

ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ДИАГНОСТИКЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СПОРТСМЕНОВ

УДК 004:621.39:796.07.015.6
Поступила 22.04.12 г.



С.А. Полевая, д.б.н., зав. отделом нейрофизиологии и экспериментального моделирования ЦНИЛ НИИ ПФМ¹;
Е.В. Рунова, к.б.н., научный сотрудник отдела нейрофизиологии и экспериментального моделирования ЦНИЛ НИИ ПФМ¹;
М.М. Некрасова, к.б.н., доцент кафедры гигиены труда и коммунальной гигиены¹;
И.В. Федотова, д.м.н., зав. кафедрой гигиены труда и коммунальной гигиены¹;
А.В. Бахчина, студентка кафедры психофизиологии²;
А.В. Ковальчук, младший научный сотрудник лаборатории нелинейной динамики³;
И.С. Шишалов, инженер лаборатории когнитивной психофизиологии²;
С.Б. Парин, д.б.н., зав. лабораторией когнитивной психофизиологии²

¹Нижегородская государственная медицинская академия, Н. Новгород, 603005, пл. Минина и Пожарского, 10/1;

²Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского — Национальный исследовательский университет, Н. Новгород, 603950, проспект Гагарина, 23;

³Институт прикладной физики РАН, Н. Новгород, 603155, ул. Ульянова, 46

Цель исследования — разработка инструментальных методов для комплексной оценки функционального состояния спортсменов в процессе тренировочной и соревновательной деятельности.

Материалы и методы. В исследовании участвовали 57 спортсменов (профессионалы и любители) в возрасте 14–24 лет; из них 20 девушек и 37 юношей. В работе использованы следующие методы: компьютерная латерометрия, компьютерная кампиметрия, беспроводная (телеметрическая) кардиоинтервалография. Результаты обработаны стандартными методами параметрической и непараметрической статистики.

Результаты. Установлено, что метод компьютерной латерометрии позволяет выявить существенное когнитивное напряжение во время тренировочной нагрузки, которое может выступать маркером «неэффективного» состояния. Данные компьютерной кампиметрии свидетельствуют об изменении эмоционального состояния в группе спортсменов в процессе нагрузки. Однако наиболее информативным индикатором функционального состояния спортсмена является общая мощность спектра вариабельности сердечного ритма. Сопоставление результатов, полученных с помощью комплексной оценки, с данными клинического обследования спортсменов-профессионалов экспериментальной группы показало, что непрерывный мониторинг сердечного ритма в процессе тренировки служит эффективным способом скрининга нарушений сердечно-сосудистой системы. Применение беспроводной кардиоинтервалографии позволяет эффективно и неинвазивно мониторировать состояние спортсменов на всех этапах тренировочного и соревновательного процесса.

Ключевые слова: мониторинг функционального состояния; информационные технологии; телеметрия; спортивная медицина.

English

Telemetry and Information Technologies in Diagnosis of Sportsmen Functional State

S.A. Polevaya, D.Bio.Sc., Head of Neurophysiology and Experimental Simulation Department, Central Scientific Research Laboratory of Scientific Research Institute of Applied and Fundamental Medicine¹;
E.V. Runova, PhD, Research Worker, Neurophysiology and Experimental Modeling Simulation Department, Central Scientific Research Laboratory of Scientific Research Institute of Applied and Fundamental Medicine¹;
M.M. Nekrasova, PhD, Associate Professor, the Department of Occupational Hygiene and Communal Hygiene¹;
I.V. Fedotova, D.Med.Sc., Head of the Department of Occupational Hygiene and Communal Hygiene¹;
A.V. Bakhchina, Student, the Department of Psychophysiology²;
A.V. Kovalchuk, Junior Research Worker, Nonlinear Dynamics Laboratory³;
I.S. Shishalov, Engineer, Cognitive Psychophysiology Laboratory²;
S.B. Parin, D.Bio.Sc., Head of Cognitive Psychophysiology Laboratory²

Для контактов: Полевая Софья Александровна, тел. раб. 8(831)416-46-32, тел. моб. +7 905-668-16-07; e-mail: vostokov@appl.sci.nnov.ru

¹Nizhny Novgorod State Medical Academy, Minin and Pozharsky Square, 10/1, Nizhny Novgorod, Russian Federation, 603005;

²Nizhny Novgorod State University named after N.I. Lobachevsky — National Research University, Gagarin Avenue, 23, Nizhny Novgorod, Russian Federation, 603950;

³Institute of Applied Physics of Russian Academy of Sciences, Ul'yanova St., 46, Nizhny Novgorod, Russian Federation, 603155

The aim of the investigation was to develop the instrumental methods for a full assessment of sportsmen functional state in the process of training and competition activity.

Materials and Methods. 57 sportsmen (professional athletes and amateur sportsmen) aged 14–24 years participated in the survey; 20 from them were female, and 37 male. In the study the following techniques were used: computer laterometry, computer campimetry, wireless (telemetry) cardiointervalography. The results were processed using standard methods of parametric and nonparametric statistics.

Results. There has been stated that computer laterometry enables to reveal cognitive strain in training time that can be a marker of “ineffective” state. Computer campimetry findings give the evidence of emotional state change on exertion. However, the most informative indicator of a sportsman functional state is the total power of heart rate variability spectrum. The comparison of the results obtained using the full assessment with clinical data of professional sportsmen of the experimental group showed continuous monitoring of heart rate in the process of training to be an effective screening technique of cardiovascular diseases. The application of wireless cardiointervalography enabled to monitor the sportsmen state effectively and noninvasively at all the stages of training and competition process.

Key words: functional state monitoring; information technology; telemetry; sports medicine.

Достижение успехов в спорте сегодня связано с чрезмерными физиологическими нагрузками и является источником рисков развития заболеваний и профессиональных травм у спортсменов. В связи с этим большое значение приобретают оценка и прогноз функционального состояния спортсмена в контексте тренировочной и соревновательной деятельности, что обуславливает развитие неинвазивных инструментальных методов их проведения.

Цель исследования — разработка инструментальных методов для комплексной оценки функционального состояния спортсменов в процессе тренировочной и соревновательной деятельности.

Материалы и методы. В работе использованы новые информационные и телекоммуникационные технологии, обеспечивающие оперативное обнаружение психофизиологических маркеров оптимальных и экстремальных состояний и позволяющие принимать прогностические решения об индивидуальных режимах профессиональной нагрузки спортсмена.

1. *Компьютерная латерометрия.* В основе измерений лежит метод дихотической стимуляции [1, 2]. Для обработки результатов предложены дополнительные показатели:

$$AS_{\min} = (\Delta t_{\min} \text{ вправо} - \Delta t_{\min} \text{ влево}) / (\Delta t_{\min} \text{ вправо} + \Delta t_{\min} \text{ влево});$$

$$AS_{\max} = (\Delta t_{\max} \text{ вправо} - \Delta t_{\max} \text{ влево}) / (\Delta t_{\max} \text{ вправо} + \Delta t_{\max} \text{ влево});$$

$$AS_{\text{rash}} = (\Delta t_{\text{rash}} \text{ влево} - \Delta t_{\text{rash}} \text{ вправо}) / (\Delta t_{\text{rash}} \text{ влево} + \Delta t_{\text{rash}} \text{ вправо});$$

$AS = \sqrt{(AS_{\min}^2 + AS_{\max}^2 + AS_{\text{rash}}^2)}$, где AS — коэффициент межполушарной асимметрии, AS_{\min} , AS_{\max} , AS_{rash} — коэффициенты асимметрии по показателям Δt_{\min} , Δt_{\max} и по Δt расщепления.

Измерение проводилось до и после тренировочной нагрузки в тихом помещении.

2. *Компьютерная кампиметрия.* По данной методике [1, 2] измеряли дифференциальные пороги по шкале оттенков (пороги цветоразличения) в рам-

ках цветовой модели HLS. Для обработки результатов использовали следующие показатели:

R_{\max} — максимальный дифференциальный порог в оттенках красного (H принадлежит диапазону 20–230 усл. ед.);

G_{\max} — максимальный дифференциальный порог в оттенках зеленого (H принадлежит диапазону 60–90 усл. ед.);

B_{\max} — максимальный дифференциальный порог в оттенках синего (H принадлежит диапазону 160–190 усл. ед.).

Измерение проводилось до и после тренировочной нагрузки.

3. *Беспроводная кардиография.* Анализ регуляции сердечного ритма дает возможность получения прогностической информации о функциональном состоянии и особенностях адаптивных реакций всего организма и активно используется в спортивной медицине. Запись сигнала производили с помощью телеметрической системы BioHarness (США), которая представляет собой устройство регистрации кардиосигналов, смонтированное в пояс. Сигнал передается от датчика

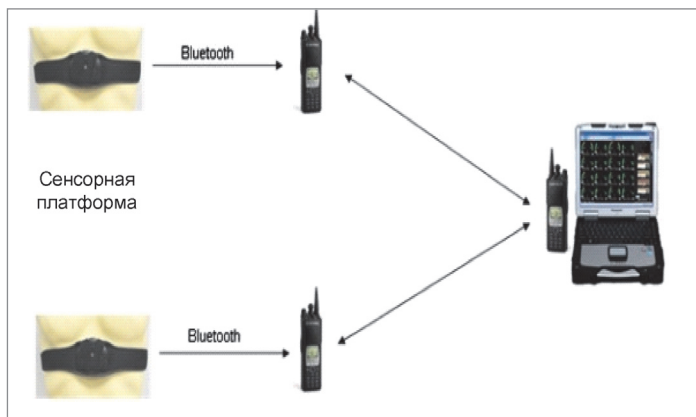


Рис. 1. Принципиальная схема программно-аппаратного комплекса беспроводной кардиоинтервалографии

на смартфон и со смартфона на компьютер по беспроводной сети Bluetooth (рис. 1).

Измерение проводили в процессе тренировочной нагрузки в зале, а также до и после тренировки в покое — испытуемый сидел в кресле 5 мин. Для обработки данных использовали спектральные методы анализа variability сердечного ритма: 1) периодограммный метод, которым анализировали параметры: суммарную мощность спектра variability сердечного ритма — TP (mc^2), мощность спектра ритмограмм в области очень низких частот — VLF (mc^2), мощность спектра ритмограмм в области низких частот — LF (mc^2), мощность спектра ритмограмм в области высоких частот — HF (mc^2), соотношение мощностей спектра ритмограмм в области низких и высоких частот (коэффициент вегетативного баланса) — LF/HF; и 2) метод непрерывного вейвлет-преобразования (анализировались вейвлет-спектрограммы).

Статистическая обработка полученных результатов проводилась с использованием параметрических (критерий Стьюдента) и непараметрических (критерии Вилкоксона, Манна–Уитни) методов.

В исследовании приняли участие 57 человек, из них 29 профессиональных спортсменов академической гребли в возрасте 14–18 лет (14 девушек и 15 юношей), воспитанников училища Олимпийского резерва, имеющих квалификацию от I разряда до мастера спорта, и 28 спортсменов-любителей, занимающихся игровыми видами спорта (баскетбол, волейбол), в возрасте 17–24 лет (6 девушек и 22 юноши).

Результаты и обсуждение. Исследование влияния физических нагрузок на уровень функциональной межполушарной асимметрии показало статистически значимое снижение данного уровня после нагрузки по показателям: AS_{min} , AS_{max} и AS (рис. 2).

Такой эффект свидетельствует о когнитивном напряжении во время тренировочной нагрузки и может выступать маркером «неэффективного» состояния [3–5].

По результатам анализа порогов цветоразличения в исходном состоянии испытуемые распределились на три группы (рис. 3):

1-я — с максимальным порогом цветоразличения в оттенках красного — 15%;

2-я — с максимальным порогом цветоразличения в оттенках зеленого — 60%;

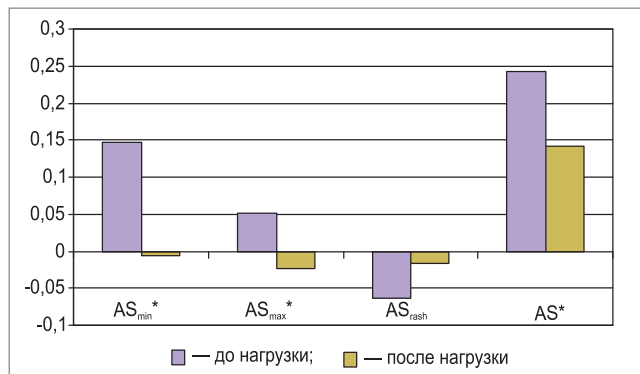


Рис. 2. Средние значения коэффициентов межполушарной асимметрии до и после нагрузки; * — $p \leq 0,05$

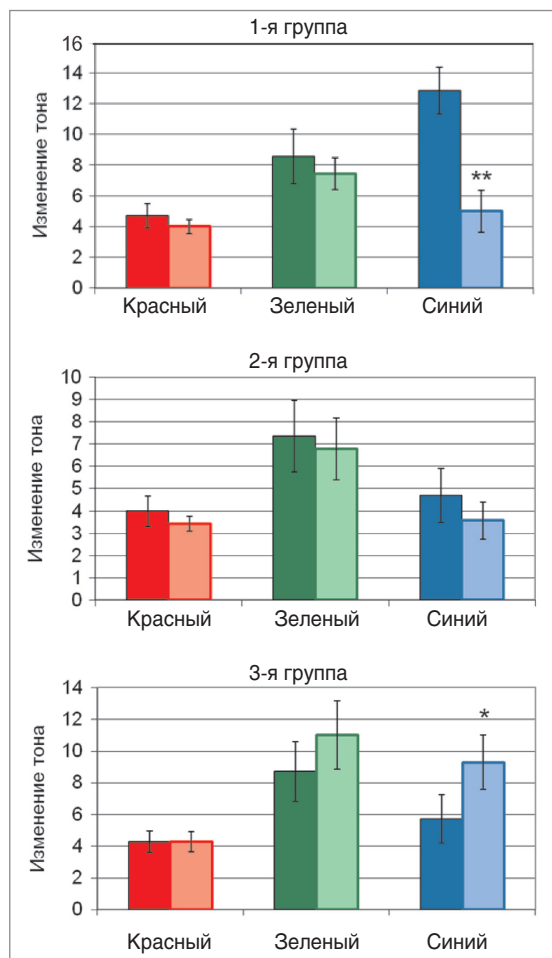


Рис. 3. Динамика порогов цветоразличения в группах до (темные столбики) и после тренировки (светлые столбики); * — статистически значимое различие значений с исходным уровнем, $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$ (по критерию Стьюдента)

3-я — с максимальным порогом цветоразличения в оттенках синего — 25%.

В итоге обнаружены значимые изменения показателей в группе испытуемых с максимальным дифференциальным порогом в синем. После тренировочной нагрузки пороги восприятия оттенков синего значительно снижаются ($p = 0,0022$), что свидетельствует об улучшении эмоционального состояния в группе с изначальным напряжением [3, 6].

Мониторинг функционального состояния спортсменов в процессе тренировочной нагрузки позволил получить данные о динамике сердечного ритма и режимах вегетативной регуляции в соответствии с динамикой тренировочной нагрузки (рис. 4).

Установлено, что показатели спектрального анализа variability сердечного ритма статистически значимо ($p < 0,05$) снижаются после тренировочной нагрузки, свидетельствуя об истощении систем вегетативной регуляции [6].

Кроме того, при анализе индивидуальных кардиоинтервалограмм у подавляющего числа испытуемых (96%) выявлены существенные нарушения ритма сердечной деятельности (рис. 5), что статистически зна-

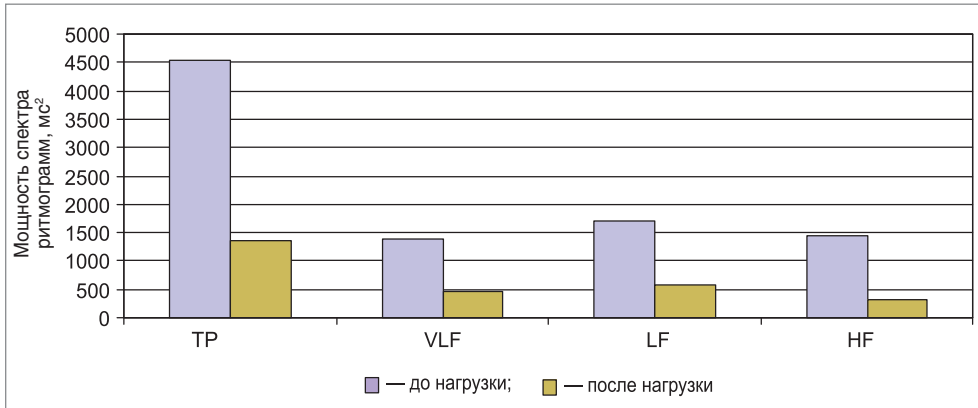


Рис. 4. Средние показатели спектрального анализа variability сердечного ритма до и после нагрузки

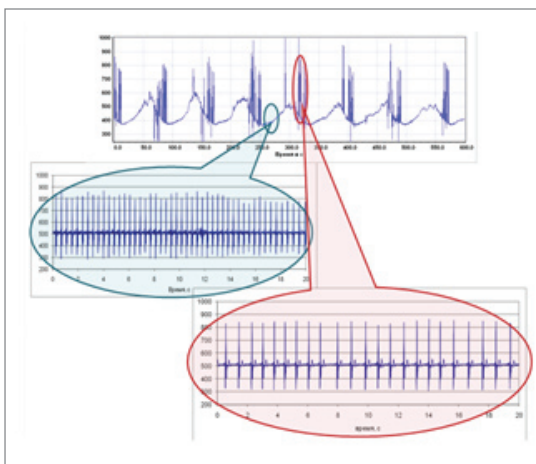


Рис. 5. Сопоставление ритмограммы (верхний график) и электрокардиограммы (два нижних графика), одновременно зарегистрированных методом беспроводной кардиоинтервалографии

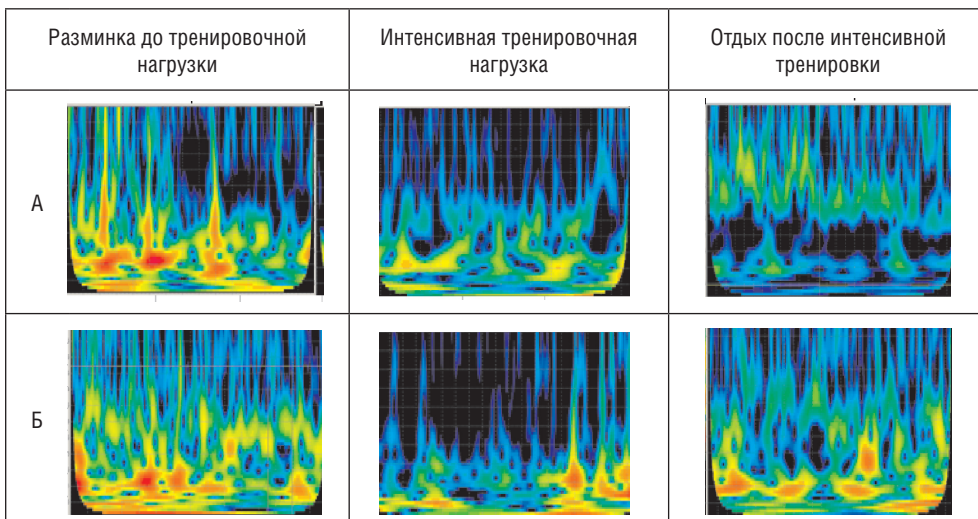


Рис. 6. Динамика показателей вегетативной регуляции на разных этапах тренировки. А, Б — данные вейвлет-анализа ритмограмм спортсменов из 1-й и 2-й группы

чимо ($p < 0,05$) совпало с результатами их клинического обследования.

При классификации выборки по динамике показателей активности регуляторных систем выделено две группы спортсменов (рис. 6):

1) спортсмены, у которых тренировочная нагрузка

привела к истощению ресурсов вегетативной регуляции;

2) спортсмены, устойчивые к тренировочным нагрузкам.

Различия между спортсменами разных групп проявляются еще на этапе разминки. Полученные данные

Оптимальные параметры вегетативной регуляции спортсменов

Показатель	M	m
ЧСС, уд./мин	78,40	4,53
Общая мощность, мс ²	3653,82	211,81
VLF, мс ²	1182,70	100,80
LF, мс ²	1604,49	87,59
HF, мс ²	573,29	61,01
LF/HF	3,09	0,86

позволили определить оптимальные диапазоны исходных (на этапе разминки) параметров variability сердечного ритма, при которых минимизирован индивидуальный риск истощения регуляторных ресурсов в процессе тренировки (см. таблицу).

В результате корреляционного анализа выявлена высокая степень связи между коэффициентом межполушарной асимметрии (AS) и соревновательной эффективностью ($r=0,875$; $p<0,05$), а также между показателями дифференциальных порогов в синем и зеленом оттенках и эффективностью деятельности в игровых видах спорта ($r=0,843$; $p<0,05$).

Заключение. Метод компьютерной латерометрии позволяет выявить существенное когнитивное напряжение во время тренировочной нагрузки, которое может выступать маркером «неэффективного» состояния. Данные компьютерной кампиметрии свидетельствуют об изменении эмоционального состояния в группе спортсменов в процессе нагрузки. Однако наиболее информативным индикатором функционального состояния спортсмена является общая мощность спектра variability сердечного ритма. Такие показатели, как мгновенное значение ЧСС и индекс симпатической активации, не позволяют оперативно обнаружить срыв вегетативной регуляции. Сопоставление результатов, полученных с помощью комплексной оценки, с данными клинического обследования спортсменов-профессионалов экспериментальной группы показало, что непрерывный мониторинг сердечного ритма в процессе тренировки служит эффективным способом скрининга нарушений сердечно-сосудистой системы. Применение беспроводной кардиоинтервалографии позволяет эффективно и неинвазивно мониторировать состояние спортсменов на всех этапах тренировочного и соревновательного процесса.

Работа выполнена при частичном финансировании по грантам РФФИ №11-08-00930-а и РГНФ №12-36-01039 и гранта Правительства Нижегородской области в сфере

науки и технологий на 2012 г., а также гранта ФЦП (соглашение №14.В37.21.0043).

Литература

1. Антонец В.А., Полевая С.А., Казаков В.В. Handtracking: исследование первичных когнитивных функций человека по их моторным проявлениям. В кн.: Современная экспериментальная психология. В 2-х т. Под ред. Барабанщикова В.А. М: Изд-во ИП РАН; 2011; т. 2, с. 39–54.
2. Яхно В.Г., Полевая С.А., Парин С.Б. Базовая архитектура системы, описывающей нейробиологические механизмы осознания сенсорных сигналов. В кн.: Когнитивные исследования. Под ред. Александрова Ю.И., Соловьева В.Д. М: Изд-во ИП РАН; 2010; вып. 4, с. 273–301.
3. Парин С.Б., Полевая С.А., Ефимова Н.В. Исследование влияния психотропных препаратов на сенсорные функции человека. Вестник ННГУ им. Н.И. Лобачевского. Социальные науки 2006; 1(5): 66–78.
4. Полевая С.А. Интегративные принципы кодирования и распознавания сенсорной информации. Особенности осознания световых и звуковых сигналов в стрессовой ситуации. Вестник НГУ 2008; 2: 106–117.
5. Полевая С.А., Антонец В.А., Еремин Е.В. Сенсорная шкала пространственного слуха человека в виртуальном акустическом пространстве. Сенсорные системы 2002; 16(4): 291–296.
6. Рунова Е.В. Вейвлет-анализ variability сердечного ритма в оценке функционального состояния регуляторных систем организма человека. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Н. Новгород; 2008.

References

1. Antonets V.A., Polevaya S.A., Kazakov V.V. Handtracking: issledovanie pervichnykh kognitivnykh funktsiy cheloveka po ikh motornym proyavleniyam. V kn.: Sovremennaya eksperimental'naya psikhologiya [Handtracking: the study of human primary cognitive functions by their motor manifestations. In: Modern experimental psychology]. Pod red. Barabanshchikova V.A. [Barabanshchikov V.A. (editor)]. Moscow: Izd-vo IP RAN. 2011; Vol. 2, p. 39–54.
2. Yakhno V.G., Polevaya S.A., Parin S.B. Bazovaya arkhitektura sistemy, opisuyayushchey neyrobiologicheskie mekhanizmy osoznaniya sensorynykh signalov. V kn.: Kognitivnye issledovaniya [Basic architecture of the system describing neurobiological mechanisms of sensor signal perception. In: Cognitive investigations]. Pod red. Aleksandrova Yu.I., Solov'eva V.D. [Aleksandrov Yu.I., Solov'ev V.D. (editors)]. Moscow: Izd-vo IP RAN; 2010; Issue 4, p. 273–301.
3. Parin S.B., Polevaya S.A., Efimova N.V. Vestnik NNGU im. N.I. Lobachevskogo. Sotsial'nye nauki — Herald of N.I. Lobachevsky Nizhny Novgorod State University. Social sciences 2006; 1(5): 66–78.
4. Polevaya S.A. Vestnik NGU — Nizhny Novgorod State University Reporter 2008; 2: 106–117.
5. Polevaya S.A., Antonets V.A., Eremin E.V. Sensornye sistemy — Sensor systems 2002; 16(4): 291–296.
6. Runova E.V. Veyvlet-analiz variabel'nosti serdechnogo ritma v otsenke funktsional'nogo sostoyaniya regulatorynykh sistem organizma cheloveka. Avtoref dis. ... kand. biol. nauk [Wavelet-analysis of heart rate variability in the assessment of functional state of human regulatory systems. Abstract for Dissertation for the degree of Candidate of Biological Science]. Nizhny Novgorod; 2008.