

# I. БИОМЕДИЦИНСКИЕ НАУКИ И СИНЕРГЕТИКА

DOI: 10.12737/6718

## АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ПАРАМЕТРОВ НЕРВНО-МЫШЕЧНОЙ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА В УСЛОВИЯХ ЛОКАЛЬНОГО ХОЛОДОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В РАЗНЫЕ СЕЗОНЫ ГОДА В РАМКАХ ТЕОРИИ ХАОСА-САМООРГАНИЗАЦИИ

В.В. КОЗЛОВА, А.А. ПАХОМОВ, С.Э. БОЛОТОВ, О.А. ГЛАЗОВА

*ГБОУ ВПО «Сургутский государственный университет ХМАО-Югры»,  
пр. Ленина, д. 1, г. Сургут, Россия, 628412*

**Аннотация.** Представлены результаты исследования показателей нервно-мышечной системы юношей и девушек в возрасте от 20 до 28 лет, проживающих на Севере более 15 лет и имеющих различный опыт применения закаливающих процедур. Средний возраст обследуемых составил 22,8 лет. Показания тремора снимались до и после локального холодого воздействия, на основании которых сравнивалась реакция организма у всех групп обследуемых. Лица, не занимающиеся закаливанием организма, образовали группу сравнения. 1 группа наблюдения представлена людьми, использующими закаливающие процедуры менее 1 года. 2 группа наблюдения – закаливающиеся на протяжении длительного времени (более 2-х лет). Рассматривалось влияние локального холодого воздействия на изменения параметров нервно-мышечной системы (тремограмм) у 3 групп испытуемых в разные сезоны года. Произведена статистическая обработка полученных данных, рассчитаны площади квазиаттракторов для всех групп исследования, построены портреты динамики параметров тремора в фазовых плоскостях, т.е. в целом были выявлены параметры порядка при описании нервно-мышечной системы в условиях локального холодого воздействия.

**Ключевые слова:** холодое воздействие, метод многомерных фазовых пространств, тремор.

## ANALYSIS OF PARAMETERS DYNAMICS OF HUMAN NEUROMUSCULAR SYSTEM UNDER COLD INFLUENCE IN DIFFERENT SEASONS WITHIN THEORY OF CHAOS AND SELF-ORGANIZATION

V.V. KOZLOVA, A.A. PAHOMOV, S.E. BOLOTOV, O.A. GLAZOVA

*Surgut State University, Lenina, 1, Surgut, Russia, 628412*

**Abstract.** The paper presents results of neuromuscular system indices in male and female subjects aged between 20 and 28 who have been living in the North over 15 years and have different experience of applying cold procedures. Mean age of subjects is 22.8 years. Hand tremor parameters were recorded before and after local chilling procedure, on this basis body reaction in all experimental groups was compared. The control group is composed of participants who do not receive the experimental treatment. Group 1 composes of subjects who take chilling procedures less than 1 year. Group 2 composes of subjects who take chilling procedures more than 2 years. The effect of local chilling of changing neuromuscular system indices (tremorograms) is compared in 3 experimental groups in different seasons. During the experiment the statistical processing of obtained data is carried out, quasi-attractors squares are calculated for all experimental groups, phase portraits of

tremor dynamics are created. Thus, order parameters in description of neuromuscular system under local chilling are identified.

**Key words:** chilling effect, method of multidimensional phases, tremor.

**Введение.** Человек, проживающий в условиях крайнего Севера или территориях, приравненных к таким условиям, подвергается существенным термическим воздействиям. В зимнее время в районах крайнего Севера показатель температур может достигать на открытом воздухе до -45-50°C. Организм человека в это время испытывает значительные термические нагрузки [1,10].

В процессе своей жизнедеятельности человек осуществляет непрерывное выделение теплоты в окружающую среду. Ее количество зависит от степени физического напряжения в определенных климатических условиях. Для того чтобы физиологические процессы в организме протекали нормально, выделяемая организмом теплота должна полностью отводиться в окружающую среду. Нарушение теплового баланса в условиях пониженных температур может привести к переохлаждению организма и, как следствие, к потере трудоспособности, быстрой утомляемости, потере сознания и даже тепловой смерти [3,5,12].

В связи с этим повышается роль адаптационной способности организма к условиям с низким температурным режимом [1]. На сегодняшний день повсеместно придается большое значение здоровому образу жизни, в том числе и в организации труда, быта и отдыха. Средства физической культуры используются для повышения производительности труда, укрепления здоровья, профилактики профессио-нальных заболеваний [1,11,16].

Для изменения образа жизни необходимо изменять текущие параметры, регулирующие течение этого процесса (все или частично), в зависимости от того, в какой мере (в каком направлении) необходимо изменить состояние организма [15].

Одним из эффективных приемов для поднятия стрессоустойчивости организма к неблагоприятным факторам окружающей среды является закаливание. Благоприятное влияние естественных факторов, а также

оздоровительного плавания, дозированных контрастных процедур на здоровье и работоспособность человека отмечается многими исследованиями. Существует потребность в повышении адаптивных возможностей организма к проявлению неблагоприятных факторов внешней среды, что подчеркивает актуальность исследования [1,14].

Исходя из этого вопросы о влиянии закаливания на человеческий организм, все его системы, а также на общее самочувствие остаются актуальными и ныне, и не только для территорий крайнего Севера, но и в целом для любых климатических условий жизни. Подобные исследования уже не раз проводились множеством ученых [2,4,13,17,18]. В данной работе используются новые подходы и методы анализа функциональных систем организма человека, с позиций теории хаоса-самоорганизации.

**Целью работы** было выявление особенности хаотической динамики поведения параметров нервно-мышечной системы человека (тремора) при локальном холодовом воздействии в разные сезоны года.

**Объект исследования.** В работе представлены результаты исследований, проведенных в зимне-весенний периоды 2013-2014 гг. в лаборатории «Функциональные системы организма человека на Севере» при ГБОУ ВПО «Сургутский государственный университет ХМАО-Югры».

Объектом для наблюдения являлись испытуемые – молодые люди (женского и мужского пола) в возрасте от 20 до 28 лет, которые подвергались локальному холодовому воздействию. Сидя в комфортном положении испытуемым необходимо было удерживать палец руки в статическом положении над токовихревым датчиком на определенном расстоянии без воздействия, а затем после гипотермического воздействия.

Всего было исследовано 45 человек, которые были разделены на 3 группы: группа сравнения – лица, не занимающиеся закаливанием организма; 1 группа наблюдения – лица, закаливающиеся менее 1 года (около 7 месяцев); 2 группа наблюдения – лица, занимающиеся закаливанием более 2 лет. Показатели снимались в зимний и весенний периоды до и после холодного воздействия, что представлено в дизайне исследования на рис. 1.

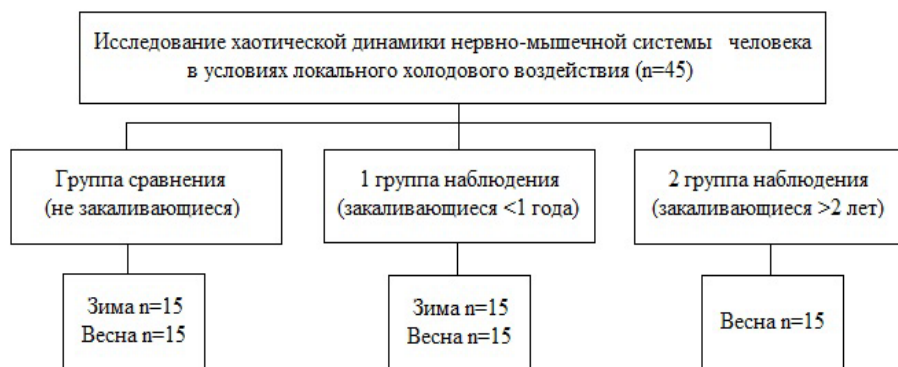


Рис. 1. Дизайн исследования

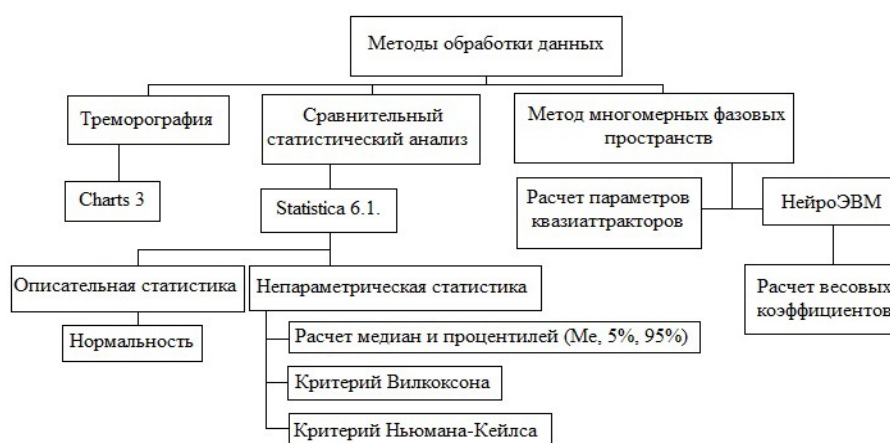


Рис. 2. Дизайн методов обработки данных

Обследование студентов производилось неинвазивными методами и соответствовало этическим нормам Хельсинской декларации (2000 г.). Работа выполнялась в рамках плана научных исследований лаборатории «Функциональные системы организма человека на Севере» при ГБОУ ВПО «Сургутский государственный университет ХМАО-Югры» и темой НИОКР «Исследование поведения функциональ-

ных систем организма человека на Севере РФ методами многомерных фазовых пространств состояний» [6-8]. Критерии включения: возраст студентов 20-28 лет; отсутствие жалоб на состояние здоровья в период проведения обследований; наличие информированного согласия на участие в исследовании. Критерии исключения: болезнь студента в период обследования.

Исследование параметров движения вектора состояния  $x=x(t)=(x_1, x_2, \dots, x_m)^T$  организма человека в фазовом пространстве состояний производилось методами классической статистики, а также методами теории хаоса-самоорганизации (ТХС), в рамках которых идентифицировались параметры квазиаттракторов пострурального тремора.

На рис. 2 представлен дизайн исследования по используемым методам обработки полученных в ходе эксперимента данных.

**Метод регистрации параметров нервно-мышечной системы человека (тремора), используемый в работе.** В данной главе представлено описание метода регистрации параметров нервно-мышечной системы человека (тремора) в результате мониторингового обследования параметров микродвижений пальцев рук испы-

туемых, находящихся в условиях холодного воздействия в рамках классических детерминистско-стохастических и новых подходов ТХС.

В рамках указанных методов было обследовано 45 человек (юношей и девушек), которые подвергались локальному холодному воздействию в разные сезоны и были разбиты на группы по стажу закали-

вания. Информация о состоянии параметров непроизвольных микродвижений конечностей была получена с помощью прибора «Тремограф», который обеспечивает регистрацию кинематограмм (движения пальцев руки). В основе работы устройства лежат токовихревые датчики с блоками усилителей, фильтров, которые подключаются к блоку 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). Использовались датчики токовихревого типа в *биофизическом измерительном комплексе* (БИК), разработанном в *лаборатории биокibernетики и биофизики сложных систем* (ЛББСС) при СурГУ. 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 использованием запатентованной программы [6], обеспечивающей получение спектральных характеристик и их анализ в фазовом пространстве состояний для представления непериодических сигналов в виде непрерывной функции  $x=x(t)$  и анализа амплитудно-частотных и фазовых характеристик сигнала.

**Метод идентификации параметров квазиаттракторов поведения вектора состояния биосистем в  $m$ -мерном фазовом пространстве состояний.** Расчет параметров *квазиаттракторов* производился с помощью программ для ЭВМ, зарегистрированных в Федеральном агентстве по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам [7]. Для получения *квазиаттракторов* использовались фазовые координаты  $x_1$  и  $x_2=dx/dt$ , которые описывались в рамках ТХС.

Локальное холодное гипотермическое воздействие на конечность испытуемого приводило к некоторым рефлексорным реакциям за счет раздражения рецепторных температурных полей. Эксперимент заключался в следующем: испытуемым необходимо было удерживать палец руки в статическом положении над токовихревым датчиком на определенном расстоянии без воздействия, а затем после ги-

потермического воздействия.

При этом предварительно рассчитывались площади *квазиаттракторов* регистрируемых треморограмм для всех 45 испытуемых в координатах  $x_i=x_i(t)$  – положение пальца по отношению к датчику,  $x_2=dx_1/dt=x_2(t)$ . Расчет площади (в общем случае объема  $V_G$ , т.к.  $x_3=dx_2/dt$ ) производился на основе

общей формулы  $V_G^k = \prod_{i=1}^m D_i^k$ . Полученная

матрица площадей  $S$  *квазиаттракторов* (размерностью  $15 \times 4$  в зимний период и  $15 \times 6$  в весенний период) представлялась в виде табл. 1. Четыре столбца в зимний период и шесть столбцов в весенний период образовывали параметры некоторого вектора состояния  $x=(x_1, x_2, \dots, x_5)^T$ , который характеризовал группу из 15 человек с позиций параметров тремора руки до и после локального холодного воздействия в зимний и весенний периоды.

В результате исследований были установлены ряд закономерностей в рамках ТХС [8-10].

**Анализ амплитудно-частотных характеристик параметров треморограмм студентов при влиянии локального холодного воздействия в зимний и весенний периоды.** В результате выполненных исследований выявлена закономерность: непроизвольные движения кисти имеют ряд характеристик, выраженных для всех групп испытуемых, а именно:

1. Установлены максимумы амплитудно-частотных характеристик вблизи 2-4 Гц.

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

3. Отмечены в некоторых гистограммах четкие максимумы в области 9-11 Гц, которые более выражены в амплитудно-частотных характеристиках студентов (симпатотоников).

Во всех случаях фиксировались треморограммы для кисти (фиксация руки в лучезапястном суставе) верхней свободной конечности испытуемых.

В результате обработки нативных данных параметров тремора (анализ спектра периодических биомеханических показателей человека) с помощью программы

«Charts3» были получены амплитудно-частотные характеристики треморограмм для всех групп исследования. Наиболее характерные примеры для трех групп исследования в разные сезоны года представлены на рис. 3-6.

Динамика параметров треморограмм, отмеченная на рис. 3 и 4 демонстрирует существенную разницу в поведении значений амплитуд во времени (рис. 3а и 4а), а так же амплитудно-частотных характеристик треморограмм до и после локального холодового воздействия (рис. 3б и 4б).

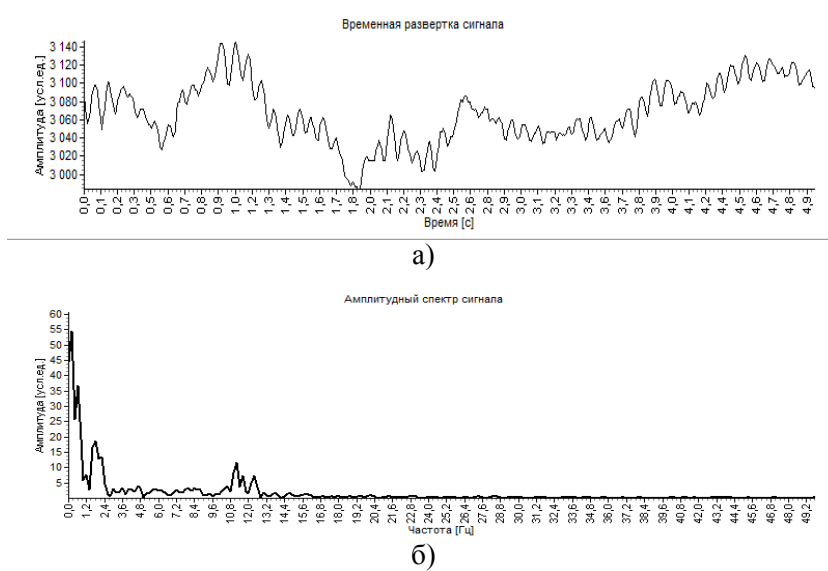


Рис.3. Динамика амплитуд параметров треморограмм во времени на примере испытуемого МЮВ – а) и амплитудно-частотных характеристик микродвижений пальцев кисти испытуемого МЮВ – б) в группе сравнения (не закаливающиеся) до локального холодового воздействия. Здесь: по оси у – амплитуда (у.е.): по оси х – на а) – время (сек.), б) – частота (Гц)

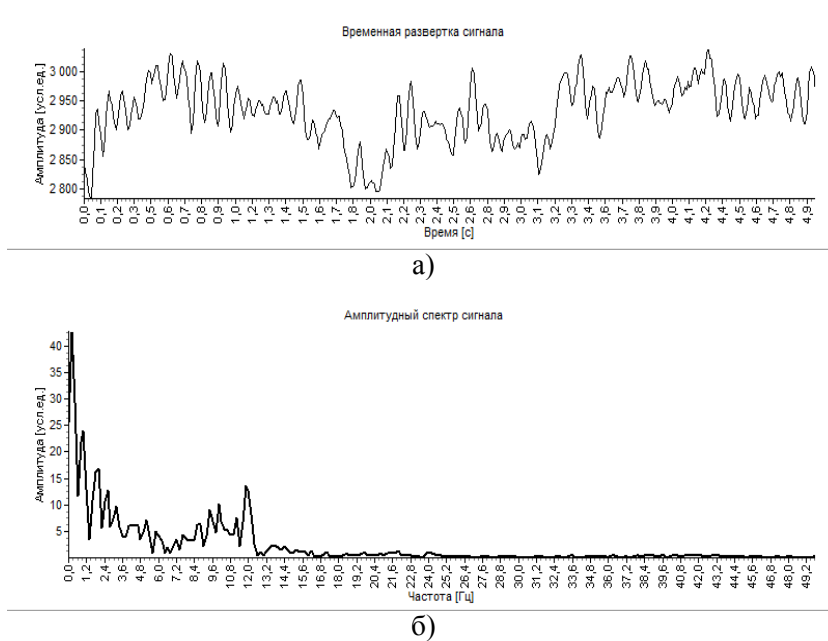


Рис.4. Динамика амплитуд параметров треморограмм во времени на примере испытуемого МЮВ – а) и амплитудно-частотных характеристик микродвижений пальцев кисти испытуемого МЮВ – б) в группе сравнения (не закаливающиеся) после локального холодового воздействия. Здесь: по оси у – амплитуда (у.е.): по оси х – на а) – время (сек.), б) – частота (Гц)

На рис. 3 и 4 наблюдается увеличение амплитуды тремора после воздействия в области низких и средних частотах (от 1,2 до 6 Гц) с переходом на высокие (больше 6 Гц). Отмечено наличие ярко выраженного пика в районе 10-12 Гц как до, так и после локального холодового воздействия, причем после воздействия амплитуда этого пика становится более явно выраженной.

Из рис. 5 и 6 видно, что существует разница в поведении как динамики значений амплитуд во времени, так и амплитудно-частотных характеристик треморограмм до и после локального холодового воздействия.

На рис. 5 и 6 отмечено увеличение значений амплитуд после локального холодового воздействия в области низких частот (от 1,2 до 2 Гц), а также незначительное увеличение в области средних частот (от 2 до 6 Гц). В области высоких частот отмечено наличие ярко выраженного пика в районе 10 Гц как до, так и после холодового воздействия, причем после воздействия амплитуда 10 Гц пика заметно уменьшается и не превышает 15 у.е. в отличие от значения до нагрузки (около 30 у.е.).

Программа «Charts-3» предназначена для анализа данных во временной и спектральной областях. С помощью этой программы нами был выполнен амплитудно-

частотный анализ для каждого испытуемого (во всех группах исследования) и зафиксированы значения амплитуд до 50 Гц, через каждые 0,2 Гц. Итого для каждого испытуемого было получено 125 значений амплитуд в условных единицах (у.е.) от 0 до 50 Гц.

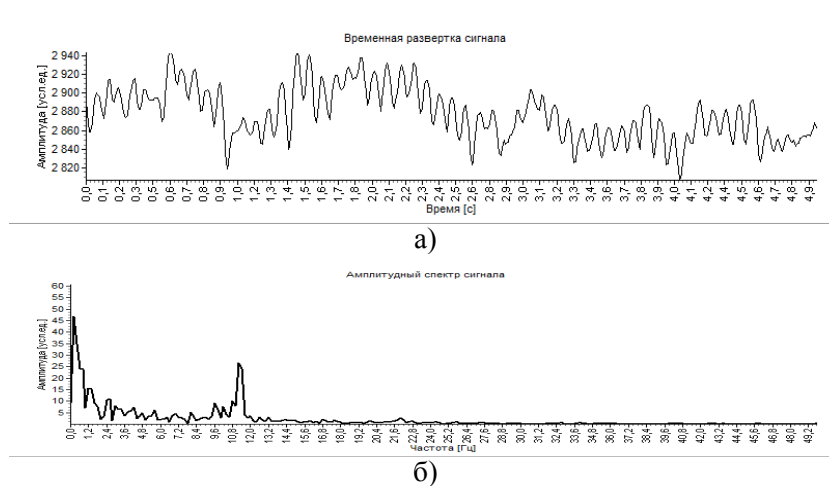


Рис.5. Динамика амплитуд параметров треморограмм во времени на примере испытуемого МХС – а) и амплитудно-частотных характеристик микродвижений пальцев кисти испытуемого МХС – б) в 1 группе наблюдения (закаливающиеся менее 1 года) до локального холодого воздействия. Здесь: по оси у – амплитуда (у.е.): по оси х – на а) – время (сек.), б) – частота (Гц)

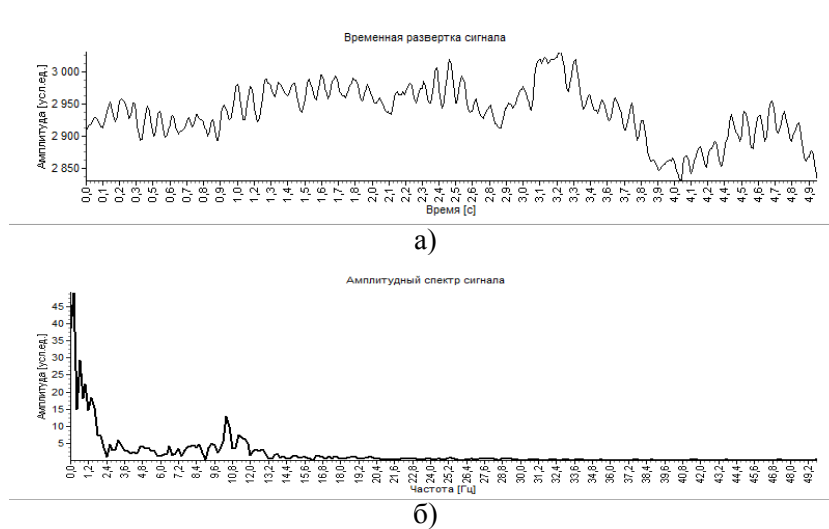


Рис.6. Динамика амплитуд параметров треморограмм во времени на примере испытуемого МХС – а) и амплитудно-частотных характеристик микродвижений пальцев кисти испытуемого МХС – б) в 1 группе наблюдения (закаливающиеся менее 1 года) после локального холодого воздействия. Здесь: по оси у – амплитуда (у.е.): по оси х – на а) – время (сек.), б) – частота (Гц)

Затем с помощью пакета прикладных программ «Excel MS Office-2010» было вы-

полнено усреднение амплитуд параметров тремора на каждой частоте (от 0 до 50 Гц) суперпозиция для 15 человек во всех группах исследования (для зимнего и осеннего периодов исследования). Далее для всех групп исследования по медианам амплитуд параметров треморограмм были построены амплитудно-частотные характеристики до и после локального холодого воздействия.

Для построения АЧХ были использованы медианы, поскольку дискретные значения тремора имеют распределение, отличное от нормального (тип распределения определяли с помощью критерия Шапиро-Уилка). Данные представлялись в виде медианы и интерпроцентильного размаха. Интерпроцентильный размах указывается в виде 5 и 95% процентилей.

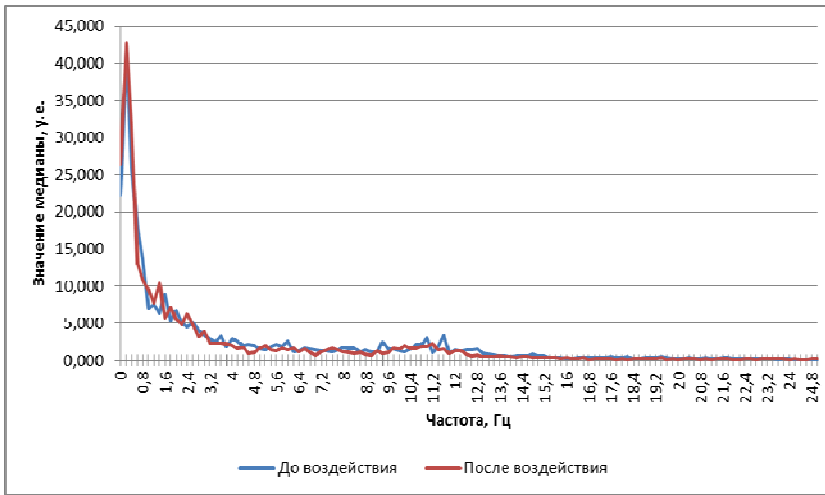
Следует отметить (рис. 7), что изменение значений медиан по частотам до и после локального холодого воздействия в группе сравнения в зимний период не имеет явно выраженных пиков, за исключением небольших по амплитуде пиков (не более 5 у.е.) в области 11-12 Гц, которые нивелируются после холодого воздействия.

Основываясь на статистически обработанных данных амплитудно-частотных характеристик тремора группы сравнения до воздействия, необходимо отметить, что от 0 до 10 Гц наблюдается преобладание параметрического типа распределения ( $p > 0,05$ ). Начиная с 10 Гц и далее на более высоких частотах начинает преобладать непараметрическое распределение значений ( $p < 0,05$ ). Похожая тенденция

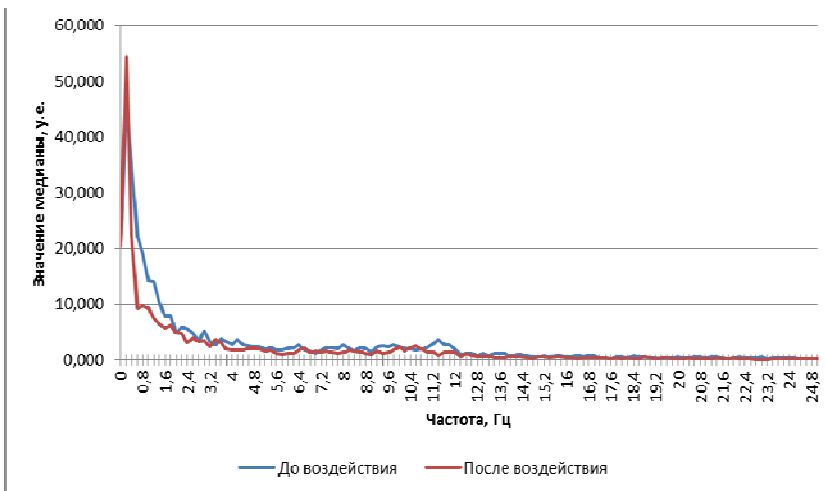
отмечается после холодого воздействия, при котором также наблюдается преобла-



дание параметрического распределения на частотах от 0 до 7 Гц ( $p > 0,05$ ), а после локального холодого воздействия также начинает преобладать непараметрическое распределение значений ( $p < 0,05$ ).



*Рис. 7.* Амплитудно-частотные характеристики медиан параметров треморограмм (микродвижений пальцев кисти руки) студентов в группе сравнения (не закаливающиеся) до и после локального холодого воздействия в зимний период (суперпозиция 15 человек) при опоре в лучезапястном суставе. Здесь: по оси  $y$  – амплитуда в условных единицах (у.е.); по оси  $x$  – частота в герцах (Гц)



*Рис. 8.* Амплитудно-частотные характеристики медиан параметров треморограмм (микродвижений пальцев кисти руки) студентов в 1 группе наблюдения (закаливающиеся менее 1 года) до и после локального холодого воздействия в зимний период (суперпозиция 15 человек) при опоре в лучезапястном суставе. Здесь: по оси  $y$  – амплитуда в условных единицах (у.е.); по оси  $x$  – частота в герцах (Гц)

Установлено (рис. 8), что в динамике медиан по частотам до и после локального холодого воздействия в группе студентов, закаливающих менее одного года в

зимний период также нет существенных различий в параметрах треморограмм до и после локального холодого воздействия. Суперпозиция 15 значений амплитуд показала наличие пика в области 11,5 Гц, который исчезает после воздействия холодом. Практически на всех частотах после локального холодого воздействия отмечается снижение амплитуд тремора, по сравнению со значениями без воздействия.

Статистический анализ параметров тремора показала, что до локального холодого воздействия на частотах от 0 до 10 Гц наблюдается преобладание параметрического типа распределения ( $p > 0,05$ ). Начиная с 10 Гц и далее, т.е. в высокочастотной области начинает преобладать непараметрическое распределение значений параметров треморограмм ( $p < 0,05$ ). Параметрическое распределение наблюдается после локального холодого воздействия на частотах от 0 до 9 Гц ( $p > 0,05$ ), в высокочастотной области также отмечено преобладать непараметрическое распределение значений тремора ( $p < 0,05$ ).

На рис. 9 представлена динамика АЧХ значений медиан до и после локального холодого воздействия в группе сравнения в весенний период, в которой также нет ярко выраженных пиков с большими амплитудами. Отмечается небольшая гармоника в области 11,5 Гц (аналогичный пик установлен в этой группе студентов в зимний период, закаливающих менее 1 года) до воздействия холодом, который исчезает после локального холодого воздействия.

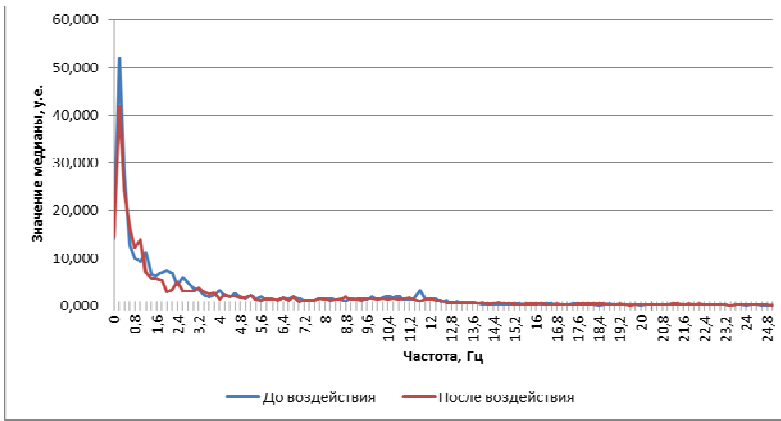
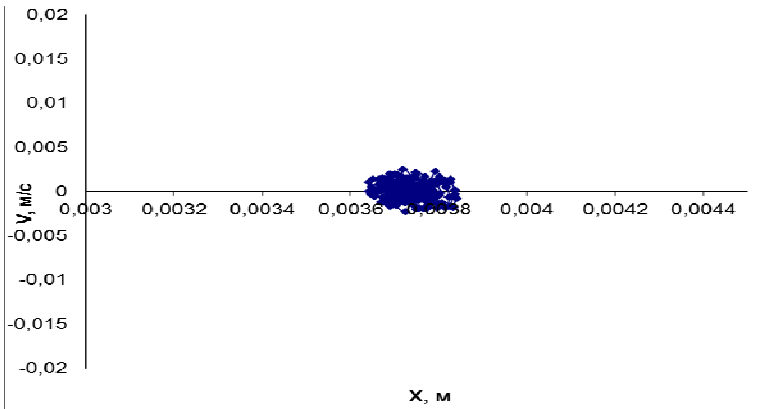
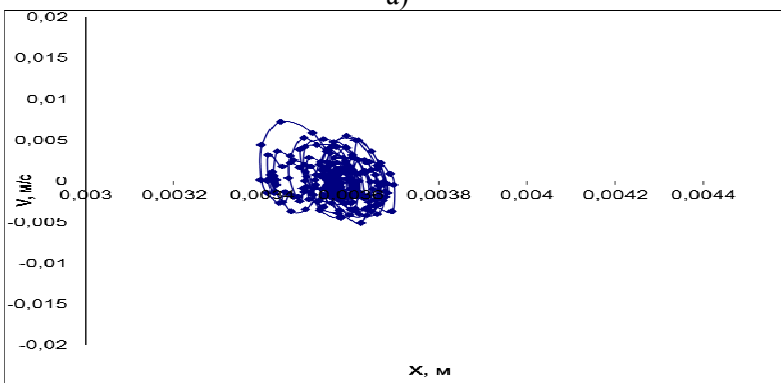


Рис.9. Амплитудно-частотные характеристики медиан параметров треморограмм (микродвижений пальцев кисти руки) студентов в группе сравнения (не закаливающиеся) до и после локального холодого воздействия в весенний период (суперпозиция 15 человек) при опоре в лучезапястном суставе. Здесь: по оси  $y$  – амплитуда в условных единицах (у.е.): по оси  $x$  – частота в герцах (Гц)



а)



б)

Рис.10. Фазовый портрет параметров треморограмм испытуемого ДАР в зимний период из группы сравнения (не закаливающиеся) с координатами  $x_1, x_2 = dx_1/dt$ : а) конфигурация квазиаттрактора до локального холодого воздействия  $S_{KA} = 0,94 \cdot 10^{-6}$  у.е.; б) изменения конфигурации квазиаттрактора после локального холодого воздействия  $S_{KA} = 3,72 \cdot 10^{-6}$  у.е.

**Особенности динамики параметров площадей квазиаттракторов в условиях локального холодого воздействия в разные сезоны года с использованием классической статистики.** Постуральный тремор всегда рассматривался как пример непроизвольного движения, причем повторную траекторию тремора воспроизвести невозможно. Движение пальца (с физической точки зрения) происходит в фазовом пространстве размерностью  $m=3$  (т.е. ВСС  $x=x(t)=(x_1, x_2, x_3)^T$ ), а в более упрощенном виде используется только фазовая плоскость вектора  $x=x(t)=(x_1, x_2)^T$ . В этих фазовых пространствах можно построить квазиаттракторы и сравнить их параметры.

Расчет параметров квазиаттракторов производился по программам для ЭВМ, зарегистрированным в Федеральном агентстве по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам [21].

При этом мы предварительно рассчитывали площади квазиаттракторов регистрируемых треморограмм для всех 45 испытуемых в координатах  $x_i = x_i(t)$  – положение пальца по отношению к датчику,  $x_2 = dx_1/dt = x_2(t)$ . Расчет площади (в общем случае объема  $V_G$ , т.к.  $x_3 = dx_2/dt$ ) производился на основе

общей формулы  $V_G^k = \prod_{i=1}^m D_i^k$ , где

$D_i^k$  представляли вариационные размахи по каждой  $x_i$  координате. Любой динамический отрезок (траектория пальца в пространстве) для координат  $x_1(t)$  и  $x_2(t)$  в фазовом пространстве неповторим и невозпроизводим. Это движение хаотическое, но в пределах ограниченных объёмов фазового пространства (квазиаттракторов). Квазиаттрактор можно повторить и он может изучаться в ТХС.



Таблица 1

**Значения площадей параметров квазиаттракторов треморограмм всех групп в разные сезоны года до и после локального холододового воздействия ( $Z \times 10^{-6}$  у.е.)**

№	Значения площадей КА - $Z \times 10^{-6}$ (у.е.) в зимний период					
	Группа сравнения		1 группа наблюдения			
	До воздействия	После воздействия	До воздействия	После воздействия	До воздействия	После воздействия
1	1,97	5,40	1,76	0,71		
2	1,59	1,91	0,70	0,99		
3	0,94	3,72	0,91	1,35		
4	0,76	4,80	1,13	0,92		
5	0,54	3,82	1,75	1,54		
6	0,37	2,77	0,56	1,06		
7	0,49	1,70	1,00	1,20		
8	1,25	1,87	0,14	1,10		
9	0,62	4,18	0,53	1,44		
10	2,00	2,77	0,37	0,95		
11	1,66	2,99	1,46	1,23		
12	1,23	4,77	2,73	1,23		
13	1,08	3,12	0,37	1,02		
14	5,40	3,18	1,82	0,87		
15	0,84	1,43	2,42	1,18		
№	Значения площадей КА - $Z \times 10^{-6}$ (у.е.) в весенний период					
	Группа сравнения		1 группа наблюдения		2 группа наблюдения	
	До воздействия	После воздействия	До воздействия	После воздействия	До воздействия	После воздействия
1	2,73	9,89	0,50	2,61	1,79	0,58
2	0,99	3,88	0,60	1,49	0,51	0,51
3	1,22	4,23	0,70	1,14	0,38	0,42
4	0,82	0,56	1,59	1,21	0,61	0,32
5	0,98	1,84	1,63	3,82	0,21	0,39
6	0,49	0,67	1,80	1,65	0,69	0,47
7	0,25	2,86	0,77	1,27	1,11	0,61
8	1,24	0,73	0,23	3,08	1,01	0,65
9	0,48	0,99	0,21	1,04	0,37	0,52
10	1,17	3,02	0,69	0,39	0,21	0,71
11	1,34	15,69	0,70	9,33	0,28	0,95
12	0,95	2,41	8,35	4,71	1,10	0,41
13	1,52	4,05	1,33	3,24	1,27	0,54
14	2,43	3,28	1,26	1,30	3,55	0,49
15	0,97	3,32	1,93	2,80	0,38	0,30

Полученная матрица площадей  $S$  квазиаттракторов (размерностью  $15^4$  в зимний период и  $15^6$  в весенний период) представлялась в виде табл. 1. Четыре столбца в зимний период и шесть столбцов в весенний период образовывали параметры некоторого вектора состояния  $x=(x_1, x_2, \dots, x_5)^T$ , который характеризовал группу из 15 человек с позиций параметров тремора руки до и после локального холододового воздействия в зимний и весенний периоды.

Были рассчитаны все площади квазиаттракторов для 45 испытуемых до и после локального холододового воздействия. Для всех полученных кинематограмм были по-

строены фазовые портреты микродвижений в координатах  $x_i$  ( $x_i=x_i(t)$ , т.е. удаления пальца от датчика, и  $x_2=dx_1/dt$  (скорость перемещения пальца) [23, 24]. Был проведен сравнительный статистический анализ поведения динамической системы управления движениями в режиме покоя и при локальном холододовом воздействии на фазовой плоскости методом многомерных фазовых пространств.

Характерный пример фазового портрета для испытуемого ДАР представлен на рис. 10 (в данном случае размерность фазового пространства была равна двум). Легко видеть, что в данном примере размер площади квазиаттрактора вырос почти в 4 раза после локального холододового воздействия (это индивидуальная реакция). В большинстве случаев в зимний период в группе сравнения значения площадей квазиаттракторов увеличивались после локального холододового воздействия, а в группе наблюдения отмечалось как

увеличение, так и снижение площадей квазиаттракторов – после воздействия холодом, что представлено в табл. 1.

Характерный пример фазового портрета испытуемого ВЛК из 1 группы наблюдения (студентов, закаливающихся менее года) представлен на рис. 11. Размер площади квазиаттрактора вырос почти в 1,5 раза после локального холододового воздействия.

Отметим, что в группе студентов, занимающихся закаливанием около года площади квазиаттракторов после воздействия холодом имеют не такую выраженную динамику увеличения, как в группе сравнения.

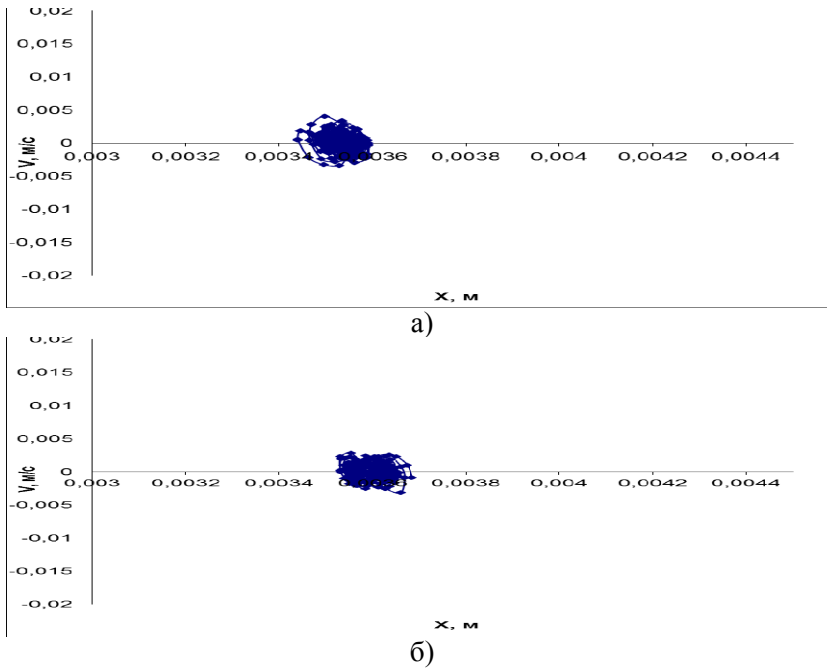


Рис.11. Фазовый портрет параметров треморограмм испытуемого ВЛК в зимний период из 1 группы наблюдения (закаливающиеся менее 1 года) с координатами  $x_1, x_2 = dx_1/dt$ : а) конфигурация квазиаттрактора до локального холодного воздействия  $S_{КА}=0,91 \times 10^{-6}$  у.е.; б) изменения конфигурации квазиаттрактора после локального холодного воздействия  $S_{КА}=1,35 \times 10^{-6}$  у.е.

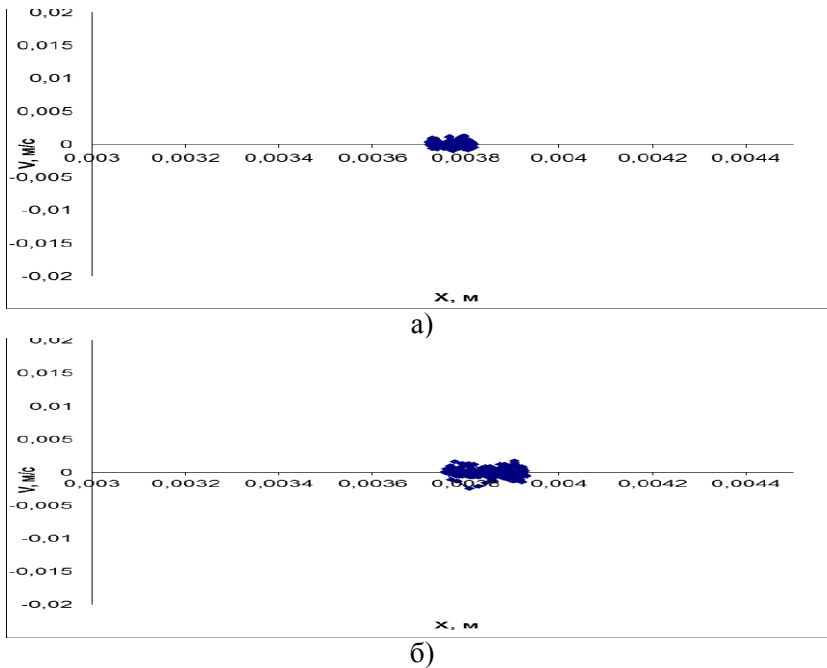


Рис.12. Фазовый портрет параметров треморограмм испытуемого ОЕВ в весенний период из 2 группы наблюдения (закаливающиеся более 2 лет) с координатами  $x_1, x_2 = dx_1/dt$ : а) конфигурация квазиаттрактора до локального холодного воздействия  $S_{КА}=0,21 \times 10^{-6}$  у.е.; б) изменения конфигурации квазиаттрактора после локального холодного воздействия  $S_{КА}=0,71 \times 10^{-6}$  у.е.

Другая реакция отмечается в группе студентов, занимающихся закаливании более 2 лет. Характерный пример фазового портрета для испытуемого ОЕВ представлен на рис. 12 (в данном случае размерность фазового пространства была равна двум). Размер площади квазиаттрактора также увеличился после холодного воздействия, но незначительно, что свидетельствует об адаптации организма к воздействию холодом.

В табл. 2 представлена динамика площадей квазиаттракторов 30 испытуемых до и после локального холодного воздействия в зимний период. Площади квазиаттракторов увеличиваются после воздействия холодом в группе сравнения, а в группе студентов, занимающихся закаливанием менее года, у отдельных испытуемых отмечается, наоборот, уменьшение площадей квазиаттрактора, что говорит об ответной реакции нервно-мышечной системы на внешнее неблагоприятное воздействие и адаптацию к холоду некоторых испытуемых (выполняющих закаляющие процедуры). В весенний период установлена несколько иная реакция на холодное воздействие. Динамика площадей квазиаттрактора в весенний период представлена в табл. 3.

Наибольшее увеличение площади наблюдается у группы сравнения, и оно составляет 1,85 у.е. зимой и 2,66 у.е. весной. Для 1 группы наблюдения разница составила 0,06 у.е. зимой (произошло незначительное уменьшение площади) и 1,12 у.е. весной. Для 2 группы наблюдения весной

площадь квазиаттрактора уменьшилась на 0,38 у.е. Следует отметить, что чем более группа испытуемых подготовлена к воздействию холода, тем меньше изменение площадей квазиаттракторов мы наблюдаем.

Таблица 2

**Результаты статистической обработки данных динамики площадей квазиаттракторов параметров треморограмм ( $Z \times 10^{-6}$  у.е.) в зимний период в группе сравнения (не закаливающиеся) и 1 группе наблюдения (закаливающиеся менее 1 года) до и после локального холододового воздействия**

№	Зима			
	Группа сравнения		1-я группа наблюдения	
	до воздействия (*10-6 у.е.)	после воздействия (*10-6 у.е.)	до воздействия (*10-6 у.е.)	после воздействия (*10-6 у.е.)
1	1,97	5,40	1,76	0,71
2	1,59	1,91	0,70	0,99
3	0,94	3,72	0,91	1,35
4	0,76	4,80	1,13	0,92
5	0,54	3,82	1,75	1,54
6	0,37	2,77	0,56	1,06
7	0,49	1,70	1,00	1,20
8	1,25	1,87	0,14	1,10
9	0,62	4,18	0,53	1,44
10	2,00	2,77	0,37	0,95
11	1,66	2,99	1,46	1,23
12	1,23	4,77	2,73	1,23
13	1,08	3,12	0,37	1,02
14	5,40	3,18	1,82	0,87
15	0,84	1,43	2,42	1,18
ср.	1,38	3,23	1,18	1,12

**Заключение.** Закономерности установленные методами классической статистики при вычислении параметров функций распределения треморограмм показали отсутствие возможности рассматривать параметры этих треморограмм как нормальное распределение. Наблюдается постоянное изменение функций распределения у разных людей в разных группах исследования: чаще встречается непараметрическое распределение, причем группы статистически значимо отличаются друг от друга. Асимметрия параметров треморограмм с позиций ТХС более выражена, чем с позиций стохастического подхода.

Таблица 3

**Результаты статистической обработки данных динамики площадей квазиаттракторов параметров треморограмм ( $Z \times 10^{-6}$  у.е.) в весенний период в группе сравнения (не закаливающиеся), 1 группе наблюдения (закаливающиеся менее 1 года) и 2 группе наблюдения (закаливающиеся более 2 лет) до и после локального холододового воздействия**

№	Весна					
	группа сравнения		1 группа наблюдения		2 группа наблюдения	
	до воздействия (*10-6 у.е.)	после воздействия (*10-6 у.е.)	до воздействия (*10-6 у.е.)	после воздействия (*10-6 у.е.)	до воздействия (*10-6 у.е.)	после воздействия (*10-6 у.е.)
1	2,73	9,89	0,50	2,61	1,79	0,58
2	0,99	3,88	0,60	1,49	0,51	0,51
3	1,22	4,23	0,70	1,14	0,38	0,42
4	0,82	0,56	1,59	1,21	0,61	0,32
5	0,98	1,84	1,63	3,82	0,21	0,39
6	0,49	0,67	1,80	1,65	0,69	0,47
7	0,25	2,86	0,77	1,27	1,11	0,61
8	1,24	0,73	0,23	3,08	1,01	0,65
9	0,48	0,99	0,21	1,04	0,37	0,52
10	1,17	3,02	0,69	0,39	0,21	0,71
11	1,34	15,69	0,70	9,33	0,28	0,95
12	0,95	2,41	8,35	4,71	1,10	0,41
13	1,52	4,05	1,33	3,24	1,27	0,54
14	2,43	3,28	1,26	1,30	3,55	0,49
15	0,97	3,32	1,93	2,80	0,38	0,30
ср.	1,17	3,83	1,49	2,61	0,90	0,52

Локальное холододовое воздействие изменяет значения параметров квазиаттракторов треморограмм, о чем свидетельствуют изменения их площадей. Качественно изменение хаотической динамики можно увидеть на изменении геометрии и конфигурации квазиаттракторов на фазовой плоскости, количественные характеристики которых наиболее статистически значимо уменьшаются после локального холододового воздействия в группе людей, закаливающих более 2 лет (до воздействия  $S_{KA}=0,61 \times 10^{-6}$  у.е. и после  $S_{KA}=0,51 \times 10^{-6}$  у.е.), в отличие от группы сравнения в которой отмечается увеличение площадей (до воздействия  $S_{KA}=0,99 \times 10^{-6}$  и  $S_{KA}=3,02 \times 10^{-6}$  у.е.).

### Литература

1. Агошков В.В., Румба О.Г. Особенности влияния термогидропроцедур на соматическое здоровье и функциональные

возможности организма студентов // ФВС.– 2012, №6.– С. 5–8.

2. Буюк М.А., Буганов А.А. Развитие окислительного стресса у жителей высоких широт при воздействии факторов Крайнего Севера // Гигиена и санитария.– 2009, №1.– С. 15–17.

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. 30–36.

4. Голохваст К.С., Чайка В.В. Некоторые аспекты механизма влияния низких температур на человека и животных // Вестник новых медицинских технологий.– 2011.– Т. 18, №2.– С. 486–487.

5. Гудков А.Б., Попова О.Н., Лукманова Н.Б. Эколого-физиологическая характеристика климатических факторов Севера // Экология человека.– 2012, №1.– С. 12–17.

6. Еськов В.М., Брагинский М.Я. Алгоритм анализа нормального или патологического изменения треморограмм человека в условиях статических и динамических нагрузок/ Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №20000610599, Роспатент.– Москва, 2000.

7. Еськов В.М., Брагинский М.Я., Русак С.Н., Устименко А.А., Добрынин Ю.В. Программа идентификации параметров аттракторов поведения вектора состояния биосистем в m-мерном фазовом пространстве/ Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2006613212 от 13 сентября 2006 г., Роспатент.– Москва, 2006.

8. Еськов В.М., Гавриленко Т.В., Еськов В.В., Хадарцев А.А., Балтикова А.А. Программа разбиения индивидуумов на приблизительно одинаковые группы по оценке межаттракторных расстояний путем построения матриц этих расстояний // Свидетельство об официальной регистрации программы на ЭВМ №2013611829 от 06 февраля 2013 г., Роспатент.– Москва, 2013.

9. Еськов В.М., Брагинский М.Я., Козлова В.В., Джалилов М.А., Баженова А.Е. Биомеханическая система для изуче-

ния микродвижений конечностей человека: хаотические и стохастические подходы в оценке физиологического тремора // Вестник новых медицинских технологий.– 2011.– Т. 18, №4.– С. 44–48.

10. Еськов В.М., Гавриленко Т.В., Дегтярев Д.А., Еськов В.В., Балтикова А.А. Динамика квазиаттракторов параметров произвольных микродвижений конечностей человека как реакция на локальные термические воздействия // Вестник новых медицинских технологий.– 2012.– Т.19, №4.– С. 26–29.

11. Кондаков В.Л., Гончарук С.В. Управление формирование направленности личности студента на занятия физической культуры // Теория и практика физической культуры, 2007.– С. 15–19.

12. Марченков А.П., Филиппова И.В. Производственный микроклимат, теплообмен и терморегуляция организма человека // Вестник НЦ БЖД.– 2011, №4.– С. 19–22.

13. Попова О.Н., Гудков А.Б. Морфофункциональные особенности дыхательной системы у северян // Экология человека.– 2009, №2.– С. 53–58.

14. Слепнева Л.Я. Закаливание детей дошкольного возраста [Электронный ресурс] // Психология, социология и педагогика.– 03.2013.– № 4.– <http://psychology.snauka.ru/2013/04/2029>> (25.05.2014).

15. Фадеев О.В., Глушков П.Ю., Маркелов А.А. Закаливание в системе здорового образа жизни // Молодой ученый.– 2013, №11.– С. 784–788.

16. Grzegorz A.J., Mariusz M., Dariusz B., Dariusz B. Usage of thermography as indirect non-invasive method of evaluation of physical efficiency. Pilot study // Педагогіка, психологія та медико-біологічні проблеми фізичного виховання спорту.– 2014, №3.– С. 90–94.

17. McKinley M.J., McAllen R.M., Whyte D., Mathai M.L. Central osmoregulatory influences on thermoregulation // Clin. Exp. Pharm. Physiol.– 2008.– Vol. 35 (5-6).– P. 701–705.

18. Shitzer A. A parametric analysis of wind chill equivalent temperatures by a dimen-

sionless, steady-state analysis // Int. J. Biometeor.– 2006.– Vol. 50, №4.– P. 215–223.

### References

1. Agoshkov VV, Rumba OG. Osobnosti vliyaniya termogidroprotsedur na somaticheskoe zdorov'e i funktsional'nye vozmozhnosti organizma studentov. FVS. 2012;6:5-8. Russian.
2. Buyak MA, Buganov AA. Razvitie oksislitel'nogo stressa u zhitel'ey vysokikh shirot pri vozdeystvii faktorov Kraynego Severa. Gigiena i sanitariya. 2009;1:15-7. 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):30-6. Russian.
4. Golokhvast KS, Chayka VV. Nekotorye aspekty mekhanizma vliyaniya nizkikh temperatur na cheloveka i zhivotnykh [Several aspects of the mechanism of low temperature effect upon human beings and animals (literary review)]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2011;18(2):486-7. Russian.
5. Gudkov AB, Popova ON, Lukmanova NB. Ekologo-fiziologicheskaya kharakteristika klimaticheskikh faktorov Severa. Ekologiya cheloveka. 2012;1:12-7. Russian.
6. Es'kov VM, Braginskiy MYa. Algoritm analiza normal'nogo ili patologicheskogo izmeneniya tremorogramm cheloveka v usloviyakh staticheskikh i dinamicheskikh nagruzok/ Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM №2000610599, Rospatent. Moscow; 2000. Russian.
7. Es'kov VM, Braginskiy MYa, Rusak SN, Ustimenko AA, Dobrynin YuV. Programma identifikatsii parametrov attraktorov povedeniya vektora sostoyaniya biosistem v m-mernom fazovom prostranstve/ Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM №2006613212 ot 13 sentyabrya 2006 g., Rospatent. Moscow; 2006. Russian.
8. Es'kov VM, Gavrilenko TV, Es'kov VV, Khadartsev AA, Baltikova AA. Programma razbieniya individuumov na priblizitel'no odinakovyie gruppy po otsenke mezhatraktornykh rasstoyaniy putem postroeniya matrits etikh rasstoyaniy // Svidetel'stvo ob ofitsial'noy registratsii programmy na EVM №2013611829 ot 06 fevralya 2013 g., Rospatent. Moscow; 2013. Russian.
9. Es'kov VM, Braginskiy MYa, Kozlova VV, Dzhailov MA, Bazhenova AE. Biomekhanicheskaya sistema dlya izucheniya mikrodvizheniy konechnostey cheloveka: khaoticheskie i stokhasticheskie podkhody v otsenke fiziologicheskogo tremora [Biomechanic system of studying micromovements of human extremities: chaotic and stochastic approaches in the estimate of physiological tremor]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2011;18(4):44-8. Russian.
10. Es'kov VM, Gavrilenko TV, Degtyarev DA, Es'kov VV, Baltikova AA. Dinamika kvaziattraktorov parametrov neproizvol'nykh mikrodvizheniy konechnostey cheloveka kak reaktsiya na lokal'nye termicheskie vozdeystviya [Dynamics of quasiattractors parameters of involuntary micromotions as a response to local thermic influences on human limbs]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2012;19(4):26-9. Russian.
11. Kondakov VL, Goncharuk SV. Upravlenie formirovaniye napravlenosti lichnosti studenta na zanyatiya fizicheskoy kul'tury. Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury; 2007. Russian.
12. Marchenkov AP, Filippova IV. Proizvodstvennyy mikroklimat, teploobmen i termoregulyatsiya organizma cheloveka. Vestnik NTs BZhD. 2011;4:19-22. Russian.
13. Popova ON, Gudkov AB. Morfofunktsional'nye osobennosti dykhatel'noy sistemy u severyan. Ekologiya cheloveka. 2009;2:53-8. Russian.
14. Slepneva LYa. Zakalivanie detey doshkol'nogo vozrasta [Elektronnyy resurs] // Psikhologiya, sotsiologiya i pedagogika. 2013;4:<http://psychology.snauka.ru/2013/04/2029> (25.05.2014). Russian.
15. Fadeev OV, Glushkov PYu, Markev AA. Zakalivanie v sisteme zdorovogo obraza zhizni. Molodoy uchenyy. 2013;11:784-8. Russian.
16. Grzegorz AJ, Mariusz M, Dariusz B, Dariusz B. Usage of thermography as indirect non-invasive method of evaluation of

physical efficiency. Pilot study. *Pedagogika, psikhologiya ta mediko-biologichni problemi fizichnogo vikhovannyai sportu*. 2014;3:90-4.

17. McKinley MJ, McAllen RM, Whyte D, Mathai ML. Central osmoregulatory influences on thermoregulation. *Clin. Exp.*

*Pharm. Physiol.* 2008;35(5-6):701-5.

18. Shitzer A. A parametric analysis of wind chill equivalent temperatures by a dimensionless, steady-state analysis. *Int. J. Biometeor.* 2006;50(4):215-23.