

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ НЕРВНО-МЫШЕЧНОГО КЛАСТЕРА
В УСЛОВИЯХ ДОЗИРОВАННОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Ю. В. БАШКАТОВА, В. А. КАРПИН, Ю. М. ПОПОВ, Ю. В. РАССАДИНА, О. С. ШИЛЯЕВА

«Сургутский государственный университет Ханты-Мансийского автономного округа – Югры»,
проспект Ленина, 1, г. Сургут, Россия, 628412, тел.: +79224078761, e-mail: yuliya-bashkatova@yandex.ru

Аннотация. Изучены параметры нервно-мышечной системы у нетренированных и тренированных испытуемых с позиции теории хаоса и самоорганизации. Установлено существенное различие между двумя исследуемыми группами (тренированных и нетренированных студентов). Динамика произвольных микродвижений конечностей (пальцев рук) человека, как реакция на дозированную физическую нагрузку проявляется в изменении параметров квазиаттракторов характеристик тремора. Прослеживается динамика увеличения объемов квазиаттракторов вектора состояния организма у нетренированных студентов. Излагается новая методика исследования системы управления движениями человека посредством анализа характеристик тремора конечности в условиях физической нагрузки. Показана практическая возможность применения метода многомерных фазовых пространств произвольного микродвижения в оценке реакции нервно-мышечной системы человека на динамическую физическую нагрузку. В качестве меры состояния нервно-мышечной системы человека (до нагрузки и после нагрузки) используют квазиаттракторы движения вектора состояния системы в двухмерном фазовом пространстве состояний.

Ключевые слова: квазиаттрактор, тремор, многомерные фазовые пространства, дозированная физическая нагрузка.

ASSESSMENT OF PARAMETERS STATE OF NEUROMUSCULAR CLUSTER
IN THE CONDITIONS OF THE DOSED PHYSICAL ACTIVITY

YU. V. BASHKATOVA, V. A. KARPIN, YU. M. POPOV, YU. V. RASSADINA, O. S. SHILYAEVA

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

Abstract. Parameters of neuromuscular system at the unexercised and trained examinees from a position of the theory of chaos and self-organization are studied. Essential distinction between two studied groups (the trained and unexercised students) is established. Dynamics of involuntary micro-movements of extremities (fingers of hands) in a person as reaction to the dosed physical activity is shown in change of parameters of quasiattractors of characteristics of a tremor. Dynamics of increase in volumes of quasiattractors of a vector of organism state in the unexercised students is revealed. The new technique of research of a control system by movements of a person by means of the analysis of characteristics of a tremor of an extremity in the conditions of physical activity is stated. Practical possibility of application of the method of multidimensional phase spaces of involuntary micro-movement in the assessment of reaction of neuromuscular system of the person on dynamic physical activity is shown. As a measure of state of human neuromuscular system (to loading and after loading) the authors use the quasiattractors of movement of state vector of system in two-dimensional phase space of states.

Key words: quasiattractor, tremor, multidimensional phase spaces, dosed physical activity.

Введение. На территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры население подвергается комплексному воздействию неблагоприятных климатогеографических факторов, которые оказывают негативное влияние на здоровья и качество жизни каждого жителя Югры. Особое состояние экологических условий у жителей Югры оказывает выраженное влияние на все параметры *функциональных систем организма* (ФСО) человека. Однако в первую очередь явные изменения наблюдаются в состоянии нервно-мышечной и сердечно-сосудистой систем, гармоничная работа которых существенно влияет на жизненно важные процессы, происходящие в организме.

Возникающие негативные изменения в состоянии функциональных систем организма проще всего зарегистрировать на уровне изменений в организме подростка и молодого человека и в первую очередь это касается *нервно-мышечной системы* (НМС) [2-9]. Более яркие адаптивные проявления в работе нервно-мышечной системы можно проследить в условиях нагрузки.

Механическое колебание тканей является одной из важных характеристик двигательных функций ФСО человека. Этот факт наиболее очевиден для сердечно-сосудистой и опорно-двигательной систем, нарушения деятельности в которых приводит не только к снижению уровня качества жизни, но провоцирует развитие патологии [1]. Правильная организация мышечной нагрузки обеспечивает хорошее качество тренировочного процесса и гармоничное физическое развитие.

Исследованию произвольных движений в опорно-двигательной системе уделяется большое внимание со стороны физиологов и врачей. На сегодняшний день остается слабо исследованной проблема моделирования произвольных и произвольных движений человека и животных. Работы ряда авторов в рамках компартиментно-кластерного подхода и стохастического описания двигательных функций человека позволяют объяснить флуктуационные характеристики движений под действием статических и динамических нагрузок [6].

В связи с этим одной из множества научных проблем, интересующих специалистов биологического профиля, является оценка функционального состояния организма и его адаптационных резервов к различного рода воздействиям, в том числе и к физическим нагрузкам. Поэтому возникает необходимость внедрения в биомедицинскую практику современных системных методов для изучения функционального состояния сердечно-сосудистой и вегетативной нервной систем человека.

В настоящее время является целесообразным изучение функциональных резервов организма с помощью системного анализа его исходного состояния, морфофункциональных особенностей в условиях покоя и после нагрузочных тестов [5-12]. Несомненный интерес и для физиологов, и для специалистов в области биологии сложных систем представляет изучение корреляционных взаимоотношений функциональных систем организма в спокойном состоянии и при выполнении физических упражнений у тренированных и нетренированных испытуемых. Такая информация дает возможность оценить качество жизни человека в условиях Севера и обеспечить прогноз развития жизни человека уже во взрослом состоянии.

Такой подход позволяет объективно оценивать динамику резервных возможностей организма, их прогностическую значимость. Назрела необходимость в разработке и использовании новых средств и методов определения адаптационных и функциональных резервов организма и проведении ранней диагностики различных патологических состояний и каких-либо функциональных нарушений.

Цель исследования – оценка состояния нервно-мышечного кластера в условиях дозированной физической нагрузки.

Объекты и методы исследования. Объектом настоящего исследования явились студенты 1-3 курсов ГБОУ ВПО «Сургутского государственного университета Ханты – Мансийского автономного округа – Югры», проживающие на территории округа не менее 5 лет. В зависимости от степени физической активности, испытуемых разделили на 2 группы. В первую группу отнесли студентов, занимающихся физической культурой в рамках общеобразовательной программы университета, основной группы здоровья. Во вторую группу попали студенты СурГУ профессионально занимающиеся игровыми видами спорта, такими как баскетбол и волейбол.

Все исследования студентов соответствовали этическим нормам Хельсинкской декларации (2000 г.), которые были связаны с разработкой методов многомерных фазовых пространств в оценке хаотической динамики параметров тремора.

В исследовании приняла участие группа из 30 человек тренированных и 30 человек нетренированных студентов, которым предлагалась динамическая физическая нагрузка в виде 30 приседаний. В работе использовался автоматизированный комплекс на базе токовых датчиков. Для регистрации микродвижений токовым датчиком использовалась металлическая пластинка, которая крепилась к пальцу испытуемого. Перед испытуемым стояла задача удерживать палец без нагрузки и после ее воздействия, в пределах заданной области, осознанно контролируя неподвижность пальца. Тремограммы обрабатывали по специальным программам, которые включали: получение *амплитудно-частотной характеристики* (АЧХ), построение траектории движения *вектора состояния системы* (ВСС) управления (организации) тремора в координатах $dx/dt=v=x_1$ и $x=x_2$ (x – координата смещения конечности, dx/dt – скорость перемещения). Обработка данных, регистрации тремора конечности испытуемого, проводилась на ЭВМ программой Charts3. С помощью этой программы осуществлялся анализ данных по временным и спектральным характеристикам кинематограмм у тренированных и нетренированных испытуемых, в низко-, средне- и высокочастотном диапазонах. Благодаря запатентованному программному продукту строились фазовые плоскости и рассчитывались площади квазиаттракторов.

Таким образом, были получены массивы данных, характеризующие процессы управления основными жизненными функциями организма человека в условиях дозированной физической нагрузки.

Результаты и их обсуждение. По результатам исследований, нами было изучено влияние динамической нагрузки на группу тренированных и нетренированных студентов для изучения влияния динамических нагрузок на АЧХ треморограмм.

В качестве примера представлены кинематограммы и АЧХ нетренированного испытуемого А и тренированного Б до стандартизированной динамической нагрузки (рис. 1). По временной развертке заметны существенные различия в треморограммах у этих двух испытуемых.

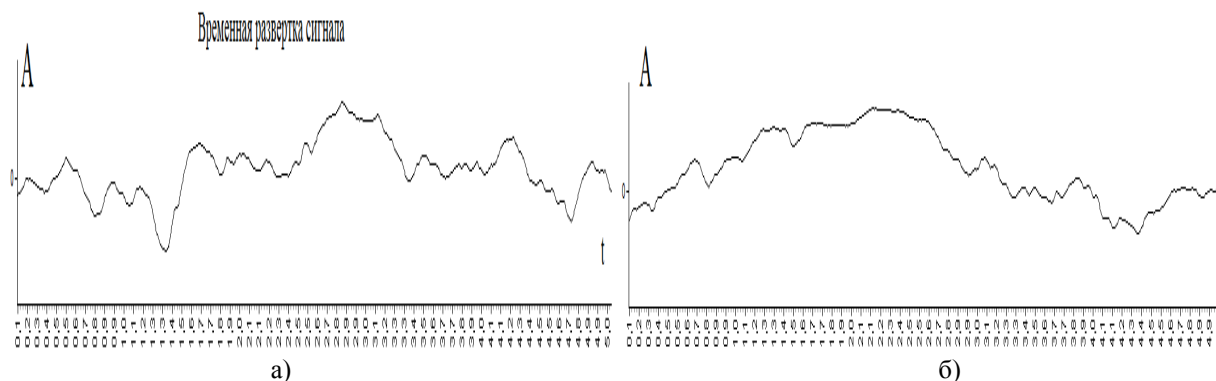


Рис. 1. Временная развертка сигнала, зарегистрированного с пальца испытуемых X и Y до стандартизированной динамической нагрузки: а) нетренированного X; б) тренированного Y (A – амплитуда, у.е., t – время, с)

Более детальный анализ был осуществлен на основе АЧХ полученных сигналов, которые показали, что АЧХ спортсмена Y имеет выраженный максимум около 5 Гц и повышение значения амплитуд в области низких частот (1-2 Гц). По абсолютному значению преобладают АЧХ нетренированных испытуемых. Максимальное значение амплитуды нетренированного испытуемого X до нагрузки 370 у.е., а у тренированного Y около 310 у.е. (условных единиц) (рис. 2).

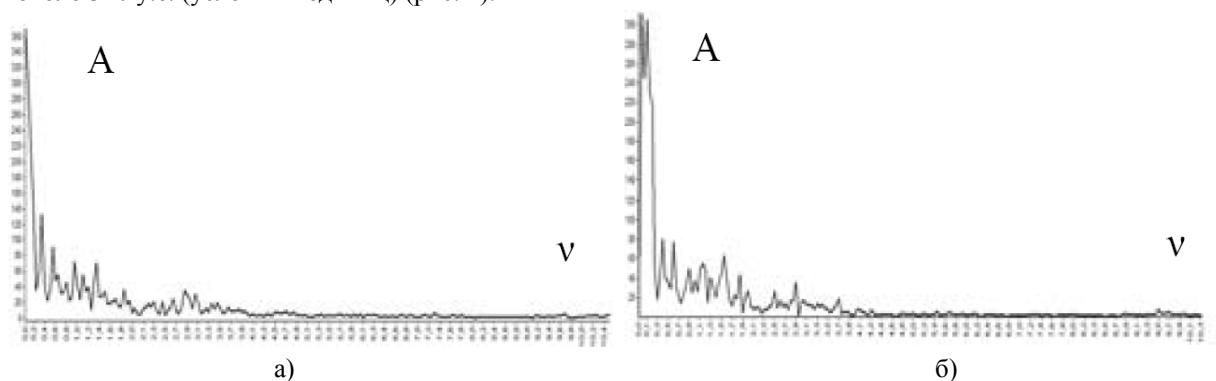


Рис. 2. Амплитудно-частотные характеристики, зарегистрированного с пальца испытуемых до стандартизированной нагрузки: а) нетренированного; б) тренированного (A – амплитуда, у.е., v – частота, Гц.)

На рис. 2 а) ярко выражены пики вблизи частот 0,1 Гц, 0,3 Гц, 0,6 Гц и 1,3 Гц с амплитудой 370, у.е., 130 у.е., 90 у.е. и 70 у.е. соответственно. У тренированного испытуемого на этих частотах амплитудные показатели 310 у.е., 80 у.е., 75 у.е. и 40 у.е. Следует отметить, что десятигерцовый компонент невелик, а низкочастотные компоненты выражены весьма значительно. Результаты исследований показывают, что амплитудно-частотный анализ позволяет выделить определенные (характерные) частоты, которые свойственны именно данному человеку и в данных физических условиях среды.

Дозированная физическая нагрузка вызывает сдвиг максимумов амплитудно-частотных характеристик треморограмм из области 2 Гц в область более низких частот и значительное (чем до нагрузки) усиление десятигерцовых компонент. Динамика 10 Гц компонента амплитудно-частотных характеристик до и после физической нагрузки у испытуемых имела особенности, связанные от уровня подготовленности: у нетренированных лиц амплитуда тремора увеличилась от 370 у.е. до 500 у.е., а у тренированных испытуемых амплитуда наоборот уменьшилась от 310 у.е. до 270 у.е.

По полученным кинематограммам были построены фазовые портреты микродвижений пальцев рук в координатах (рис.3). В качестве фазовых координат, помимо координаты $x_1=x(t)$ перемещения, использовалась координата скорости перемещения пальца $x_2=v(t)=dx_1/dt$. Тогда фазовые плоскости динамики тремора пальца испытуемых A и B до динамической физической нагрузки приняли вид квазиаттракторов, представленных на рис. 3.

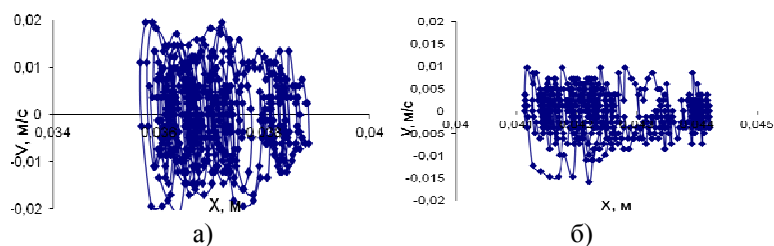


Рис. 3. Фазовые траектории движения пальцев руки до стандартизированной динамической нагрузки: а) нетренированного А; б) тренированного Б

Важным критерием при определении физической подготовки испытуемого является степень изменения площади КА после динамической физической нагрузки (в нашем случае это было 30 приседаний). Легко видеть, что фазовые портреты динамики микроперемещения пальца кисти руки после динамической физической нагрузки нетренированного испытуемого А и тренированного испытуемого Б, которые представлены на рис. 4.а и 4.б демонстрируют характерные относительные изменения после нагрузки.

Из рис. 3 видно, что КА тренированного испытуемого Б смещается в область больших значений x_1 . КА тренированного испытуемого Б исходно характеризуется большим значением ($2,7E-03$), чем КА нетренированного А ($1,6E-03$).

На рис. 3 демонстрируется изменение размеров квазиаттракторов нетренированного испытуемого А, и тренированного Б после нагрузки. При сравнении квазиаттракторов нетренируемого испытуемого до (рис. 3.а) и после (рис.4.а) динамической нагрузки, наблюдается увеличение КА (с $1,6E-03$ до $6,2E-03$). До нагрузки, по оси Х квазиаттрактор располагался в диапазоне от $0,036$ м до $0,039$ м, после $0,034$ м до $0,040$ м.

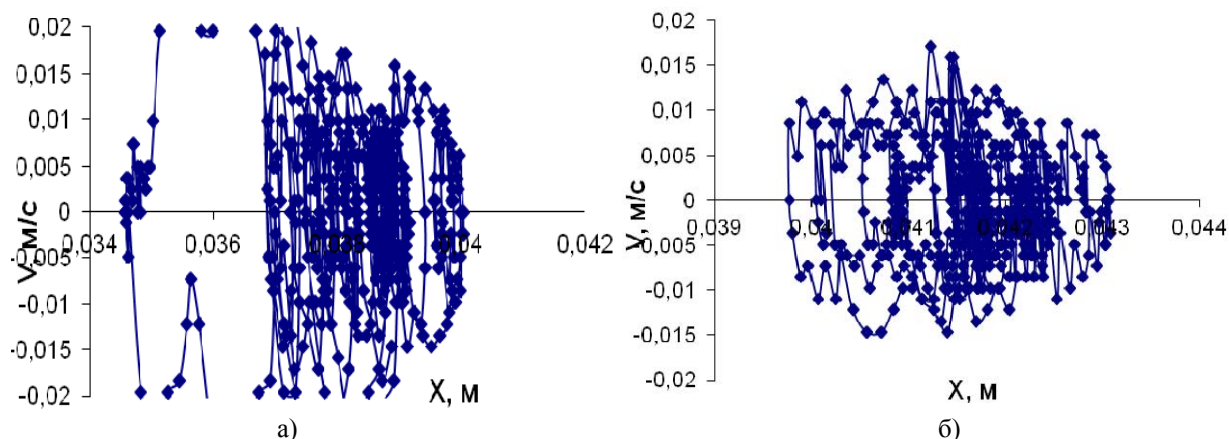


Рис. 4. Фазовые траектории движения пальцев руки после стандартизированной динамической нагрузки: а) нетренированного А; б) тренированного Б.

Таблица

Площади квазиаттракторов у нетренированного и тренированного испытуемых (А и Б) до и после нагрузки

Площади квазиаттрактора	Нетренированный	Тренированный
До нагрузки	$1,6E-03$	$2,7E-03$
После нагрузки	$6,2E-03$	$3,2E-03$

При рассмотрении динамики $x(t)$ на фазовой плоскости (рис.4), можно зарегистрировать некоторое увеличение площади КА. Площадь КА нетренированного испытуемого составила $6,2E-03$, а для тренированного – $3,2E-03$.

По результатам таблицы делаем вывод, что площадь КА нетренированного испытуемого А после нагрузки увеличилась в 3,9 раза. Площадь КА тренированного испытуемого Б увеличилась только в 1,2 раза. Таким образом, дозированная нагрузка вызывает однонаправленное изменение размеров квазиаттрактора (в сторону увеличения площади у нетренированных и некоторого уменьшения или неизменности площади у тренированных).

Выводы. С использованием авторских методов регистрации произвольных движений человека выполнен анализ амплитудных микродвижений конечности. Спектральный анализ микродвижений конечности до физической нагрузки и после показал возможность регистрации изменения амплитудно-частотной характеристики тремора. Измерения доказывают возможность выделения характерных частот в области низкочастотного диапазона, которые могут представлять физиологические характеристики человека и его реакцию на физическую нагрузку. Однако, сами параметры АЧХ демонстрируют неустойчивость (по частоте).

Состояние параметров тремора у испытуемых до воздействия (в виде приседаний) и после существенно различаются статистически (по 30-ти испытуемым) и в целом наблюдается увеличение V_G у нетренированных. При физической нагрузке у испытуемых отмечается тенденция (по АЧХ) к увеличению амплитуды у нетренированных лиц. За счет выполненной динамической физической нагрузки у тренированных увеличиваются особенно *амплитуды низкочастотных характеристик* (АЧХ) и практически некоторые увеличения наблюдаются по всему диапазону частот. Все выполненные измерения АЧХ микроперемещений конечности человека позволили сделать вывод о значимости анализа треморограмм именно в области до 10 Гц, но при этом все параметры АЧХ хаотически изменяются тоже в пределах квазиаттракторов.

При рассмотрении сигнала на фазовой плоскости, можно зарегистрировать увеличение площади КА. Наблюдается тенденция увеличения площади КА у нетренированных испытуемых после физической динамической нагрузки в 3,9 раза, тогда как КА у тренированных испытуемых почти не увеличивается, что может количественно представлять степень тренированности или детренированности студентов северных территорий РФ [6, 9].

Литература

1. Анохин, П.К. Очерки физиологии функциональных систем. М.: Медицина, 1975. 448 с.
2. Еськов В.М., Хадарцев А.А., Еськов В.В., Филатова О.Е. Особенности измерений и моделирования биосистем в фазовых пространствах состояний // Измерительная техника. 2010. №12. С. 53–57.
3. Еськов В.М., Хадарцев А.А., Еськов А.А., Филатова О.Е. Флуктуации и эволюции биосистем – их базовые свойства и характеристики при описании в рамках синергетической парадигмы // Вестник медицинских технологий. 2010. Т. 17. №1. С. 17–19.
4. Еськов В.М., Еськов В.В., Филатова В.В., Хадарцев А.А. Фрактальные закономерности развития человека и человечества на базе смены трех парадигм // Вестник медицинских технологий. 2010. Т. 17. №4. С. 192–194.
5. Еськов В.М., Брагинский М.Я., Козлова В.В., Джалилов М.А., Баженова А.Е. Биомеханическая система для изучения микродвижений конечностей человека: хаотические и стохастические подходы в оценке физиологического тремора // Вестник новых медицинских технологий. 2011. Т. 18. №4. С.44–48.
6. Еськов В.М., Козлова В.В., Голушков В.Н. Сравнительный анализ и синтез физиологических параметров организма студентов Югры в фазовых пространствах состояний // Теория и практика физической культуры. 2011. №11. С.88–92.
7. Еськов В.М., Еськов В.В., Филатова О.Е., Хадарцев А.А. Особые свойства биосистем и их моделирование // Вестник новых медицинских технологий. 2011. Т. 18. №3. С. 331–332.
8. 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.
9. Еськов В.М., Хадарцев А.А., Несмеянов А.А., Фудин Н.А., Кожемов А.А. Принципы тренировки спортсменов на основе теории хаоса и самоорганизации // Теория и практика физической культуры. 2013. №9. С. 87–94.
10. Eskov V.M., Eskov V.V., Filatova O.E. Characteristic features of measurements and modeling for biosystems in phase spaces of states // Measurement Techniques (Medical and Biological Measurements). 2011. V. 53 №12. P. 1404–1410.
11. Eskov V.M., Eskov V.V., Filatova O.E., Filatov M.A. Two types of systems and three types of paradigms in systems philosophy and system science // Journal of Biomedical Science and Engineering. 2012. Vol. 5. №. 10. P. 602–607.
12. Eskov V.M., Gavrilenko T.V., Kozlova V.V., Filatov M.A. Measurement of the dynamic parameters of microchaos in the behavior of living biosystems // Measurement Techniques. 2012. Vol. 55. №. 9. P. 1096–1100.

References

1. Anokhin PK. Ocherki fiziologii funktsional'nykh sistem. Moscow: Meditsina; 1975. Russian.
2. Es'kov VM, Khadartsev AA, Es'kov VV, Filatova OE. Osobennosti izmereniy i modelirovaniya biosistem v fazovykh prostranstvakh sostoyaniy. Izmeritel'naya tekhnika. 2010;12:53-7. Russian.
3. Es'kov VM, Khadartsev AA, Es'kov AA, Filatova OE. Fluktuatsii i evolyutsii biosistem – ikh bazo-vye svoystva i kharakteristiki pri opisaniy v ramkakh sinergeticheskoy paradigmy [Fluctuation and evolution are the ba-

sic property of biosystem according to synergetic paradigm]. Vestnik meditsinskikh tekhnologiy. 2010;17(1):17-9. Russian.

4. Es'kov VM, Es'kov VV, Filatova VV, Khadartsev AA. Fraktal'nye zakonomernosti razvitiya chelo-veka i chelovechestva na baze smeny trekh paradigm [Synergetic paradigm at fractal description of man and human]. Vestnik meditsinskikh tekhnologiy. 2010;17(4):192-4. Russian.

5. Es'kov VM, Braginskiy MYa, Kozlova VV, Dzhililov MA, Bazhenova AE. Biomekhanicheskaya sistema dlya izucheniya mikrovdizheniy konechnostey cheloveka: khaoticheskie i stokhasticheskie podkhody v otsenke fi-zilogicheskogo 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.

6. Es'kov VM, Kozlova VV, Golushkov VN. Sravnitel'nyy analiz i sintez fiziologicheskikh paramet-rov organizma studentov Yugry v fazovykh prostranstvakh sostoyaniy. Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury. 2011;11:88-92. Russian.

7. Es'kov VM, Es'kov VV, Filatova OE, Khadartsev AA. Osobyte svoystva biosistem i ikh modelirova-nie [Special oriperties of biosystems and their modelling]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2011;18(3):331-2. Russian.

8. Es'kov VM, Gavrilenko TV, Degtyarev DA, Es'kov VV, Baltikova AA. Dinamika kvaziattraktorov pa-rametrov neproizvol'nykh mikrovdizheniy konechnostey cheloveka kak reaktsiya na lokal'nye termicheskie voz-deystviya [Dynamics of quasiattractors parameters of involuntary micromotions as a response to local thermic influ-ences on human limbs]. Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologiy. 2012;19(4):26-9. Russian.

9. Es'kov VM, Khadartsev AA, Nesmeyanov AA, Fudin NA, Kozhemov AA. Printsipy trenirovki sport-smenov na osnove teorii khaosa i samoorganizatsii. Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury. 2013;9:87-94. Russian.

10. Eskov VM, Eskov VV, Filatova OE. Characteristic features of measurements and modeling for biosys-tems in phase spaces of states. Measurement Techniques (Medical and Biological Measurements). 2011;53(12):1404-10.

11. Eskov VM, Eskov VV, Filatova OE, Filatov MA. Two types of systems and three types of paradigms in systems philosophy and system science. Journal of Biomedical Science and Engineering. 2012;5(10):602-7.

12. Eskov VM, Gavrilenko TV, Kozlova VV, Filatov MA. Measurement of the dynamic parameters of mi-crochaos in the behavior of living biosystems. Measurement Techniques. 2012;55(9):1096-100.