

ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕППИНГА В ОТВЕТ
НА ЛОКАЛЬНЫЕ ГИПОТЕРМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ

Т.В. ГАВРИЛЕНКО, Д.А. ДЕГТЯРЕВ, А.Н. БУЛДИН, Л.Г. КЛЮС, Н.А. ЧЕРНИКОВ

ГБОУ ВПО «Сургутский государственный университет Ханты-Мансийского автономного округа – Югры»,
628412, Тюменская обл., ХМАО-Югра, г. Сургут, пр-т Ленина, 1, Тел.: +7 922 6545788,
e-mail: taras.gavrilenko@gmail.com

Аннотация. В данной статье представлены методы анализа динамики произвольных движений (теппинга) пальцев рук человека, как реакция на локальные гипотермические воздействия, проявляющаяся в изменении значений параметров квазиаттракторов. В качестве основных методов исследования использованы детерминистско-стохастические методы и методы теории хаоса-самоорганизации для описания сложных биосистем. Представлен сравнительный анализ расчета параметров полученных результатов исследований. В частности, в рамках теории хаоса-самоорганизации представлены расчеты фазовых плоскостей и их площадей, в рамках детерминистско-стохастического подхода выполнен расчет энтропии Шеннона, расчеты направлены на оценку уровня хаоса в регистрируемом сигнале. Анализ регистрируемых параметров и оценка уровня хаотичности в регистрируемом сигнале нервно-мышечной системы показал, что после гипотермических нагрузок точность выполнения операций и координация движений падает. Степень влияния гипотермических нагрузок, оцениваемая методом фазовых плоскостей в рамках теории хаоса-самоорганизации, демонстрирует изменение состояния системы в сторону уменьшения степени variability произвольных движений дистального сегмента верхней конечности человека. Показана высокая эффективность применения методов теории хаоса-самоорганизации в оценке состояния нервно-мышечной системы человека. Полученные результаты позволяют определять уровень способности выполнения заданных операций под воздействием низких температур.

Ключевые слова: произвольные движения, теппинг, квазиаттрактор, теория хаоса-самоорганизации.

DYNAMICS OF CHANGE TAPPING PARAMETERS AS A RESPONSE TO LOCAL HYPOTHERMIC
INFLUENCES

T.V. GAVRILENKO, D.A. DEGTYAREV, A.N. BULDIN, L.G. KLYUS, N.A. CHERNIKOV

Surgut State University
Phone: +7 922 6545788, e-mail: taras.gavrilenko@gmail.com

Abstract. This paper presents the methods of analysis of the dynamics of voluntary movements (tapping) of human fingers, as a reaction to local hypothermic effect, which manifests itself in the change of parameter values quasi-attractors. The main research methods used deterministic and stochastic methods and techniques of chaos theory, to describe the self-organization of complex biological systems. A comparative analysis of the calculation of the parameters of the results of research. In particular, in the framework of the theory of chaos, self-organization provides estimates of the phase planes and space, in the deterministic-stochastic approach, a calculation of the Shannon entropy, calculations, aimed at assessing the level of chaos in the recorded signal. Analysis of the recorded parameters and the assessment of the level of chaos in the recorded signal of the neuromuscular system showed that after hypothermic stresses accuracy of operations and coordination of movements decreases. The influence hypothermic load, estimated by the phase planes in the framework of the theory of chaos, self-organization, shows the change of the system in the direction of decreasing the degree of variability of voluntary movements of the distal segment of the upper extremity of man. The high efficiency of the application of the theory of chaos in self-assessment of the neuromuscular system of the person. The obtained results allow us to determine the level of ability to perform specified operations under the influence of low temperatures.

Key words: voluntary movements, tapping, quasiattractor, theory of chaos-selforganization.

Двигательная функция – одна из наиболее важных функций организма человека. В ходе эволюции организм человека как открытая, но относительно обособленная биологическая система приобрел способность к активным движениям благодаря наличию эффективных механизмов обмена энергией с окружающей средой. Характер и закономерности организации этих движений во многом определяют те проявления жизнедеятельности его организма, которые принято объединять под общим понятием – двигательная функция человека [1-3].

В процессе жизнедеятельности человек подвергается воздействию различных экологических факторов, способных в определённых условиях наносить ущерб здоровью человека напрямую или косвенно.

Одним из важнейших экофакторов является температура воздуха окружающей среды. В условиях крайнего Севера, чей суровый климат характеризуется продолжительной зимой с сильными ветрами и метелями, человек регулярно испытывает существенные гипотермические воздействия [3-5].

Влияние низкой температуры окружающей среды приводит к напряжению системы терморегуляции, наблюдается переохлаждение (гипотермия). В поддержании постоянства температуры тела активное участие принимает высшая нервная система. С углублением гипотермии угнетается и высшая нервная деятельность, а это еще больше уменьшает температуру тела. В состоянии гипотермии снижается чувствительность нервных клеток к недостатку кислорода, при дальнейшем понижении температуры, ослабляется обмен веществ, уменьшается потребность в кислороде, что может привести в конце концов к летальному исходу [6-7]. Наибольшую опасность это представляет для людей, чья трудовая деятельность связана с выполнением определенных работ на открытом воздухе [3-5].

В этой связи очень важно определить двигательные способности человека по выполнению каких-либо видов работ на открытом воздухе под воздействием низких температур. Особо значимы такие исследования для сотрудников организаций, чья сфера деятельности связана с точностью координации движений.

Цель исследования – выявление закономерностей изменения параметров произвольных движений человека в условиях низкотемпературных воздействий методами теории хаоса-самоорганизации.

Объекты и методы исследования. В рамках детерминистско-стохастических и новых подходов теории хаоса-самоорганизации в настоящей работе получены результаты мониторингового обследования параметров произвольных микродвижений конечностей (пальцев рук) человека испытуемых под гипотермическим воздействием. Устройство обеспечивавшее регистрацию параметров теппинга представлено на *рис.1*. Сигнал от датчика (1) – поверхность сенсора (фиксирует координату x_1 , тестовой пластинки (2), которая жестко прикрепляется к конечности), подается через аналогово-цифровой преобразователь (3) в ЭВМ (4) с программным обеспечением, которое рассчитывает вторую координату $x_2 = dy/dt$ и строит фазовую плоскость, а также рассчитывает объем квазиаттрактора, внутри которого наблюдается движение $x = x(t) = (x_1, x_2)^T$.

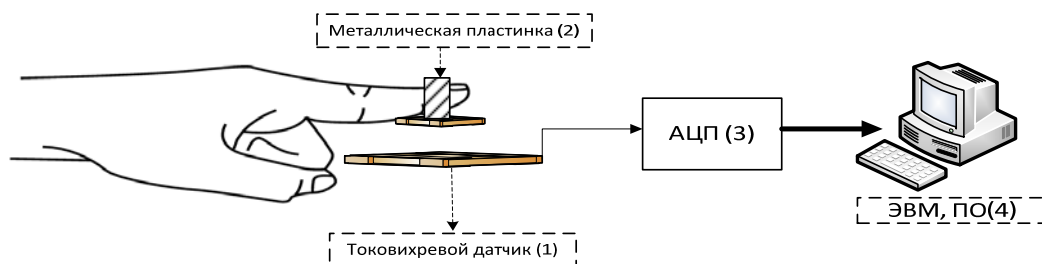


Рис.1. Схема биоизмерительного комплекса регистрации тремора и теппинга

Объектом для наблюдения стали 67 студентов (37 девушек и 30 юношей), обучающихся на 1-5 курсах ГБОУ ВПО «Сургутский государственный университет ХМАО-Югры». Работа выполнялась в рамках плана научных исследований лаборатории «Функциональные системы организма человека на Севере» и темы НИОКР «Исследование поведения функциональных систем организма человека на Севере РФ методами многомерных фазовых пространств состояний». Критерии включения: возраст студентов 18-22 года; отсутствие жалоб на состояние здоровья в период проведения обследований; наличие информированного согласия на участие в исследовании. Критерии исключения: болезнь студента в период обследования.

Результаты и их обсуждение. Исследования проводились по следующему плану:

1. Фиксировались параметры теппинга испытуемых без каких-либо внешних воздействий.
2. Фиксировались параметры теппинга при гипотермическом воздействии на конечность испытуемого.

Эксперимент проводился следующим образом: без внешнего воздействия на конечность испытуемого и под гипотермическим воздействием испытуемым необходимо было выполнить теппинг-тест. В результате исследований были установлены ряд закономерностей в рамках теории хаоса-самоорганизации, которые позволяют анализировать состояние испытуемых и определять уровень способности выполнения заданных операций под воздействием низких температур.

Каждый испытуемый проходил эксперимент дважды: в расслабленном состоянии без какого-либо воздействия и с гипотермическим воздействием. Конечность испытуемого помещалась в емкость с холодной водой при $t = 0 - (-1) ^\circ\text{C}$. В ходе проведения эксперимента у испытуемых отмечалась общая тенденция в сторону уменьшения параметров произвольных микродвижений. Частота ритма соответствовала частоте колебаний дистального сегмента верхней конечности обследуемого.

Для визуальной оценки интенсивности дрейфа в пространстве с помощью ЭВМ строилась временная развертка сигнала (*рис.2-А.*) и амплитудно-частотная характеристика (АЧХ, *рис.2-В.*), позволяющая оценить амплитуду колебания в низко-, средне- и высокочастотном диапазонах. Каждый вектор перемещения образует фазовую плоскость, описывающую динамику поведения вектора состояния системы. В качестве фазовых координат, помимо координат перемещения, использовалась координата скорости перемещения пальца.

При сравнении теппинга без внешних воздействий (рис.2-I) и теппинга в состоянии гипотермии конечности (рис.2-II) можно видеть значительные изменения в исходном регистрируемом сигнале и амплитудно-частотных характеристиках.

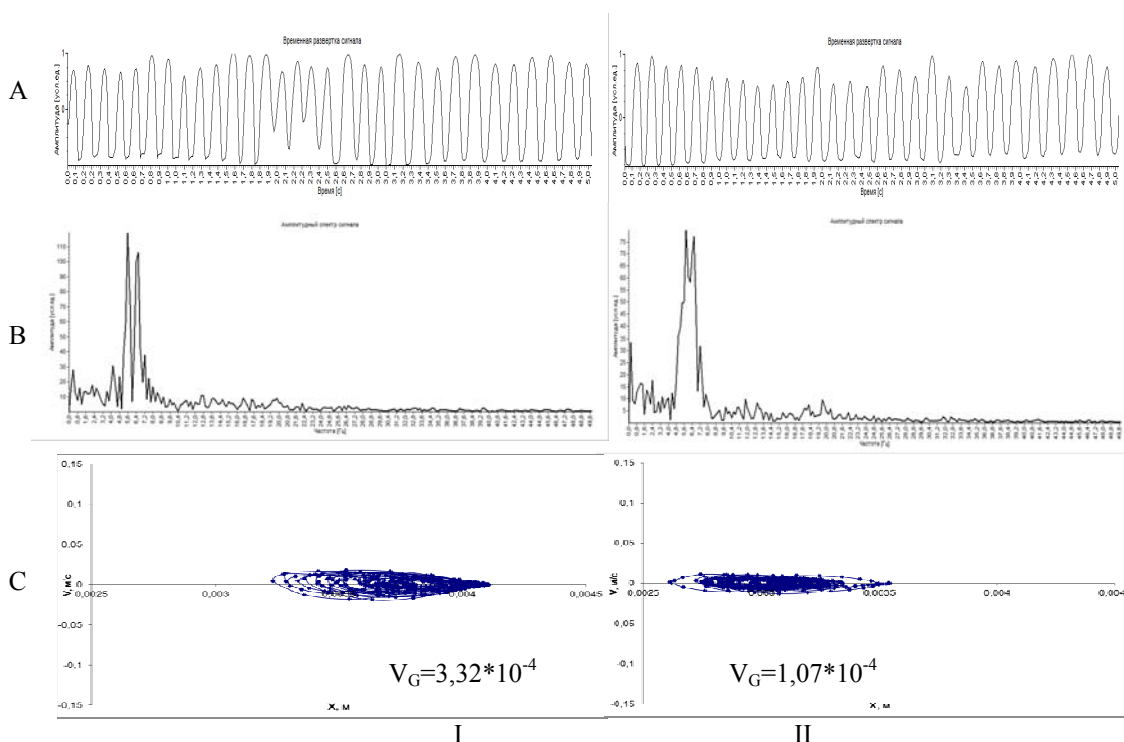


Рис.2. А – регистрируемый сигнал; В – АЧХ; С – фазовая плоскость вектора с координатами x_1, x_2 , где $x_1 = x(t)$ и $x_2 = v = dx_1/dt$ для теппинг-теста испытуемого S: I – до термического воздействия; II – после локального гипотермического воздействия

В процессе изучения амплитудно-частотных характеристик выявлено значительное снижение максимальных значений амплитуд колебания после гипотермического воздействия (особенно в области 5-7 Гц), что свидетельствует о значительном воздействии на нервно-мышечную систему и снижение возможностей человека по управлению конечностью в заданных пространственных координатах.

Максимальные значения амплитуд колебаний для испытуемого S представлены в табл. 1

Таблица 1

Максимальные значения амплитуд колебаний и соответствующая им частота

	Амплитуда	Частота
До гипотермического воздействия	120	6 Гц
После гипотермического воздействия	80	6 Гц

По полученным кинематограммам были построены фазовые плоскости координатах x_1 (абсолютное перемещение пальца) и $x_2 = dx_1/dt$ (скорость перемещения пальца). На рис.2-С представлены фазовые плоскости до и после гипотермического воздействия.

Численные значения объемов квазиаттракторов (табл. 2) до и после гипотермического воздействия существенно отличаются друг от друга. В частности, площадь квазиаттрактора после гипотермического воздействия уменьшилась в 3 раза. Подобная динамика наблюдалась у подавляющего большинства испытуемых (54 человека).

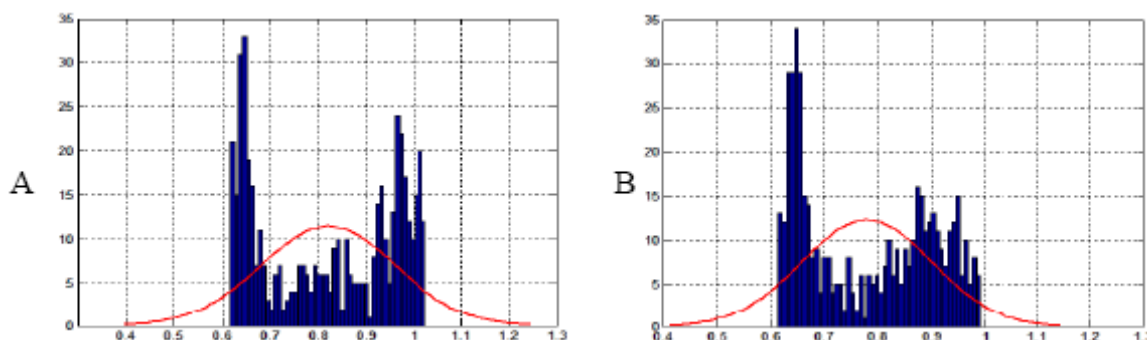


Рис.3. Гистограммы расчета энтропии Шеннона испытуемого S: А – до внешнего воздействия; В – после гипотермического воздействия

В табл.2 представлены результаты расчета значений энтропии Шеннона, а также значения объемов квазиаттракторов до и после локального гипотермического воздействия. Из таблицы видно, что значение энтропии Шеннона и площади квазиаттракторов после гипотермического воздействия существенно уменьшаются. Наблюдаемая рефлекторная реакция на гипотермическое воздействие приводит к сокращению уровня хаоса в параметрах теппинга, точность выполнения операций и координация движений падает.

Таблица 2

Значения энтропии Шеннона и площадей квазиаттракторов до и после гипотермического воздействия

	до воздействия	после гипотермического воздействия
энтропия Шеннона	3,41	3,09
объем квазиаттрактора	$3,32 \cdot 10^{-4}$	$1,07 \cdot 10^{-4}$

Необходимо отметить, что изменение значений энтропии и объемов квазиаттракторов в полной мере согласуются друг с другом.

Заключение. Анализ регистрируемых параметров нервно-мышечной системы показал, что после гипотермических нагрузок точность выполнения операций и координация движений падает. Степень влияния гипотермических нагрузок, оцениваемая методом фазовых плоскостей в рамках теории хаоса-самоорганизации, демонстрирует изменение состояния системы в сторону уменьшения степени variability произвольных движений дистального сегмента верхней конечности человека. В состоянии гипотермии амплитудные значения сигнала на всем диапазоне частот уменьшаются

Значение энтропии Шеннона уменьшается, площадь квазиаттрактора после гипотермического воздействия уменьшается более существенно (в 3 раза). Такая динамика демонстрирует численное уменьшение степени хаотичности в поведении исследуемой биомеханической системы.

Аналогичные результаты были получены при исследовании произвольных микродвижений конечности человека (тремора) [3,5]. Таким образом, предлагаемый метод фазовых плоскостей на основе определения значений объемов квазиаттракторов, позволяет дать оценку степени влияния гипотермических нагрузок на организм человека и определить уровень возможностей выполнения человеком каких-либо видов работ под воздействием низких температур.

Литература

1. Модели сложных систем с позиций физики и теории хаоса-самоорганизации/ Ю.В. Вахмина [и др.] // Сложность. Разум. Постнеклассика.– 2013.– №1.– С.51–59.
2. Гавриленко, Т.В. Хаотическая динамика произвольных движений конечности человека в 4-мерном фазовом пространстве / Т.В. Гавриленко, А.А. Балтикова, Д.А. Дегтярев // Сложность. Разум. Постнеклассика.– 2012.– №1.– С.86–94.
3. Динамика квазиаттракторов параметров произвольных микродвижений конечностей человека как реакция на локальные термические воздействия / В.М. Еськов [и др.] // Вестник новых медицинских технологий.– 2012.– Т.19.– № 4.– С. 26–29.
4. Основы биоинформационного анализа динамики микрохаотического поведения биосистем / В.М. Еськов [и др.] // Вестник новых медицинских технологий.– 2012.– Т.19.– №1.– С.15–18.
5. Произвольность и непроизвольность в организации теппинга с позиций теории хаоса-самоорганизации / В.М. Еськов [и др.] // Сложность. Разум. Постнеклассика.– 2013.– №1.– С.60–67.

6. Метод матриц межаттракторных расстояний в идентификации психофизиологических функций человека / М.А. Филатов [и др.] // Сложность. Разум. Постнеклассика.– 2012.– №1.– С. 20–24.
7. Неопределенность и непредсказуемость – базовые свойства систем в биомедицине / М.А. Филатов [и др.] // Сложность. Разум. Постнеклассика.– 2013.– №1.– С. 68–83.