

ВЛИЯНИЕ ГИПОТЕРМИИ НА ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОМИОГРАММ ПРИ МАЛЫХ НАПРЯЖЕНИЯХ МЫШЦ

© 2019 г. **О. Е. Филатова, Д. К. Берестин, *Л. К. Иляшенко, Ю. В. Башкатова**

БУ ВО ХМАО – Югры «Сургутский государственный университет», г. Сургут; *Филиал ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, г. Сургут

Влияние резких перепадов температуры на состояние функциональных систем организма в целом может быть оценено по характеру влияния гипотермических воздействий на нервно-мышечную систему. *Цель работы* – выявить закономерности поведения параметров нервно-мышечной системы (электромиограмм) в условиях холодового воздействия на основе оценки показателей электромиограмм отводящей мышцы сгибателя мизинца при слабом статическом напряжении мышцы ($F_1 = 50$ Н) у мужчин. *Методы*. Использовался один из методов стохастики в виде расчета матриц парных сравнений выборок электромиограмм в виде показателя числа k пар «совпадений» выборок. Матрицы парных сравнений выборок рассчитывались для каждого испытуемого при статическом напряжении $F_1 = 50$ Н до и после локального холодового воздействия. Одновременно строились квазиаттракторы динамики поведения $x(t)$ и определялись площади квазиаттракторов. В конечном итоге анализ состояния мышц испытуемых при развитии статического усилия F проводился на основе сравнения площади квазиаттракторов в виде S . *Результаты*. При слабом ($F_1 = 50$ Н) статическом усилии после холодового воздействия площади квазиаттракторов увеличились в 2,5 раза, тогда как в матрицах парных сравнений выборок после локального холодового воздействия число совпадений пар выборок выросло с 8 до 14. *Вывод*: были выявлены закономерности изменения числа совпадений пар выборок k в матрицах парных сравнений при изменении статического усилия и при влиянии локального холодового воздействия; установлены статистически значимые различия для таких выборок k и S до и после гипотермии.

Ключевые слова: хаос, электромиограмма, охлаждение, квазиаттрактор

THE INFLUENCE OF HYPOTHERMIA ON THE PARAMETERS OF THE ELECTROMYOGRAM AT LOW MUSCLE TONE STATE

O. E. Filatova, D. K. Berestin, *L. K. Ilyashenko, Yu. V. Bashkatova

Surgut State University Khanty-Mansiysk Autonomous Area, Surgut; *Tyumen Industrial University, Surgut Branch, Surgut, Russia

Effects of sudden changes in temperature on the general state of functional systems of the body can be assessed by the effects of local cold exposure on the neuromuscular system. *Aim*: to study electromyograms of the retracting muscle flexor of the little finger with weak static muscle tension ($F_1 = 50$ N) during cold exposure. *Methods*. Altogether, 15 men aged 20-27 years participated in the study. We used one of the stochastic methods in the form of calculation of matrices of paired comparisons of electromyogram samples as an indicator of k pairs of matches of samples. Matrices of paired comparisons of samples were calculated for each test subject at a static voltage $F_1 = 50$ N before and after local cold exposure. At the same time built a quasi-attractor dynamics, the behavior of $x(t)$ and determined area of the quasi-attractor. In the end, the analysis of the state of the muscles of the subjects in the development of static force F was carried out on the basis of a comparison of the area of quasi-attractors in the form of S . *Results*. With weak ($F_1 = 50$ N) static force after cold exposure, the area of quasi-attractor increased by 2.5 times, while in the matrices of paired comparisons of samples after local cold exposure, the number of matches of pairs of samples increased from 8 to 14. *Conclusion*: the regularities of changes in the number of matches of pairs of samples k in the matrices of paired comparisons with changes in the static force and under the influence of local cold exposure were revealed; statistically significant differences were found for such samples k and S before and after hypothermia.

Key words: chaos, electromyogram, cooling, quasi-attractors

Библиографическая ссылка:

Филатова О. Е., Берестин Д. К., Иляшенко Л. К., Башкатова Ю. В. Влияние гипотермии на параметры электромиограмм при малых напряжениях мышц // Экология человека. 2019. № 5. С. 43–48.

Filatova O. E., Berestin D. K., Ilyashenko L. K., Bashkatova Yu. V. The Influence of Hypothermia on the Parameters of the Electromyogram at Low Muscle Tone State. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2019, 5, pp. 43-48.

Для территории Северо-Западной Сибири характерен резко континентальный климат. Наряду с действием экологических факторов на человека оказывают влияние факторы, характерные для развитых урбанизационных экологических систем [5, 17]. Сегодня мы должны говорить о хаотическом изменении параметров метеорологических факторов не только в зимний период, но и в другие сезоны

года, что характерно как для г. Сургута, так и для всей территории Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО) – Югры [2]. Наблюдаются большие флуктуации давления, температуры, влажности в очень широких диапазонах. Необходимо отметить, что температуры минус 30–35 °С являются характерными для зимнего периода территории ХМАО. Влияние резких перепадов метеопараметров на со-

стояние функциональных систем организма (ФСО) в целом может быть оценено по характеру влияния гипотермических воздействий на нервно-мышечную систему (НМС) как одну из наиболее важных ФСО (особенно для экологии и физиологии труда).

В экологии человека в настоящее время возникает устойчивое убеждение о том, что биопотенциалы мышц в различных состояниях организма человека очень сложно поддаются изучению и моделированию [1–4, 6]. Как и все сложные биологические динамические системы, НМС демонстрирует статистическую неустойчивость подряд получаемых выборок электромиограмм. В ряде работ [6, 12] было показано, что любой вид движений имеет хаотический характер, т. е. вектор состояния НМС $x(t)$ демонстрирует постоянно $dx/dt \neq 0$. При этом движение этого вектора состояния НМС ограничено некоторым объемом фазового пространства состояний (ФПС) [10–16, 18].

Биопотенциалы мышц, как и любых сложных биосистем, к которым относятся любые ФСО организма человека, очень трудно поддаются изучению и моделированию [6–10, 12–16]. Внедрение традиционных физических моделей в подобные биологические исследования возможно только на основе аналога принципа неопределенности Гейзенберга и новых методов теории хаоса — самоорганизации (ТХС) [1–7]. В нашей работе мы делаем попытку такого сравнения на основе метода анализа многомерных фазовых пространств в рамках разрабатываемой сейчас ТХС. Изучение особенностей реакции НМС (на основе анализа биоэлектрических потенциалов мышц человека в виде электромиограмм — ЭМГ) в ответ на статическую нагрузку до и после холодного стресса нами производится путем расчета матриц парного сравнения выборок ЭМГ и расчета квази-аттракторов (КА) [10–16].

Методы

Гендерные различия параметров электромиограмм женщин и мужчин уже регистрируются с позиций ТХС, поэтому сейчас возникает задача оценки изменения физиологического состояния организма испытуемых. В нашем исследовании была привлечена группа из 15 испытуемых мужчин в возрасте от 21 до 27 лет. У испытуемых регистрировались ЭМГ с частотой дискретизации 4 кГц, время записи $t = 5$ сек. Для каждого испытуемого регистрировалась ЭМГ при слабом статическом напряжении мышцы $F_1 = 50$ Н с помощью квантования сигнала в виде файла значений x_1 , где x_1 — это величина биосигнала — ЭМГ *musculus adductor digiti mini* (мышца мизинца). Для каждого статического напряжения производилась запись 15 выборок ЭМГ подряд для одной серии эксперимента. Получалось 15 различных выборок в одной серии эксперимента, в каждой из которых было по 20 000 точек (значений ЭМГ). Затем испытуемый погружал кисть в емкость с водой при температуре $T \approx 4$ °С на 2 мин, после чего производилась регистрация ЭМГ после локального

холодового воздействия. Для каждого испытуемого были получены по 15 выборок ЭМГ в каждой серии опытов. Всего было произведено 12 серий опытов для каждого испытуемого в двух различных состояниях: до локального холодного воздействия и после гипотермии при слабом статическом напряжении ($F_1 = 50$ Н).

С помощью ЭВМ производилась визуализация данных, полученных с электромиографа, затем строилась временная развертка сигнала, которая преобразовывалась дискретизацией сигнала в некоторые числовые ряды (выборки ЭМГ).

На основе полученного вектора $x(t) = (x_1, x_2)^T$ строились КА динамики поведения $x(t)$ и определялись площади КА (S_G) по формуле $S_G^{max} \geq \Delta x_1 \times \Delta x_2 \geq S_G^{min}$, где Δx_1 — вариационный размах величины ЭМГ, а Δx_2 — вариационный размах для $x_2(t) = dx_1/dt$ скорости изменения ЭМГ. В конечном итоге анализ состояния мышц испытуемых при развитии статистического усилия F проводился на основе сравнения площади КА в виде S [11–16, 18].

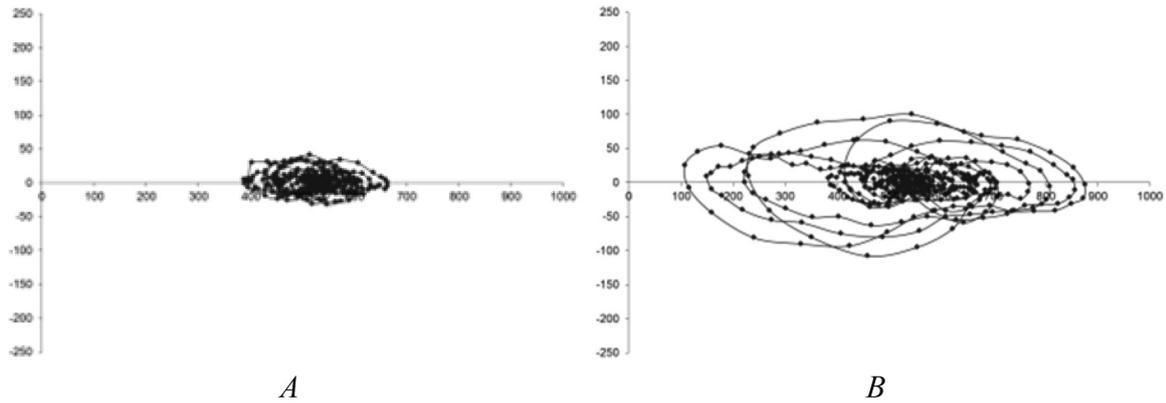
Статистическая обработка данных осуществлялась при помощи программного пакета Statistica 10. Анализ соответствия вида распределения полученных данных закону нормального распределения производился на основе вычисления критерия Шапиро — Уилка. При использовании непараметрического парного сравнения выборок ЭМГ с помощью критерия Вилкоксона (ρ) были построены по 12 таблиц для каждого испытуемого [11] до и после гипотермии.

Результаты

Результаты исследования нами представляются в рамках стохастики и в рамках ТХС [7–16]. С помощью ЭВМ производилась визуализация данных, полученных с электромиографа, строилась временная развертка сигнала. Анализ полученных временных рядов (выборок) x_i для ЭМГ по данным с электромиографа показал, что получаемый сигнал всегда уникален для каждого испытуемого, нет произвольного повторения подряд двух выборок x_i (т. е. $f_j(x_i) \neq f_{j+1}(x_i)$ для статистических функций $f(x_i)$). Однако при этом сохраняется некоторая закономерность, которая связана с параметрами КА в виде площади S в фазовом пространстве координат x_1 и x_2 .

В рамках ТХС мы можем использовать фазовую плоскость при повторении опытов (получать выборки с повторением) и для них строить КА выборок ЭМГ. Однако полностью уходить от стохастики пока не следует. Необходимы модификации, внедрение новых методов в комплексе с методами ТХС. Возникает вопрос о целесообразности использования статистических функций распределения $f(x)$ для ЭМГ, так как мы наблюдаем их непрерывное изменение при сравнении выборок ЭМГ и любая ЭМГ имеет свой особый закон распределения и свою $f(x)$ для каждого интервала.

Каждый из векторов биосистемы, перемещаясь по осям (x_1 и x_2), образовывал фазовую плоскость,



Результаты обработки данных, полученных при слабом напряжении мышцы ($F_1 = 50$ Н); испытуемый БДК как типичный пример всей группы: *A* – площадь S_1 КА до локального холодового воздействия при слабом статическом усилии ($F_1 = 50$ Н); *B* – площадь S_2 КА после локального холодового воздействия при слабом статическом усилии ($F_1 = 50$ Н).

описывающую динамику поведения двумерного вектора $x = (x_1, x_2)^T$, которая и представлена на рис. 1 для двух гомеостазов (до холодового воздействия и после). Эти области образуют два КА, внешний вид которых представлен на рис. 1. Были рассчитаны КА всех 30 выборок для каждого из 15 испытуемых при двух различных состояниях (для каждого испытуемого были получены по 30 выборок (по 15 выборок до локального охлаждения и 15 выборок после) для одной серии экспериментов, всего для каждого испытуемого было произведено 12 серий опытов. В результате были установлены определенные закономерности изменения размеров S для КА получаемых выборок ЭМГ. Далее представлены, как типичный пример, данные для одного испытуемого, так как для всех испытуемых были получены подобные закономерности.

Внешний вид фазовых траекторий и площадей КА для F_1 (на примере одного опыта) до и после локального холодового воздействия мы уже представили на рис. 1. Здесь фазовые координаты x_1 – реальные значения биопотенциалов, а $x_2 = dx_1/dt = V$ – это скорость их изменения. При этом на рис. 1 отображено влияние холода на параметры ЭМГ. При слабом напряжении ($F_1 = 50$ Н) наблюдается увеличение площади S_2 для КА, хотя статическое усилие оставалось неизменным ($S_1 = 91\,443,0$ у. е.; $S_2 = 236\,034,0$ у. е.)

В табл. 1 для одного испытуемого при 15 повторах экспериментов представлены средние значения площадей КА при слабом статическом усилии до и после гипотермии. Очевидно, что по средним значениям площадей КА эти величины различаются и реально представляют состояние параметров ЭМГ в двух разных состояниях всех испытуемых. Так, при слабом ($F_1 = 50$ Н) статическом усилии после холодового воздействия произошло увеличение площади КА в 2,5 раза (до гипотермии $\langle S_{1до} \rangle = 94\,770,7$ у. е.; после $\langle S_{1после} \rangle = 242\,428,4$ у. е.). Еще раз подчеркнем, что для каждого испытуемого наблюдается такая же закономерность, но значения площадей для каждого испытуемого индивидуальны.

Таблица 1
Значения площади квазиаттракторов S_1 и S_2
для квазиаттракторов электромиограмм одного и того же
человека (БДК) при слабом ($F_1 = 50$ Н) напряжении мышц
до и после гипотермии

№ экспери-мента	Площади S_1 до холодового воздействия	Площади S_2 после холодового воздействия
1	19 596,0	142 290,0
2	29 295,0	223 344,0
3	84 816,0	206 424,0
4	62 118,0	214 630,0
5	47 196,0	257 184,0
6	50 350,0	255 492,0
7	126 608,0	249 018,0
8	58 560,0	259 722,0
9	78 000,0	235 188,0
10	91 443,0	236 034,0
11	71 185,0	239 701,0
12	153 972,0	270 720,0
13	176 660,0	298 991,0
14	186 082,0	276 122,0
15	185 680,0	271 566,0
$\langle S \rangle$, у. е.	94 770,7	242 428,4

Сейчас можно говорить о том, что квазиаттракторы ЭМГ в ФПС являются определенными моделями состояния электрической активности мышц при изменении гомеостаза организма. В рамках стохастики (спектральные плотности сигнала, автокорреляции $A(t), f(x)$ и др.) мы не можем получить модели, которые бы существенно различали эти два состояния мышцы (ЭМГ). Нет статистической устойчивости ЭМГ, как и для тремора, теппинга в биомеханике [9–16, 18].

При регистрации выборок ЭМГ наблюдается их непрерывное изменение. При сравнении выборок ЭМГ любая выборка x_i имеет свой особый закон распределения и свою $f(x)$ для каждого интервала времени регистрации Δt . Одновременно нами были рассчитаны матрицы парных сравнений выборок ЭМГ для всех 15 испытуемых при двух различных состоя-

ниях. В результате были установлены определенные закономерности изменения числа «совпадений» пар выборок k , получаемых параметров ЭМГ. Далее представлены данные для одного испытуемого, так как для всех испытуемых были получены сходные закономерности. Пример такой матрицы представлен в табл. 2 (до гипотермии) и в табл. 3 (после охлаждения). Очевидно, что стохастика усиливается из-за перехода от $k_1 = 8$ до $k_2 = 14$ на фоне увеличения S для КА в 2,5 раза.

Таблица 2

Матрица парного сравнения выборок 15 электромиограмм одного испытуемого БДК (число измерений $n = 15$) при слабом напряжении мышцы ($F_1 = 50$ Н) до локального холодого воздействия, использовался критерий Вилкоксона (значимость $p < 0,05$, число совпадений $k_1 = 8$)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		,00	,00	,00	,03	,01	,67	,00	,00	,01	,00	,00	,00	,15	,01
2	,00		,01	,02	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
3	,00	,01		,00	,00	,01	,00	,00	,01	,01	,45	,00	,00	,00	,00
4	,00	,02	,00		,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00
5	,03	,00	,00	,00		,03	,03	,01	,01	,00	,00	,00	,00	,25	,00
6	,01	,00	,01	,00	,03		,00	,00	,01	,55	,01	,00	,00	,00	,00
7	,67	,00	,00	,00	,03	,00		,00	,00	,00	,00	,90	,00	,64	,03
8	,00	,00	,00	,00	,01	,00	,00		,01	,00	,01	,03	,00	,01	,00
9	,00	,00	,01	,00	,01	,01	,00	,01		,00	,00	,24	,00	,01	,00
10	,01	,00	,01	,00	,00	,55	,00	,00	,00		,00	,00	,00	,00	,00
11	,00	,00	,45	,00	,00	,01	,00	,01	,00	,00		,00	,00	,00	,00
12	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,90	,03	,24	,00	,00		,00	,00	,00
13	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00		,00	,00
14	,15	,00	,00	,00	,25	,00	,64	,01	,01	,00	,00	,00	,00		,00
15	,01	,00	,00	,00	,00	,00	,03	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00

Таким образом, и для одного испытуемого (при повторях опытов), и для группы разных испытуемых мы предлагаем использовать подобные матрицы парных сравнений выборок ЭМГ (и их функций распределения $f(x)$) для оценки физиологического состояния мышцы, выявления особенностей ее регуляции в условиях гипотермии, как экофактора ХМАО – Югры [11, 13]. Разовые же сравнения $f(x)$, которые сейчас в физиологии широко используются, не имеют никакого смысла, так как отсутствует статистическая устойчивость подряд получаемых выборок ЭМГ. Появление $p < 0,05$ в таких матрицах совершенно хаотично, имеет значение только число «совпадений» выборок ЭМГ k . Оно зависит от функционального состояния мышцы (величины усилия F , от охлаждения мышцы, введения миорелаксанта, утомления и т. д.). Величина k реально может быть использована в экологических, физиологических или психофизиологических исследованиях, так как является новой количественной мерой выборок ЭМГ (т. е. отнесения их к одной генеральной совокупности). Описывать функциональное состояние мышцы в рамках стохастики затруднительно, так как

в неизменном гомеостазе мы регистрируем хаос $f(x)$, нет повторений выборок ЭМГ [7–16, 18].

Таблица 3

Матрица парного сравнения выборок 15 электромиограмм одного испытуемого БДК (число измерений $n = 15$) при слабом напряжении мышцы ($F_1 = 50$ Н) после локального холодого воздействия, использовался критерий Вилкоксона (значимость $p < 0,05$, число совпадений $k_2 = 14$)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1		,00	,02	,00	,00	,00	,00	,01	,00	,11	,00	,00	,00	,08	,00
2	,00		,00	,96	,00	,01	,23	,04	,00	,00	,00	,00	,04	,00	,00
3	,02	,00		,00	,01	,00	,05	,00	,49	,00	,00	,00	,00	,02	,00
4	,00	,96	,00		,00	,01	,88	,01	,00	,00	,01	,92	,04	,02	,02
5	,00	,00	,01	,00		,00	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,01	,00	,00
6	,00	,01	,00	,01	,00		,00	,00	,02	,00	,04	,01	,75	,00	,00
7	,00	,23	,05	,88	,00	,00		,00	,05	,24	,01	,00	,00	,00	,00
8	,01	,04	,00	,01	,00	,00	,00		,00	,00	,00	,00	,55	,00	,00
9	,00	,00	,49	,00	,00	,02	,05	,00		,01	,00	,00	,00	,00	,18
10	,11	,00	,00	,00	,00	,00	,24	,00	,01		,00	,67	,02	,00	,00
11	,00	,00	,00	,01	,00	,04	,01	,00	,00	,00		,00	,12	,02	,03
12	,00	,00	,00	,92	,00	,01	,00	,00	,00	,67	,00		,05	,11	,00
13	,00	,04	,00	,04	,01	,75	,00	,55	,00	,02	,12	,05		,00	,00
14	,08	,00	,02	,02	,00	,00	,00	,00	,00	,00	,02	,11	,00		,00
15	,00	,00	,00	,02	,00	,00	,00	,00	,18	,00	,03	,00	,00	,00	

Оказалось, что в первом случае (для F_1 до локального холодого воздействия) матрица парных сравнений выборок ЭМГ 15×15 (она дает 105 разных пар сравнений) при усилии $F_1 = 50$ Н показывает число совпадений k пар, $k_1 = 8$, что представлено в табл. 2. Однако при неизменном статическом усилии ($F_1 = 50$ Н), но уже после локального холодого воздействия происходит увеличение числа совпадений k пар выборок до $k_2 = 14$, что представлено в табл. 3.

Фактически такие матрицы (см. табл. 2, 3) являются некоторой моделью особых (уникальных) систем [10–18] (у нас это система регуляции ЭМГ), а k – обобщенный параметр этой модели. Матрицы парных сравнений определяют особенность регуляции ЭМГ при разных состояниях организма, но они характеризуют и систему регуляции мышц. Они универсальны как модели, но требуют многократных повторов регистрации ЭМГ, что весьма трудозатратно. Наоборот, параметры КА уже в одной выборке весьма репрезентативны и $S_1 < S_2$ всегда при холодом воздействии. Расчет КА более предпочтителен и достоверен в экологии и физиологии человека [7–16, 18].

Обсуждение результатов

Аналог принципа Гейзенберга, т. е. расчет параметров S КА является наиболее эффективным и значимым методом оценки состояния ЭМГ испытуемых [7–16]. Расчет КА используется в фазовых координатах $x_1 = x_1(t)$ – реальные значения биопотенциалов мышц и $x_2 = dx_1/dt$ – скорость изменения x_1 во времени. В этом двумерном (а в общем случае мы

использовали и $x_3 = dx_2/dt$, то есть трёхмерное ФПС) фазовом пространстве можно рассчитывать параметры КА (у нас площади S или объёмы $V = \Delta x_1 \times \Delta x_2 \times \Delta x_3$, где Δx_i — вариационные размахи координаты x_i), которые являются моделями состояния испытуемых и реально дают объективную оценку гомеостаза — состояния мышцы. Очевидно, что хаотическая динамика ЭМГ не может описываться в рамках стохастики или современной теории детерминированного хаоса, но модели ЭМГ всё-таки можно построить в рамках ТХС (в виде КА). Экология человека и электрофизиология сейчас получают новый аппарат для сравнения био-потенциалов мышц человека, находящегося в разных экологических состояниях.

Методы расчёта матриц парных сравнений выборок ЭМГ (расчет числа k пар «совпадений» выборок ЭМГ) убедительно характеризуют различия значений параметров ЭМГ при разных состояниях мышц, а также позволяют производить оценку влияния холодового воздействия на НМС. Новая методика расчета матриц парных сравнений выборок позволяет оценить влияние локального холодового воздействия на ФСО, но эта оценка сильно варьирует, и она требует многократных повторов экспериментов. В наших наблюдениях для каждого испытуемого мы производим 12 серий исследований по 15 повторов измерений ЭМГ в каждой серии. В результате были выявлены закономерности изменения числа совпадений пар выборок k в матрицах парных сравнений при изменении статического усилия и при влиянии локального холодового воздействия, что можно представлять в качестве маркера в экологии человека при оценке влияния гипотермии (работы на открытом воздухе) в условиях Севера Российской Федерации на параметры НМС.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 18-07-000161 А «Разработка вычислительной системы мониторинга и моделирования параметров организма жителей Севера РФ» и гранта РФФИ № 18-07-00162 А «Вычислительные системы для идентификации параметров нормогенеза и патогенеза в биомеханике на примере тремора и теппинга».

Авторство

Филатова О. Е. окончательно утвердила присланную в редакцию рукопись; Берестин Д. К. внес существенный вклад в дизайн исследования, получение, анализ и интерпретацию данных; Иляшенко Л. К. произвел качественный пересмотр относительно принципиальных аспектов содержания; Башкатова Ю. В. составила первый вариант рукописи.

Филатова Ольга Евгеньевна — ORCID 0000-0002-0975-0022; SPIN 9053-6185

Берестин Дмитрий Константинович — ORCID 0000-0003-3977-3281; SPIN 8494-9376

Иляшенко Любовь Кирьяновна — ORCID 0000-0002-7637-8590; SPIN 6071-4770

Башкатова Юлия Владимировна — ORCID 0000-0002-5862-3417; SPIN 8991-6566

Список литературы

1. Белоценко Д. В., Баженова А. Е., Щипуцин К. П., Королев Ю. Ю. Эффект Еськова — Зинченко в организации произвольных движений человека в режиме повторения // Вестник новых медицинских технологий. 2017. Т. 24, № 1. С. 29–35.
2. Есков В. М., Филатова О. Е., Есков В. В., Гавриленко Т. В. Эволюция понятия гомеостаза: детерминизм, стохастика, хаос — самоорганизация // Биофизика. 2017. Т. 62, № 5. С. 984–997.
3. Есков В. М., Есков В. В., Гавриленко Т. В., Вохмина Ю. В. Формализация эффекта «повторение без повторов» Н. А. Бернштейна // Биофизика. 2017. Т. 62, № 1. С. 168–176.
4. Зилов В. Г., Хадарцев А. А., Есков В. В., Есков В. М. Экспериментальные исследования статистической устойчивости выборок кардиоинтервалов // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2017. Т. 164, № 8. С. 136–139.
5. Мироновская А. В., Бузинов Р. В., Гудков А. Б. Прогнозная оценка неотложной сердечно-сосудистой патологии у населения северной урбанизированной территории // Здоровоохранение Российской Федерации. 2011. № 5. С. 66–67.
6. Мирошниченко И. В., Баженова А. Е., Белоценко Д. В., Потетюрин Е. С. Эффект Еськова — Зинченко в условиях локального холодового воздействия // Сложность. Разум. Постнеклассика. 2017. № 2. С. 13–17.
7. 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, N 1. P. 92–94.
8. Eskov V. V., Gavrilenko T. V., Eskov V. M., Vochmina Yu. V. Static Instability Phenomenon in Type-Three Secretion Systems: Complexity // Technical Physics. 2017. Vol. 62, N 11. P. 1611–1616.
9. Eskov V. M., Eskov V. V., Braginskii M. Ya., Pashnin A. S. Determination of the degree of synergism of the human cardiorespiratory system under conditions of physical effort // Measurement Techniques. 2011. Vol. 54, N 7. P. 832–837.
10. 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, N 6. P. 720–724.
11. Eskov V. M., Khadartsev A. A., Eskov V. V., Vokhmina J. V. Chaotic dynamics of cardio intervals in three age groups of indigenous and nonindigenous populations of Ugra // Advances in Gerontology. 2016. Vol. 6, N 3. P. 191–197.
12. Eskov V. M., Eskov V. V., Vochmina J. V., Gavrilenko T. V. The evolution of the chaotic dynamics of collective modes as a method for the behavioral description of living systems // Moscow University Physics Bulletin. 2016. Vol. 71, N 2. P. 143–154.
13. Eskov V. M., Eskov V. V., Filatova O. E., Khadartsev A. A., Sinenko D. V. Neurocomputational identification of order parameters in gerontology // Advances in Gerontology. 2016. Vol. 6, N 1. P. 24–28.
14. Eskov V. M., Bazhenova A. E., Vochmina U. V., Filatov M. A., Ilyashenko L. K. N. A. Bernstein hypothesis in the Description of chaotic dynamics of involuntary movements of person // Russian Journal of Biomechanics. 2017. Vol. 21, N 1. P. 14–23.
15. Eskov V. M., Eskov V. V., Vochmina Y. V., Gorbunov D. V., Ilyashenko L. K. Shannon entropy in the research

on stationary regimes and the evolution of complexity // *Moscow University Physics Bulletin*. 2017. Vol. 72, N 3. P. 309–317.

16. Filatova O. E., Eskov V. V., Filatov M. A., Ilyashenko L. K. Statistical instability phenomenon and evaluation of voluntary and involuntary movements // *Russian Journal of Biomechanics*. 2017. Vol. 21, N 3. P. 224–232.

17. Unguryanu T., Novikov S., Buzinov R., Gudkov A., Grijbovski A. Respiratory diseases in a town with heavy pulp and paper industry. // *Epidemiologia and prevenzione*. 2010. Vol. 34, iss. 5-6. P. 138.

18. Zilov V. G., Eskov V. M., Khadartsev A. A., Eskov V. V. Experimental confirmation of the effect of “Repetition without repetition” N. A. Bernstein // *Bulletin of experimental biology and medicine*. 2017. Vol. 1. P. 4–8.

References

1. Beloshchenko D. V., Bazhenova A. E., Shchipicin K. P., Korolev Ju. Ju. Eskov-Zinchenko effect: human involuntary movements organization during repetitions. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii* [Journal of new medical technologies]. 2017, 24 (1), pp. 29-35. [In Russian]

2. Eskov V. M., Filatova O. E., Eskov V. V., Gavrilenko T. V. Evolution of Term Homeostasis: Determinism, Stochastics, Chaos-Self-Organisation // *Biofizika* [Biophysics]. 2017, 62 (5), pp. 984-997. [In Russian]

3. Eskov V. M., Eskov V. V., Gavrilenko T. V., Vochmina Yu. V. Formalization of the Effect of “Repetition without Repetition” by N. A. Bernstein. *Biofizika* [Biophysics]. 2017, 62 (1), pp. 168-176. [In Russian]

4. Zilov V. G., Khadartsev A. A., Eskov V. V., Eskov V. M., Experimental research of statistical stability of samples of R-R intervals. *Byulleten' eksperimental'noi biologii i meditsiny* [Bulletin of Experimental Biology and Medicine]. 2017, 164 (8), pp. 136-139. [In Russian]

5. Mironovskaya A. V., Buzinov R. V., Gudkov A. B. Prognostic evaluation of urgent cardiovascular disease in the population of a northern urbanized area. *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii* [Public Health of the Russian Federation] 2011, 5, pp. 66-67. [In Russian]

6. Miroshnichenko I. V., Bazhenova A. E., Beloshchenko D. V., Potetyurina E. S. Eskov-Zinchenko effect in local cold exposure. *Slozhnost'. Razum. Postneklassika* [Complexity. Mind. Postnonclassic]. 2017, 2, pp. 13-17. [In Russian]

7. 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, 95 (1), pp. 92-94.

8. Eskov V. V., Gavrilenko T. V., Eskov V. M., Vochmina Yu. V. Static Instability Phenomenon in Type-Three Secretion Systems: Complexity. *Technical Physics*. 2017, 62 (11), pp. 1611-1616.

9. Eskov V. M., Eskov V. V., Braginskii M. Ya., Pashnin A. S. Determination of the degree of synergism of the human cardiorespiratory system under conditions of physical effort. *Measurement Techniques*. 2011, 54 (7), pp. 832-837.

10. Eskov V. M., Gavrilenko T. V., Vochmina Y. V., Zimin M. I., Filatov M. A. Measurement of Chaotic Dynamics for Two Types of Tapping as Voluntary Movements. *Measurement Techniques*. 2014, 57 (6), pp. 720-724.

11. Eskov V. M., Khadartsev A. A., Eskov V. V., Vochmina J. V. Chaotic dynamics of cardio intervals in three age groups of indigenous and nonindigenous populations of Ugra // *Advances in Gerontology*. 2016, 6 (3), pp. 191-197.

12. Eskov V. M., Eskov V. V., Vochmina J. V., Gavrilenko T. V. The evolution of the chaotic dynamics of collective modes as a method for the behavioral description of living systems. *Moscow University Physics Bulletin*. 2016, 71 (2), pp. 143-154.

13. Eskov V. M., Eskov V. V., Filatova O. E., Khadartsev A. A., Sinenko D. V. Neurocomputational identification of order parameters in gerontology. *Advances in Gerontology*. 2016, 6 (1), pp. 24-28.

14. Eskov V. M., Bazhenova A. E., Vochmina U. V., Filatov M. A., Ilyashenko L. K. N. A. Bernstein hypothesis in the Description of chaotic dynamics of involuntary movements of person. *Russian Journal of Biomechanics*. 2017, 21 (1), pp. 14-23.

15. Eskov V. M., Eskov V. V., Vochmina Y. V., Gorbunov D. V., Ilyashenko L. K. Shannon entropy in the research on stationary regimes and the evolution of complexity. *Moscow University Physics Bulletin*. 2017, 72 (3), pp. 309-317.

16. Filatova O. E., Eskov V. V., Filatov M. A., Ilyashenko L. K. Statistical instability phenomenon and evaluation of voluntary and involuntary movements. *Russian Journal of Biomechanics*. 2017, 21 (3), pp. 224-232.

17. Unguryanu T., Novikov S., Buzinov R., Gudkov A., Grijbovski A. Respiratory diseases in a town with heavy pulp and paper industry. *Epidemiologia and prevenzione*. 2010, 34 (5-6), p. 138.

18. Zilov V. G., Eskov V. M., Khadartsev A. A., Eskov V. V. Experimental confirmation of the effect of “Repetition without repetition” N. A. Bernstein. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*. 2017, vol. 163, 1, pp. 4-8.

Контактная информация:

Берестин Дмитрий Константинович — кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории «Функциональных систем организма человека на Севере» института естественных и технических наук БУ ВО ХМАО — Югры «Сургутский государственный университет»

Адрес: 628412, Тюменская область, г. Сургут, пр. Энергетиков, д. 22

E-mail: bdk0720@gmail.com