

ХАОТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДИНАМИКИ
ТРЕМОРА В УСЛОВИЯХ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Ю.В. БАШКАТОВА, В.А. КАРПИН, А.А. ПАХОМОВ, Б.К. УМАРОВ

*Сургутский государственный университет, проспект Ленина, 1, г. Сургут, Россия, 628412,
тел.: +79224078761, e-mail: yuliya-bashkatova@yandex.ru*

Аннотация. На основе математической статистики и теории хаоса и самоорганизации изучалось поведение вектора состояния нервно-мышечной системы у групп тренированных и нетренированных студентов в ответ на дозированную физическую нагрузку. Прослеживается динамика увеличения показателей площади квазиаттракторов постурального тремора после нагрузки у студентов без физической подготовки. В результате проведенного исследования были показаны значительные изменения в динамике поведения параметров функциональных систем организма человека на основе гистограмм и энтропии Шеннона. Имеется некоторая согласованность расчетов в рамках теории хаоса и самоорганизации и энтропии Шеннона, но теория хаоса демонстрирует более существенные изменения квазиаттракторов. Показана практическая возможность применения методов теории хаоса-самоорганизации в оценке реакции нервно-мышечной системы человека на динамическую физическую нагрузку.

Ключевые слова: тремор, физические нагрузки, нервно-мышечная система, хаос, самоорганизация.

EVALUATION CHAOTIC PARAMETERS UNDER CARDIO EXERTION

YU.V. BASHKATOVA, V.A. KARPIN, A.A. PAKHOMOV, B.K. UMAROV

*Surgut State University, Lenina, 1, Surgut, Russia, 628412,
Phone: +79224078761, e-mail: yuliya-bashkatova@yandex.ru*

Abstract. On the basis of mathematical statistics and the theory of chaos and self-organization the behavior of a vector of a condition of neuromuscular system at groups of the students trained and unexercised in response to the dosed physical activity was studied. Dynamics of increase in indicators of the area of quasiattractors of a postural tremor after loading at students without physical preparation is traced. As a result of the conducted research considerable changes in dynamics of behavior of parameters of functional systems of a human body on the basis of histograms and Shannon's entropy were shown. There is some coherence of calculations within the theory of chaos and self-organization and Shannon's entropy, but the theory of chaos shows more essential changes of quasiattractors. Practical possibility of application of methods of the theory of chaos self-organization in an assessment of reaction of neuromuscular system of the person to dynamic physical activity is shown.

Key words: tremor, exercise, neuromuscular system, chaos, self-organization.

Введение. Изучение функционального состояния организма человека, а также степени физической подготовленности представляет особый интерес в рамках теории хаоса и самоорганизации, что позволяет прогнозировать их возможные изменения и получать важную информацию о текущей динамике исследуемых функций [1].

Исследования показывают, что именно нарушения в *нервно-мышечной* (НМС) и *сердечно-сосудистой* (ССС) систем и отражают наиболее ранние метаболические и гемодинамические сдвиги, являются фактором, предопределяющим характер изменений работоспособности и степень выраженности изменений в состоянии здоровья [2-4]. Дозированная физическая нагрузка может вызвать изменение в работающей мышце, но в организме в целом биохимические сдвиги будут незначительны [3-6]. При выполнении одинаковых дозированных физических нагрузок у нетренированного человека наблюдаются более низкие показатели ССС. У тренированного человека менее выражены функциональные изменения в частоте сердечных сокращений и дыхании [5-10].

Кратковременные воздействия физических дозированных нагрузок на организм человека направлены на самосохранение, а после освобождения организма от физических дозированных нагрузок происходит восстановление гомеостаза. Выносливость к физическим нагрузкам определяется как состоянием вегетативных функций, обеспечивающих необходимый кислородный режим организма, так и функциональным состоянием нервно-мышечного аппарата. Поэтому изучение вегетативных и моторных функций под влиянием дозированной физической нагрузки, является необходимым условием для выявления степени физической работоспособности, тренированности и текущего функционального состояния спортсмена [9-11]. Фи-

Библиографическая ссылка:

Башкатова Ю.В., Карпин В.А., Пахомов А.А., Умаров Б.К. Хаотическая оценка динамики тремора в условиях физической нагрузки // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015. №3. Публикация 1-5. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-3/5247.pdf> (дата обращения: 28.09.2015). DOI: 10.12737/13372

зическая дозированная нагрузка в процессе тренировок имеет особое значение. Появляется возможность управления чувствительностью и устойчивостью организма к физическим нагрузкам [12-15].

Цель исследования – оценка динамики поведения функциональных систем организма у групп тренированных и нетренированных студентов в ответ на дозированную физическую нагрузку с позиций теории хаоса и самоорганизации.

Объекты 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).

Регистрация параметров тремора осуществлялась с помощью биофизического измерительного комплекса, разработанного в лаборатории биокибернетики и биофизики сложных систем при СурГУ. Установка включает металлическую пластинку (крепится жестко к пальцу испытуемого), токовихревой датчик, усилитель, *аналого-цифровой преобразователь* (АЦП) и компьютер с оригинальным программным обеспечением. В качестве фазовых координат, помимо координаты $x_1=x(t)$ перемещения, использовалась координата скорости перемещения пальца $x_2=v(t)=dx_1/dt$. Каждый испытуемый проходил испытание 2 раза: в покое и после выполнения динамической нагрузки. Перед испытуемым стояла задача удерживать палец в пределах заданной области, осознанно контролируя его неподвижность. Обработка данных и регистрация тремора конечности испытуемого проводилась на ЭВМ с использованием программы «Charts3». С помощью этой программы осуществлялся анализ данных по временным и спектральным характеристикам кинематограмм у тренированных и нетренированных испытуемых, в низко-, средне- и высокочастотном диапазонах [4-5].

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

Таблица

Значения энтропии Шеннона и площадей квазиаттракторов постурального тремора испытуемых нетренированных и тренированных групп

	Нетренированный испытуемый			Тренированный испытуемый		
	До нагрузки	После нагрузки	p	До нагрузки	После нагрузки	p
$S_{KA} \cdot 10^{-6}$	0,241	0,499	0,000003	0,159	0,263	0,749
S_{Sh}	3,578	3,625	0,893	3,500	3,578	0,933

Примечание: S_{KA} – площадь постурального тремора, у.е.; S_{Sh} – энтропия Шеннона, у.е.; p – достоверность значимых различий, по критерию Вилкоксона ($p>0,05$)

Из полученных данных, представленных в таблице, наблюдалось увеличение показателя площади квазиаттракторов (КА) постурального тремора у нетренированного испытуемого после физической нагрузки ($0,499 \cdot 10^{-6}$ у.е.). Таким образом, площадь КА постурального тремора у нетренированного испытуемого после выполненной нагрузки увеличилась почти в 2 раза. Значение энтропии возрастает незначительно по сравнению со значениями, полученными в спокойном состоянии. У тренированного испытуемого, наоборот, после физической нагрузки значение энтропии и площадь КА возрастает незначительно по сравнению со значениями, полученными в спокойном состоянии, что свидетельствует об общем повышении уровня упорядоченности в режиме работы нервно-мышечной системы. Видно, что оценки параметров хаоса по Шеннону и в рамках ТХС имеют разные величины.

В целом, установлено, что у тренированных студентов отсутствуют полностью статистически значимые различия параметров КА постурального тремора до и после физической нагрузки ($p>0,05$). У нетренированных статистически значимые различия только по площади ($p=0,000003$).

Динамика изменения энтропии Шеннона для двух групп испытуемых демонстрирует непараметрическое распределение энтропии для групп нетренированных и тренированных испытуемых. Более того, различие среднего значения энтропии до и после дозированной нагрузки весьма незначительно как

Библиографическая ссылка:

Башкатова Ю.В., Карпин В.А., Пахомов А.А., Умаров Б.К. Хаотическая оценка динамики тремора в условиях физической нагрузки // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015. №3. Публикация 1-5. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-3/5247.pdf> (дата обращения: 28.09.2015). DOI: 10.12737/ 13372

для нетренированных, так и для тренированных испытуемых. Это говорит о слабой чувствительности метода расчета энтропии.

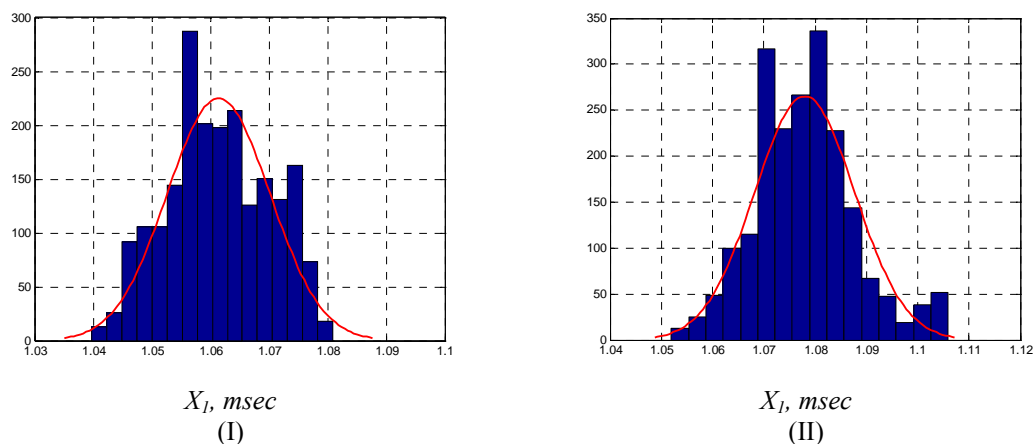


Рис. 1. Распределение значений параметров тремора при расчете энтропии Шеннона: (I) тренированный испытуемый до физической нагрузки, (II) тренированный испытуемый после нагрузки

Для статистической оценки параметров хаоса в регистрируемых сигналах в качестве сравнения с ТХС рассчитывалась энтропия Шеннона. На рис. 2 представлены гистограммы распределений значений параметров постурального тремора нетренированного испытуемого, сформированные при расчете значений энтропии (значения энтропии и площади КА см. табл.). Изменение значений энтропии Шеннона в полной мере согласуются с изменениями площади КА.

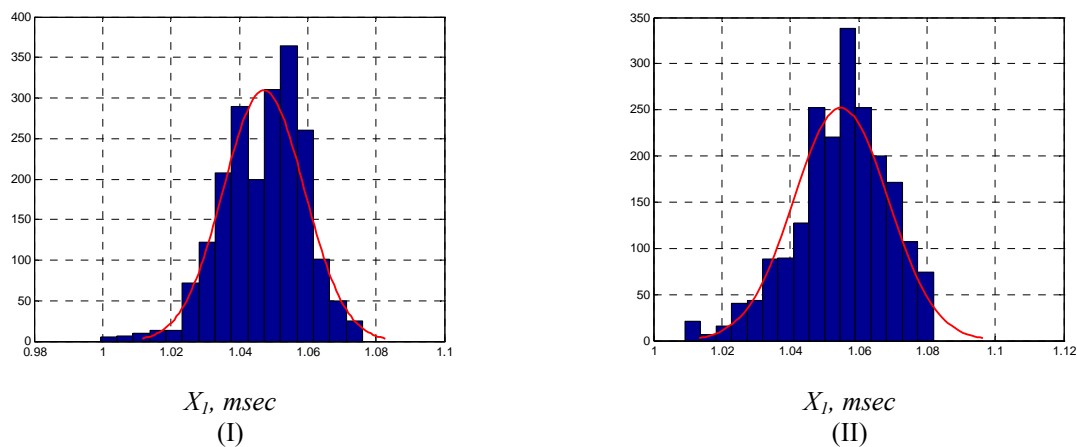


Рис. 2. Распределение значений параметров тремора при расчете энтропии Шеннона: (I) нетренированный испытуемый до физической нагрузки, (II) нетренированный испытуемый после нагрузки

Заключение. Изучение функционального состояния организма человека при выполнении физических дозированных нагрузок имеют первостепенное значение для специалистов в области физической культуры и спорта [11]. Такая информация также важна и для спортсменов с целью проведения самоконтроля в динамике физического совершенствования [14]. Дозированная физическая нагрузка изменяет значения параметров НМС, об этом свидетельствуют и изменения площади квазиаттракторов тремора и значения энтропии Шеннона. Значение энтропии Шеннона после физической нагрузки незначительно увеличивается, а площадь КА тремора нетренированных испытуемых существенно (в 2 раза). Расчет параметров квазиаттракторов постурального тремора показывает индивидуальное различие, что позволяет объективно оценивать динамику резервных возможностей организма и их прогностическую значимость. Сравнительный анализ полученных значений энтропии Шеннона и площадей КА тремора показывает, что количественная оценка их площадей более показательна. Результаты исследования могут быть использованы как в медицинских исследованиях, так и в области спорта.

Библиографическая ссылка:

Башкатова Ю.В., Карпин В.А., Пахомов А.А., Умаров Б.К. Хаотическая оценка динамики тремора в условиях физической нагрузки // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015. №3. Публикация 1-5. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-3/5247.pdf> (дата обращения: 28.09.2015). DOI: 10.12737/ 13372

Литература

1. Анохин П.К. Кибернетика функциональных систем. М.: Медицина, 1998. 285 с.
2. Гараева Г.Р., Еськов В.М., Еськов В.В., Гудков А.Б., Филатова О.Е., Химикина О.И. Хаотическая динамика кардиоинтервалов трёх возрастных групп представителей коренного населения Югры // Экология человека. 2015. № 09. С. 50–55.
3. Еськов В.М., Филатова О.Е., Фудин Н.А., Хадарцев А.А. Проблема выбора оптимальных математических моделей в теории идентификации биологических динамических систем // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2004. Т. 3, № 2. С. 150–152.
4. 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.
5. 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.
6. Еськов В.М., Еськов В.В., Филатова О.Е. Особенности измерений и моделирования биосистем в фазовых пространствах состояний // Измерительная техника. 2010. № 12. С. 53–57.
7. Еськов В.В., Еськов В.М., Карпин В.А., Филатов М.А. Синергетика как третья парадигма, или понятие парадигмы в философии и науке // Философия науки. 2011. № 4 (51). С. 126–128.
8. Еськов В.В., Филатова О.Е., 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.
9. Еськов В.М., Еськов В.В., Гавриленко Т.В., Зимин М.И. Неопределенность в квантовой механике и биофизике сложных систем // Вестник Московского университета. Серия 3: Физика. Астрономия. 2014. № 5. С. 41–46.
10. Еськов В.В., Филатова О.Е., 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.
11. Еськов В.М., Еськов В.В., Гавриленко Т.В., Вохмина Ю.В. Кинематика биосистем как эволюция: стационарные режимы и скорость движения сложных систем - complexity // Вестник Московского университета. Серия 3: Физика. Астрономия. 2015. № 2. С. 62–73.
12. Eskov V.M., Eskov V.V., Filatova O.E. Medical and biological measurements: characteristic features of measurements and modeling for biosystems in phase spaces of states // Measurement Techniques. 2011. Vol. 53 (2). P. 1404–1410.
13. Eskov V.M., Gavrilenko T.V., Kozlova V.V., Filatov M.A. Measurement of the dynamic parameters of microchaos in the behavior of living biosystems // Measurement Techniques. 2012. Vol. 55 (9). P. 1096–1101.
14. Eskov V.M., Khadartsev A.A., Eskov V.V., Filatova O.E., Filatova D.U. Chaotic approach in biomedicine: individualized medical treatment // Journal of Biomedical Science and Engineering. 2013. T. 6. C. 847.
15. Eskov V.M., Gavrilenko T.V., Vokhmina Y.V., Zimin M.I., Filatov M.A. Measurement of Chaotic Dynamics for Two Types of Tapping as Voluntary Movements // Measurement Techniques. 2014. Vol. 57 (6). P. 720–724.

References

1. Anokhin PK. Kibernetika funktsional'nykh sistem. Moscow: Meditsina; 1998. Russian.
2. Garaeva GR, Es'kov VM, Es'kov VV, Gudkov AB, Filatova OE, Khimikova OI. Khaoticheskaya dinamika kardiointervalov trekh vozrastnykh grupp predstaviteley korennoho naseleniya Yugry. Ekologiya cheloveka. 2015;09:50-5. Russian.
3. Es'kov VM, Filatova OE, Fudin NA, Khadartsev AA. Problema vybora optimal'nykh matematicheskikh modeley v teorii identifikatsii biologicheskikh dinamicheskikh sistem. Sistemnyy analiz i upravlenie v biomeditsinskikh sistemakh. 2004;3(2):150-2. Russian.
4. Es'kov VM, Es'kov VV, Filatova OE, inventors; Sposob korrektyrovki lechebnogo ili lechebno-ozdorovitel'nogo vozdeystviya na patsienta. Russian Federation patent RU 2433788. 2010. Russian.
5. Es'kov VM, Es'kov VV, Kozlova VV, Filatov MA, inventors; Sposob korrektyrovki lechebnogo ili fizkul'turno-sportivnogo vozdeystviya na organizm cheloveka v fazovom prostranstve sostoyaniy s pomoshch'yu matrits rasstoyaniy. Russian Federation patent RU 2432895. 2010. Russian.
6. Es'kov VM, Es'kov VV, Filatova OE. Osobennosti izmereniy i modelirovaniya biosistem v fazovykh prostranstvakh sostoyaniy. Izmeritel'naya tekhnika. 2010;12:53-7. Russian.
7. Es'kov VV, Es'kov VM, Karpin VA, Filatov MA. Sinergetika kak tret'ya paradigma, ili po-nyatie paradigmy v filosofii i nauke. Filosofiya nauki. 2011;4(51):126-8. Russian.

Библиографическая ссылка:

Башкатова Ю.В., Карпин В.А., Пахомов А.А., Умаров Б.К. Хаотическая оценка динамики тремора в условиях физической нагрузки // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015. №3. Публикация 1-5. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-3/5247.pdf> (дата обращения: 28.09.2015). DOI: 10.12737/13372

8. Es'kov VV, Filatova OE, 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.

9. Es'kov VM, Es'kov VV, Gavrilenko TV, Zimin MI. Neopredelennost' v kvantovoy mekhanike i biofizike slozhnykh sistem. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 3: Fizika. Astronomiya*. 2014;5:41-6. Russian.

10. Es'kov VV, Filatova OE, 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.

11. Es'kov VM, Es'kov VV, Gavrilenko TV, Vokhmina YuV. Kinematika biosistem kak evolyutsiya: statsionarnye rezhimy i skorost' dvizheniya slozhnykh sistem – complexity. *Vestnik Moskovskogo uni-versiteta. Seriya 3: Fizika. Astronomiya*. 2015;2:62-73. Russian.

12. Eskov VM, Eskov VV, Filatova OE. Medical and biological measurements: characteristic features of measurements and modeling for biosystems in phase spaces of states. *Measurement Techniques*. 2011;53(2):1404-10.

13. Eskov VM, Gavrilenko TV, Kozlova VV, Filatov MA. Measurement of the dynamic parameters of microchaos in the behavior of living biosystems. *Measurement Techniques*. 2012;55(9):1096-101.

14. Eskov VM, Khadartsev AA, Eskov VV, Filatova OE, Filatova DU. Chaotic approach in biomedicine: individualized medical treatment. *Journal of Biomedical Science and Engineering*. 2013;6:847.

15. Eskov VM, Gavrilenko TV, Vokhmina YV, Zimin MI, Filatov MA. Measurement of Chaotic Dynamics for Two Types of Tapping as Voluntary Movements. *Measurement Techniques*. 2014;57(6):720-4.

Библиографическая ссылка:

Башкатова Ю.В., Карпин В.А., Пахомов А.А., Умаров Б.К. Хаотическая оценка динамики тремора в условиях физической нагрузки // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2015. №3. Публикация 1-5. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-3/5247.pdf> (дата обращения: 28.09.2015). DOI: 10.12737/ 13372