

ЭФФЕКТ ЕСЬКОВА-ЗИНЧЕНКОВ УСЛОВИЯХЛОКАЛЬНОГО ХОЛОДОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

МИРОШНИЧЕНКО И.В.¹, БАЖЕНОВА А.Е.², БЕЛОЩЕНКО Д.В.², ПОТЕТЮРИНА Е.С.²

¹ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», Оренбургская область, ул. Советская, 6.2, Оренбург, 460014, Россия

²БУ ВО Ханты-Мансийского автономного округа – Югры «Сургутский государственный университет», ул. Ленина, 1, Сургут, 628400, Россия

В работе изучается влияние кратковременного локального холодного воздействия на параметры нервно-мышечной системы организма человека, а именно тремора, у группы испытуемых в осенний период года. Показано непрерывное хаотическое изменение, статистических функций распределения параметров движений человека, на примере амплитудно-частотных характеристик треморограмм. Были получены статистически значимые различия параметров треморограмм без какого либо воздействия и с локальным холодовым воздействием, причем в связанных выборках (в эксперименте участвовали одни и те же люди).

Ключевые слова: тремор, локальное холодное воздействие, теория хаоса-самоорганизации, адаптация, эффект Еськова-Зинченко.

ESKOV-ZINCHENKO EFFECT IN LOCAL COLD EXPOSURE

MIROSHNICHENKO I.V.¹, BAZHENOVA A.E.², BELOSHCHENKO D.V.², POTETYURINA E.S.²

¹Orenburg State University, Orenburg region, Sovetskaya St., 6.2, Orenburg, 460014, Russia

²Surgut state University, Lenin pr., 1, Surgut, 628400, Russia

The paper examines the impact of short-term local cold exposure on the parameters of the neuromuscular system of the human body, namely tremor, in groups of group of examinees during autumn period of year. It has been demonstrated the continuous chaotic change in statistical distribution functions of neuromuscular system parameters of person on the example of the amplitude-frequency characteristics of tremorogramms. Statistically significant differences were obtained in the frequency response parameters of tremorogramms without and with local cold exposure and associated samples (the experiment involved same people).

Key words: tremor, local cold exposure, theory of chaos and self-organization, adaptation, Eskov-Zinchenko effect.

Введение. Последние 40 лет ведутся активные исследования в области особых свойств живых систем, которые демонстрируют эффект Еськова-Зинченко. В этом случае подряд получаемые выборки любых параметров x_i , описывающих особые системы третьего типа – *complexity* не могут демонстрировать сохранение статистических функций распределения $f(x)$, т.е. произвольно получить $f_j(x_i)=f_{j+1}(x_i)$ невозможно. Одновременно не сохраняются спектральные плотности сигналов, автокорреляции, фрактальные размерности и т.д. для *complexity*, находящейся в неизменном гомеостазе [15-18]. Нет стационарных режимов ($dx/dt \neq 0$, $x_i \neq const$ непрерывно) и нет статистической неустойчивости не только у биологических, психологических, медицин-

ских систем, но и у метеопараметров среды обитания человека. Организм, человека постоянно находится в тесной взаимосвязи с состоянием окружающей среды, которая оказывает непосредственное влияние на его регуляторные системы. В условиях Севера человек вынужден, прежде всего, адаптироваться к холоду, особенно в холодный период года, когда организм жителей Севера находится в состоянии напряжения, что связано с необходимостью поддерживать температурный гомеостаз на должном уровне [1-4,9]. Таким образом, изменения, возникающие в различных системах организма, так или иначе, сказываются на деятельности двигательной системы, отражающей поведение организма как единого целого.

В связи с этим появляется необходимость по-новому рассматривать и прогнозировать на индивидуальном и популяционном уровнях состояние функциональных систем организма человека, проживающего на территории ХМАО – Югры и для любых климатических зон проживания в целом.

В настоящей работе изучались признаки статистических различий параметров *амплитудно-частотных характеристик* (АЧХ) треморограмм путем проверки выборок *треморограмм* (ТМГ) на статистическое совпадение. Использовались методы, которые позволяли обнаруживать изменения (или сходство) получаемых выборок ТМГ и функционального состояния организма человека в целом, находящегося в различных физических состояниях (*до и после* гипотермического (локального холодового) воздействия).

Объект и методы исследования. В настоящих исследованиях объектом для наблюдения являлись испытуемые – молодые люди (женского и мужского пола) в возрасте 23-х лет, которые подвергались локальному холодovому воздействию по стандартной методике: сидя в комфортном положении испытуемым необходимо было удерживать указательный палец кисти верхней правой конечности в статическом положении над токовихревым датчиком на определенном расстоянии. Показатели снимались в осенний период года *до и после* гипотермического (локального холодovого) воздействия. Всего было исследовано 30 человек, которые проживали на Севере более 20 лет.

Информация о состоянии параметров непроизвольных микродвижений конечностей была получена на базе прибора «Тремограф», который обеспечивает регистрацию кинематограмм (движения пальцев руки в заданном режиме). В основе работы устройства лежат токовихревые датчики с блоками усилителей, фильтров, которые подключаются к блоку 16-ти канального аналого-цифрового преобразователя и позволяют прецизионно (до 0,01 мм) определять координату $x=x(t)$ положения конечности с пластинкой в пространстве по отношению к регистратору (токовихревому датчику). Регистрация сигналов смещения конечности $x_1=x_1(t)$ и их обработка (получение производной от x_1 , т.е. $x_2=dx_1/dt$) осуществлялась с помощью программных продуктов на базе

ЭВМ с использованием *быстрого преобразования Фурье* (БПФ) и *Wavelett* анализа (Моррета) для представления неперiodических сигналов в виде непрерывной функции $x=x(t)$, анализа амплитудно-частотных и фазовых характеристик сигнала [5-8].

Статистическая обработка данных осуществлялась при помощи программного пакета «*Statistica6.1*». Проверка данных на соответствие закону нормального распределения оценивалась на основе вычисления критерия Шапиро-Уилка. Дальнейшие исследования производились методами непараметрической статистики. Систематизация материала и представленных результатов расчетов выполнялась с применением программного пакета электронных таблиц *Microsoft EXCEL*[7-10].

Результаты и их обсуждение. Поскольку для многих параметров гомеостаза функции распределения $f(x)$ не могут показывать устойчивость ($f(x)$ непрерывно изменяются), то возникает вопрос о целесообразности использования функций распределения $f(x)$ для ТМГ. Наблюдается их непрерывное изменение при сравнении выборок амплитудно-частотных характеристик параметров треморограмм и любая ТМГ имеет свой особый закон статистического распределения $f(x)$ для каждого интервала Δt [6-12].

В результате обработки временной развертки сигнала тремора (анализ спектра периодических биомеханических показателей человека) с помощью программы «*Charts3*» были получены АЧХ треморограмм в осенний период года *до и после* гипотермического (локального холодovого) воздействия. С помощью анализатора сигналов в каждой выборке ТМГ (5 сек. регистрации) были получены 249 значений АЧХ для каждого из 30-ти испытуемых.

В результате выполненных исследований выявлен ряд особенностей: непроизвольные движения кисти имеют ряд характеристик, выраженных для всех групп испытуемых, а именно:

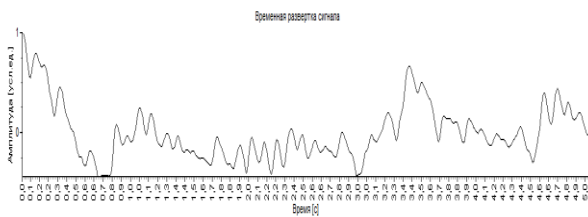
1. Установлены максимумы АЧХ вблизи 0,2-1,2 Гц.

2. Зарегистрированы выраженные гармоники низкочастотных компонент в области 0,5 Гц, 1 Гц, 1,5 Гц и 2 Гц.

3. Отмечены четкие максимумы в области от 8 до 12 Гц, что характерно при регистрации постурального (физиологического) тремора.

На рис. 1-2 представлены наиболее выраженные примеры АЧХ параметров тремора в осенний период года. Отмечена различная динамика параметров ТМГ при анализе 5-ти секундной временной развертки сигнала. Рис. 1 и 2 демонстрируют существенную разницу в поведении значений амплитуд во времени (рис. 1а и 2а), а так же АЧХ треморограмм до и после локального холодового воздействия в осенний период года (рис. 1б и 2б). Установлено, что в осенний период наблюдается увеличение амплитуды тремора после локального холодового воздействия во всей области спектра: на низких и средних частотах (от 0,8 до 5 Гц), на высоких (больше 6 Гц). Отмечено наличие пика в районе 8-9,8 Гц после локального холодового воздействия, амплитуда которого составляет 30 у.е. (рис. 1 и 2).

а)



б)

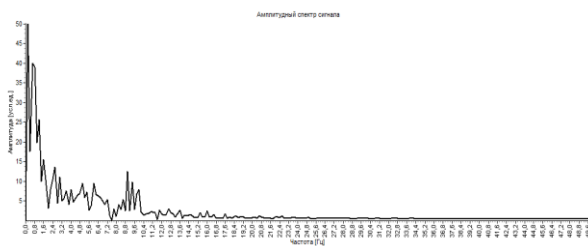
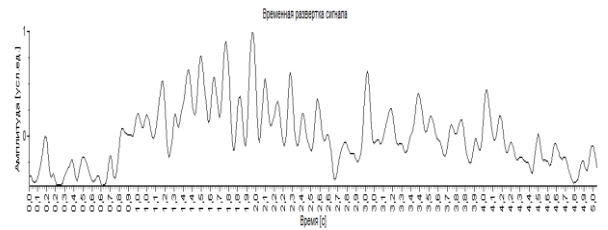


Рис. 1. Динамика параметров треморограмм до локального холодового воздействия в осенний период года на примере испытуемого Ш.М.А.– а) развертка микродвижений пальцев кисти испытуемого во времени – б) амплитудно-частотных характеристик микродвижений пальцев кисти испытуемого. Здесь: по оси у – амплитуда (у.е.); по оси х - на а) – время (сек.), б) – частота (Гц)

а)



б)

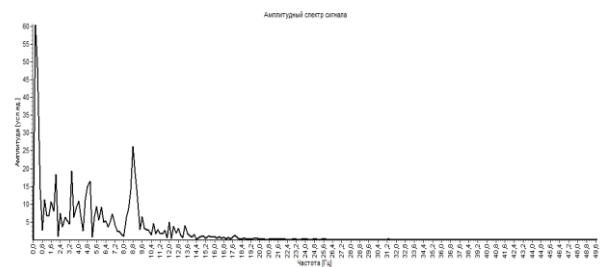


Рис. 2. Динамика параметров треморограмм после локального холодового воздействия в осенний период года на примере испытуемого Ш.М.А.– а) развертка микродвижений пальцев кисти испытуемого во времени – б) амплитудно-частотных характеристик микродвижений пальцев кисти испытуемого. Здесь: по оси у – амплитуда (у.е.); по оси х - на а) – время (сек.), б) – частота (Гц)

Программа *Charts3* предназначена для анализа данных во временной и спектральной областях. С помощью этой программы нами был выполнен амплитудно-частотный анализ для каждого испытуемого и зафиксированы значения амплитуд до 50 Гц, через каждые 0,2 Гц. Таким образом, для каждого испытуемого было получено 500 значений амплитуд в условных единицах (у.е.) от 0 до 50 Гц.

С помощью пакета прикладных программ «*Excel MS Office-2010*» было выполнено усреднение амплитуд параметров тремора на каждой частоте (от 0 до 50 Гц) путем суперпозиции ТМГ для 30 человек в каждой группе исследования в осенний период года. Далее для каждой группы исследования по медианам амплитуд параметров ТМГ были построены АЧХ до и после локального холодового воздействия. Так как параметры тремора наиболее информативны в диапазоне до 15 Гц для анализа АЧХ был выбран диапазон до 25 Гц, т.е. получено 250 значений амплитуд по 125 частотам в диапазоне от 0 до 25 Гц.[10-14].

Для построения общей динамики АЧХ были использованы медианы, поскольку дискретные значения тремора имеют распределение, отличное от нормального (тип распределения определяли с помощью критерия Шапиро-Уилка).

Следует отметить, что амплитуда тремора в **низкочастотной области** до холодого воздействия выше (90 у.е.), чем после локального холодого воздействия (80 у.е.). Также характерной особенностью всех значений медиан является наличие небольшого подъема (пика) в области 8-12 Гц, что свидетельствует о том, что нами был зарегистрирован нормальный физиологический тремор здоровых людей.

Общая динамика медианных значений АЧХ параметров ТМГ (микродвижений пальцев кисти руки) испытуемых *до* и *после* локального холодого воздействия в осенний период года (суперпозиция 30 человек) при опоре в лучезапястном суставе представлена на рис.3.

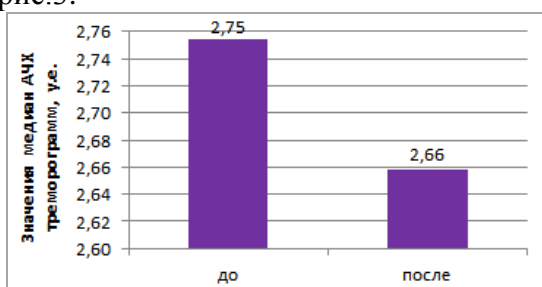


Рис.3. Динамика медиан АЧХ треморограмм группы испытуемых в осенний период года до и после локального холодого воздействия

Согласно рис.3 следует отметить, что у группы испытуемых в осенний период года *после* локального холодого воздействия наблюдается уменьшение значений медиан АЧХ параметров ТМГ на 0,09у.е (со значения $Me=2,75$ у.е. до $Me=2,66$ у.е.), что доказывает статистическую неустойчивость ТМГ и может говорить об ответной реакции нервно-мышечной системы на холод у группы испытуемых.

Далее для выявления различий средних значений рангов медиан АЧХ треморограмм группы испытуемых в осенний период года *до* и *после* локального холодого воздействия (парное сравнение 249 значений АЧХ ТМГ у 30-ти испытуемых в группе) использовался

непараметрический критерий Вилкоксона (*WilcoxonSignedRanksTest*) (табл. 1).

Таблица 1

Уровни значимости для попарных сравнений медиан АЧХ треморограмм группы испытуемых до и после локального холодого воздействия в осенний период года с помощью непараметрического критерия Вилкоксона (*WilcoxonSignedRanksTest*)

Попарные сравнения медиан АЧХ треморограмм	N	T	Z	P-уров.
Осень до-после воздействия	249	6030	8,379	0,000

*Примечание: T – сумма положительных и отрицательных рангов; Наименьшая из двух сумм (независимо от знака) используется для расчета величины Z, по которой рассчитывается уровень значимости критерия; p – достигнутый уровень значимости при попарном сравнении с помощью критерия Вилкоксона (критический уровень значимости принят равным $p<0,05$).

Анализ табл. 1 показал, что для АЧХ параметров тремора статистически значимыми были различия при сравнении медиан *до-Ме*=2,754 у.е. и *после* $Me=2,658$ у.е. локального холодого воздействия в осенний период, т.к. значения критерия Вилкоксона составляют: $T=6030$, $Z=8,379$ и $p=0,000$, что говорит о формировании состояния адекватной мобилизации испытуемых. В целом, полученные результаты являются важной характеристикой адаптационных закономерностей поведения хаотической динамики ТМГ у испытуемых [15-18].

Заключение

Методы математического расчета значений параметров ТМГ у группы испытуемых в осенний период года *до* и *после* локального холодого воздействия (в сочетании с традиционными детерминистско-стохастическими методами) в виде парных сравнений выборок ТМГ обеспечивают получение объективной информации о функциональном состоянии и степени адекватности реакций организма на холод. Таким образом, при влиянии холода существенно изменяются значения параметров треморограмм. Это позволяет объективно оценивать динамику резервных возможностей организма и их прогностическую значимость, а также оценивать степень адаптации испытуемых.

Литература

1. Баженова А.Е., Башкатова Ю.В., Живаева Н.В. Хаотическая динамика ФСО человека на СЕВЕРЕ в условиях физической нагрузки // Тула, 2016. – 318 с.
2. Баженова А.Е., Шерстюк Е.С., Мирюгин А.А., Потетюрина Е.С. Метод многомерных фазовых пространств в оценке хаотической динамики тремора в условиях статических нагрузок // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. – 2016. – Т. 10, – № 1. – С. 43-47.
3. Еськов В.В. Математическое моделирование гомеостаза и эволюции complexity. – Тула: Издательство ТулГУ, 2016. – 372 с.
4. Еськов В.В., Филатов М.А., Филатова Д.Ю., Прасолова А.А. Границы детерминизма и стохастичности в изучении биосистем - complexity // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2016. – № 1. – С.83-91.
5. Еськов В.М., Филатова О.Е., Хадарцева К.А., Еськов В.В. Универсальность понятия «гомеостаз» // Клиническая медицина и фармакология. – 2015. – № 4 (4). – С. 29-33.
6. Еськов В.М., Зинченко Ю.П., Филатов М.А., Еськов В.В. Эффект Еськова-Зинченко опровергает представления I.R. Prigogine, J.A. Wheeler и M. Gell-Mann о детерминированном хаосе биосистем - complexity // Вестник новых медицинских технологий. – 2016. – Т. 23. – № 2. – С. 34-43.
7. Еськов В.М., Хадарцев А.А., Еськов В.В., Филатов М.А. Хаотический подход в новой интерпретации гомеостаза // Клиническая медицина и фармакология. – 2016. – Т. 2. – № 3. – С. 47-51.
8. Еськов В.М., Гудков А.Б., Баженова А.Е., Козупица Г.С. Характеристика параметров тремора у женщин с различной физической нагрузкой в условиях севера России // Экология человека. – 2017. – № 1. – С. 38-42.
9. Живогляд Р.Н., Живаева Н.В., Бондаренко О.А. Матрицы межаттракторных расстояний в оценке показателей вегетативной нервной системы жителей ЮГРЫ // Вестник современной клинической медицины. – 2013. – Т. 6. – № 5. – С. 120-123.
10. Зилов В.Г., Еськов В.М., Хадарцев А.А., Еськов В.В. Экспериментальное подтверждение эффекта «Повторение без повторения» Н.А. Бернштейна. Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 2017. – № 1. – С. 4–9.
11. Зинченко Ю.П., Хадарцев А.А., Филатова О.Е. Введение в биофизику гомеостатических систем (complexity) // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2016. – № 3. – С.6-15.
12. Филатов М.А., Веракса А.Н., Филатова Д.Ю., Поскина Т.Ю. Понятие произвольных движений с позиций эффекта Еськова-Зинченко в психофизиологии движений // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2016. – № 1. – С. 24-32.
13. Филатова О.Е., Зинченко Ю.П., Еськов В.В., Стрельцова Т.В. Сознательное и бессознательное в организации движений // Сложность. Разум. Постнеклассика. – 2016. – № 3. – С.23-30.
14. Хадарцев А.А., Еськов В.М., Филатова О.Е., Хадарцева К.А. Пять принципов функционирования сложных систем, систем третьего типа // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. – 2015. – Т. 9. – № 1. – С. 1-2.
15. 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, No. 1, pp. 92–94.
16. 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, No. 1, pp. 143–150.
17. Eskov V.M., Bazhenova A.E., Vochmina U.V., Filatov M.A., Piyashenko L.K. N.A. Bernstein hypothesis in the Description of chaotic dynamics of involuntary movements of person // Russian Journal of Biomechanics. – 2017. – Vol. 21, No. 1, pp. 14-23.
18. Khadartsev A.A., Nesmeyanov A.A., Eskov V.M., Filatov M.A., Pab W. Fundamentals of chaos and self-organization theory in sports // Integrative medicine international. – 2017. – Vol. 4. – С.57-65.