. Razrabotka i vnedrenie novykh metodov v teorii khaosa i samoorganizatsii v meditsinu i zdravo-okhraneniya. Severnyy region: nauka, obrazovanie, kul'tura. 2013;27(1):150. Russian.

10. Es'kov VM, Korolev VV, Khadar-tsev AA, Fudin NA. Modelirovanie dinamiki dvizheniya vektora sostoyaniya organizma cheloveka v usloviyakh impul'snoy gipergravitatsionnoy fizicheskoy nagruzki. Vestnik novykh meditsinskih tekhnologiy. 2013;20(4):16-24. Russian.

11. Es'kov VM, Gavrilenko TV, Vokhmina YuV, Zimin MI, Filatov MA. Izmerenie khaoticheskoy dinamiki dvukh vidov teppinga kak proizvol'nykh dvizheniy. Metrologiya. 2014;6:28-35. Russian.

12. Es'kov VM, Es'kov VV, Gavrilenko TV, Vakhmina YuV. Kinematika biosistem kak evolyutsiya: statsionarnye rezhimy i skorost' dvizheniya slozhnykh sistem – complexity. Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 3. Fiz. Astron. 2015;2:62-73. Russian.

13. Kozlova VV, Klimov OV, Maystrenko EV, Umarov ED. Korrek-tirovka lechebnogo ili fizkul'turno-sportivnogo vozdeystviya na organizm cheloveka v fazo-vom prostranstve sostoyaniy s pomoshch'yu ma-

trits rasstoyaniy. Vestnik novykh meditsinskih tekhnologiy. 2011;18(3):333-4. Russian.

14. Litovchenko OG, Apokin VV, Semanova AA, Nifontova OL. Sostoyanie serdechno-sosudistoy sistemy studentov. Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury. 2014;9:90-3. Russian.

15. Nifontova OL, Gudkov AB, Shcherbakov AE. Kharakteristika parametrov ritma serdtsa u detey korennoy naseleniya Khanty-Mansiyskogo avtonomnogo okruga. Ekologiya cheloveka. 2007;11:6-10. Russian.

16. Filatov MA, Filatova DYU, Poshkina TYU, Strel'tsova TV. Metody teorii khaosa-samoorganizatsii v psikhofiziologii. Slozhnost'. Razum. Postneklassika. 2014;1:17-33. Russian.

17. Filatova OE, Es'kov VV, Gavrilenko TV, Khimikova OI. Prognozirovanie dolgozhitel'stva u Rossiyskoy narodnosti khanty po khaoticheskoy dinamike parametrov serdechno-sosudistoy sistemy. Ekologiya cheloveka. 2014;11:3-8. Russian.

18. Khadartsev AA, Nesmeyanov AA, Es'kov VM, Kozhemov AA, Fudin NA. Printsipy trenirovki sportsmenov na os-nove teorii khaosa i samoorganizatsii. Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury. 2013;9:87-93. Russian.

19. Es'kov VM, Kulaev SV, Popov YuM, Filatova OE. Computer technologies in stability measurements on stationary states in dynamic biological systems. Measurement Techniques. 2006;49(1):59-65.

20. Es'kov VM, Es'kov VV, Gavrilenko TV, Zimin MI. Uncertainty in quantum mechanics and biophysics of complex systems. Moscow University Physics Bulletin. 2014;5:41-6.