

<https://doi.org/10.29188/2542-2413-2020-6-4-19-27>

Дистанционный скрининг динамики состояния спортсменов на основе анализа кардиоинтервалограмм с использованием распределения Дирихле

**В.М. Леванов^{1,2}, А.В. Иляхинский^{3,5}, И.В. Мухина^{1,4}, П.А. Пахомов⁵,
С.Б. Гуренко⁵**

¹ ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России. пл. Минина и Пожарского, 10/1, Нижний Новгород, 603005, Россия

² ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН. Хорошевское шоссе, 76а, Москва, 123007, Россия

³ Институт проблем машиностроения РАН - филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук». ул. Белинского, 85, Нижний Новгород, 603024, Россия

⁴ ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского». пр. Гагарина, 23, Нижний Новгород, 603950, Россия

⁵ ООО «Научно-Исследовательский Центр «АТЕНОН». ул. Малая Ямская, 26 пом. П4, Нижний Новгород, 603000, Россия

Контакт: Леванов Владимир Михайлович, levanov53@yandex.ru

Аннотация:

Введение. Здоровье людей, занимающихся спортом, является важной социальной проблемой и требует современных методов контроля, в том числе непосредственно во время тренировок и соревнований. В статье рассмотрены возможности диагностического метода, основанного на оценке вариабельности сердечного ритма. В отличие от большинства применяемых методов анализ основан на том, что сложные многоуровневые иерархически организованные системы могут описываться в рамках неравновесной термодинамики, в частности, статистической модели распределения Дирихле. Авторами предложена система индикаторов, позволяющих проводить дистанционный мониторинг актуального состояния организма, описаны аппаратно-программные решения и рассмотрены перспективы применения предложенного метода в спортивной медицине.

Ключевые слова: здоровье спортсменов; мониторинг состояния; вариабельность сердечного ритма; кардиоинтервалография; адаптация; многомерное распределение Дирихле; энтропия.

Для цитирования: Леванов В.М., Иляхинский А.В., Мухина И.В., Пахомов П.А., Гуренко С.Б. Дистанционный скрининг динамики состояния спортсменов на основе анализа кардиоинтервалограмм с использованием распределения Дирихле. Журнал телемедицины и электронного здравоохранения, 2020;6(4):19-27; <https://doi.org/10.29188/2542-2413-2020-6-4-19-27>

Remote screening of athletes' condition dynamics based on the analysis of cardiointervalograms using the Dirichlet distribution<https://doi.org/10.29188/2542-2413-2020-6-4-19-27>**V.M. Levanov^{1,2}, A.V. Ilyakhinsky^{3,5}, I.V. Mukhina^{1,4}, P.A. Pakhomov⁵, S.B. Gurenko⁵**¹ FGBOU VO «Privolzhsky research medical University»

of the Ministry of health of Russia, Nizhny Novgorod, Russia

² GNC RF – Institute of biomedical problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia³ Institute of Problems of Machine Science RAS – branch of the Federal State Budget Scientific Institution «Federal Research Center Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences», Nizhny Novgorod, Russia⁴ Nizhny Novgorod State University N.I. Lobachevsky, Nizhny Novgorod, Russia⁵ Scientific Reseach Center «ATENON», Nizhny Novgorod, Russia**Contact:** Vladimir M. Levanov, levanov53@yandex.ru**Summary:**

Introduction. Health of people involved in sports is an important social problem and requires modern methods of control, including directly during training and competitions. The article discusses the possibilities of a diagnostic method based on the assessment of heart rate variability. Unlike most of the methods used, the analysis is based on the fact that complex multi-level hierarchically organized systems can be described in the framework of non-equilibrium thermodynamics, in particular, the statistical Dirichlet distribution model. The authors propose a system of indicators that allow remote monitoring of the current state of the body, describe hardware and software solutions, and consider the prospects for using the proposed method in sports medicine.

Key words: athletes health; condition monitoring; heart rate variability; cardiointervalography; adaptation; multidimensional Dirichlet distribution; entropy.

For citation: Levanov V.M., Ilyakhinsky A.V., Mukhina I.V., Pakhomov P.A., Gurenko S.B. Remote screening of athletes' condition dynamics based on the analysis of cardiointervalograms using the Dirichlet distribution. *Journal of Telemedicine and E-Health* 2020;6(4):19-27; <https://doi.org/10.29188/2542-2413-2020-6-4-19-27>

ВВЕДЕНИЕ

Одной из задач профилактического направления здравоохранения является широкое внедрение методов, позволяющих контролировать состояние организма человека с необходимой периодичностью. Это актуально для различных возрастных, социальных и профессиональных групп населения – от детей раннего возраста до лиц старших возрастных групп; от пациентов, находящихся на этапе реабилитации, до тяжёлых больных, нуждающихся в паллиативной помощи; от работников профессий повышенного риска до спортсменов и людей, ведущих здоровый образ жизни. Несмотря на широкий спектр и различие задач, решаемых в конкретных ситуациях, в основу методов контроля здоровья, в т.ч. дистанционного, могут быть положены близкие аппаратно-программные и методологические решения, которые существовали до этого момента

только в теории. Очевидно, такой метод должен быть относительно недорогим, легко масштабируемым и оперативно-информативным для определения функционального состояния человека.

Информационные технологии являются одним из таких быстроразвивающихся решений современной науки. За последнее время всё, что связано с компьютерами, преобразилось до неузнаваемости. Это стало достижимым благодаря экспоненциальному росту вычислительных мощностей компьютерной техники, уменьшению её размеров и энергопотребления, а также повышению скоростей передачи данных через коммуникационные сети, в том числе и сеть интернет.

Особое место в современных вычислительных технологиях занимают облачные технологии. Именно благодаря им, например, функционирует большинство современного программного обеспечения для смартфонов. Облачные технологии – это модель предоставления вычислительных ре-

сурсов по требованию из большого набора заранее заготовленных мощностей (пул ресурсов). Пользователю доступно именно столько ресурсов, сколько ему нужно сейчас. Облачные технологии (облака) могут быть построены на географически распределённых ресурсах. Очевидны плюсы такого подхода: повышение доступности, снижение стоимости обработки и повышение сохранности информации.

Примером совмещения облачных технологий в медицине является проект RR Viewer ООО «Научно-Исследовательский Центр «АТЕНОН». Опираясь на фундаментальные представления об информации, RR Viewer предлагает современный подход к анализу variability сердечного ритма (BCP), по характеру изменения которого возможно определить способность к адаптации организма как в настоящий момент (переносимость текущих нагрузок), так и в перспективе (оценка резерва адаптации) [1].

История метода исследования variability сердечного ритма (BCP) в России (точнее – в СССР) тесно связана с космической медициной [2, 3].

Метод непрерывно совершенствовался, получал новые модификации. Его развитие, прежде всего, связано с именами учёных Р.М. Баевского, Д.И. Жемайтиса, П.Я. Довгалевского, Ю.А. Власова, С.З. Клецкина, Г.В. Рябыкиной, Н.А. Белоконь и многих других.

Аналогичные исследования проводились за рубежом и были обобщены в предложенных Европейским обществом кардиологии и Северо-Американским электрофизиологическим обществом Стандартах измерений, физиологических интерпретациях BCP и рекомендациях по клиническому использованию [4].

Недостатком известных способов анализа BCP является то, что используемые ими методы математической обработки временных рядов RR интервалов анализируют геометрические статистические спектральные нелинейные параметры временного ряда, а не состояния анализируемой системы, что не даёт возможности получить четкую информацию о характере регуляции сердечного ритма.

Ключевыми понятиями в проекте RR Viewer компании «Атенон» являются «самоорганизация» и «самоорганизующаяся система».

Самоорганизующаяся система – это система, в которой регулятор находится внутри

управляемой системы. Самоорганизующейся системе присущи следующие свойства и признаки: адаптивность, сохранение динамического равновесия при внешнем воздействии (возмущении), саморегуляция, динамичность развития, стремление к «идеализации». Понятие «самоорганизация» впервые определено Уильямом Эшби в 1947 г. как «процесс упорядочения в системе за счёт внутренних факторов, без внешнего специфического воздействия» [5].

■ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В основе математического аппарата метода проекта RR Viewer лежит представление процессов управления многоуровневой иерархически организованной системой регуляции кровообращения статистической моделью распределением Дирихле, функция плотности вероятности которого, определенная на k -мерном симплексе, равна

$$D(x_1, \dots, x_k) = \frac{\Gamma(a_n)}{\prod_{i=1}^k \Gamma(v_i)} \prod_{i=1}^k x_i^{v_i-1} \times (1 - \sum_{i=1}^k x_i)^{v_n-1} \quad (1)$$

$$0 \leq \sum x_i \leq 1; v_i \geq 0, \dots, v_n \geq 0; \sum_{i=1}^n v_i = a_n; n = k + 1$$

где – гамма-функция.

Энтропия распределений (1), согласно определению,

$$H = - \int \varphi(x) \log_{\alpha} \varphi(x) dx \quad (2)$$

составляет с точностью до основания логарифма

$$H(v_1, \dots, v_n) = \sum_{i=1}^n \Gamma(v_i) - \ln \Gamma(a_n) + (a_n - n) \psi(a_n) - \sum_{i=1}^n (v_i - 1) \psi(v_i) \quad (3)$$

Здесь в (3) $\psi(x) = \frac{d}{dx} \ln \Gamma(x)$ – логарифмическая производная гамма функции (пси-функция Эйлера). Энтропия распределения Дирихле может быть представлена в виде суммы [6].

$$H(D) = H_i(v_1, \dots, v_n) + H_e(a_n) \quad (4)$$

в которой слагаемое

$$H_i(v_1, \dots, v_n) = \ln \prod_{i=1}^n \Gamma(v_i) - \sum_{i=1}^n (v_i - 1) \psi(v_i) \quad (5)$$

представляет собой, отвечающее второму закону термодинамики, производство энтропии, а слагаемое

$$H_e(a_n) = - \ln \Gamma(a_n) + (a_n - n) \psi(a_n) \quad (6)$$

представляет собой, характеризующий процессы ►

взаимодействия с внешней средой, поток энтропии.

Как статистическая модель распределение Дирихле отражает результат совместной реализации $n-1$ независимых процессов x_j , протекающих со скоростями (интенсивностями) v_j , и противоположного им по смыслу процесса, протекающего со скоростью v_n . При $n \geq 3$ поток энтропии (6) может принимать как положительные, так и отрицательные значения, что в терминах модели распределения Дирихле позволяет рассматривать $H_e(a_n) < 0$ как одно из условий самоорганизации и свидетельствовать о процессах возникновения упорядоченных пространственно-временных образованиях (диссипативных структур по терминологии И. Пригожина) [7-9].

Предложено состояние гомеостаза регуляции автономной нервной системой сердечной деятельности оценивать по величине показателя степени (коэффициента) самоорганизации регуляции сердечной деятельности автономной нервной системой (Self-organization of Autonomic Nervous System Control – SANSC), в качестве которого выбрано отношение (3.15) [10]:

$$SANSC = \frac{\sum_2^{12} i Q_{D-}^i}{\sum_2^{12} i Q_{D+}^i + \sum_2^{12} i Q_{D-}^i} * 100\% \quad (7)$$

где Q_{D-}^i количество выявленных за анализируемый период во временном ряде кардиоинтервалов моделей Дирихле i -ой размерности, имеющих отрицательное значение внешней энтропии, Q_{D+}^i количество выявленных за анализируемый период во временном ряде кардиоинтервалов моделей Дирихле i -ой размерности, имеющих положительное значение внешней энтропии.

Оценка вкладов звеньев автономной нервной системы в процесс самоорганизации вегетативной регуляции проводилась по доле выявленных за анализируемый период во временном ряде кардиоинтервалов моделей Дирихле: 2-4 (парасимпатическая нервная система) или 5-7 (симпатическая нервная система) размерности, имеющих отрицательное значение внешней энтропии.

Коэффициент самоорганизации регуляции сердечной деятельности парасимпатической нервной системой (Self-organization of Parasympathetic Nervous System Control – SPNSC) вычис-

ляется по формуле:

$$SPNSC = \frac{\sum_2^4 i Q_{D-}^i}{(\sum_2^4 i Q_{D+}^i + \sum_2^4 i Q_{D-}^i)} * SANSC * 100\% \quad (8)$$

Коэффициент самоорганизации регуляции сердечной деятельности симпатической нервной системой (Self-organization of Sympathetic Nervous System Control – SSNSC) вычисляется по формуле.

$$SSNSC = \frac{\sum_5^7 i Q_{D-}^i}{(\sum_5^7 i Q_{D+}^i + \sum_5^7 i Q_{D-}^i)} * SANSC * 100\% \quad (9)$$

Вклад в самоорганизацию регуляции сердечной деятельности гуморальных процессов проводится по величине коэффициента самоорганизации регуляции сердечной деятельности гуморальной системой (Self-organization of Humoral Control – SHC).

$$SHC = \frac{\sum_8^{12} i Q_{D-}^i}{(\sum_8^{12} i Q_{D+}^i + \sum_8^{12} i Q_{D-}^i)} * SANSC * 100\% \quad (10)$$

Так как вычислительный процесс и все подготовительные операции оценки статистических параметров SANSC, SPNSC, SSNS, SHC сложны, они могут быть выполнены только с использованием компьютерной техники. Поэтому RR Viewer предлагает современный подход к анализу показателей построенный на основе облачных технологий. Взаимодействие с RR Viewer осуществляется через обычный браузер, работать с которым можно практически с любого устройства, имеющегося у пользователя, будь то персональный компьютер, смартфон или планшет. Необходимо лишь, чтобы у пользователя был доступ в интернет.

Укрупненные этапы алгоритма выглядят следующим образом:

1. Получить файл для анализа.
2. Выполнить вычислительную работу.
3. Отобразить результат.

Файл для анализа может быть получен, в том числе, с использованием медицинской аппаратуры, и в общем случае представляет собой компьютерный текстовый файл с данными кар-



Рис. 1. Схема взаимодействия программы RR Viewer в режиме on-line
Fig. 1. Scheme of interaction of the RR Viewer program in on-line mode

диоинтервалограммы. Данные могут быть представлены в таком файле последовательно, по одному отсчёту на строку, но так же могут находиться в своём особом формате как, например, сделал производитель кардиодатчиков Zephyr в своём оборудовании. Программное обеспечение, которое позволяет получить оценку функционального состояния системы кровообращения, имеет клиент-серверную архитектуру. При этом вычислительная работа выполняется на сервере, пользователь взаимодействует с системой только

для загрузки файлов. Для анализа результатов пользователь использует имеющиеся у него средства. Вход в систему происходит с использованием индивидуальной учётной записи. В качестве устройств для взаимодействия с системой могут быть использованы смартфон или персональный компьютер (рис. 1, 2).

В зависимости от конкретных задач метод позволяет оценить функциональное состояние спортсмена как за короткий период (в соответствии с международными рекомендациями был ►►



Рис. 2. Схема взаимодействия программы RR Viewer в режиме off-line
Fig. 2. Scheme of interaction of the RR Viewer program in off-line mode

выбран интервал 5 минут (рис. 1), так и за интервал времени до 24 часов (рис. 2) [4].

РЕЗУЛЬТАТЫ

В качестве примера адекватности отражения функционального состояния спортсменов и его динамику была проведена оценка состояния спортсменов легкоатлетов мужского пола имеющих разную спортивную квалификацию. Обследование проводилось в состоянии относительного покоя через 20 часов с момента последнего тренировочного занятия. Все спортсмены находились в состоянии спортивной формы.

Регистрация электрокардиограмм в состоянии лежа и при ортостатической пробе проводилась электрокардиографом «Поли-Спектр-8». Построение кардиоинтервалограмм и оценка параметров VCP осуществлялись с помощью программ «Поли-Спектр» и «Поли-Спектр-Ритм». Анализ кардиоинтервалограмм проводили программой RR Viewer в режиме off-line (рис. 2), была проанализирована динамика состояния регуляторных систем при ортостатическом тестировании кандидата в мастера спорта и спортсмена, имеющего первый юношеский разряд. Анализ показателей проводился непрерывно-

скользящим методом базовых выборок при $n=100$ с анализом каждой из таких выборок как независимой при шаге смещения равным единице. Динамика показателей показана на рисунках 3, 4, на которых показатель HR – усредненное по десяти ударам значение пульса, уд/мин.

Как видно из приведенных рисунков, состояние вегетативной нервной системы спортсменов в покое характеризуется примерно одинаковым равным 80% коэффициентом SANSC. При этом, если для спортсмена низкой квалификации (первый юношеский разряд) вклад в процессы самоорганизации обусловлен практически в равной мере как парасимпатическим, так и симпатическим звеном автономной нервной системы (SPNSC ~ 40%, SSNSC ~ 40%), то для спортсмена более высокой квалификации (кандидат в мастера спорта) наблюдается смещение в сторону влияния парасимпатического отдела (SPNSC ~ 80%, SSNSC ~ 20%), что свидетельствует о функциональном резерве организма для выполнения интенсивной физической нагрузки. Кроме этого, в покое коэффициенты SPNSC и SSNSC отражают баланс самоорганизации между симпатическим и парасимпатическим отделами автономной нервной системы. Для обоих спортсменов увеличение показателя

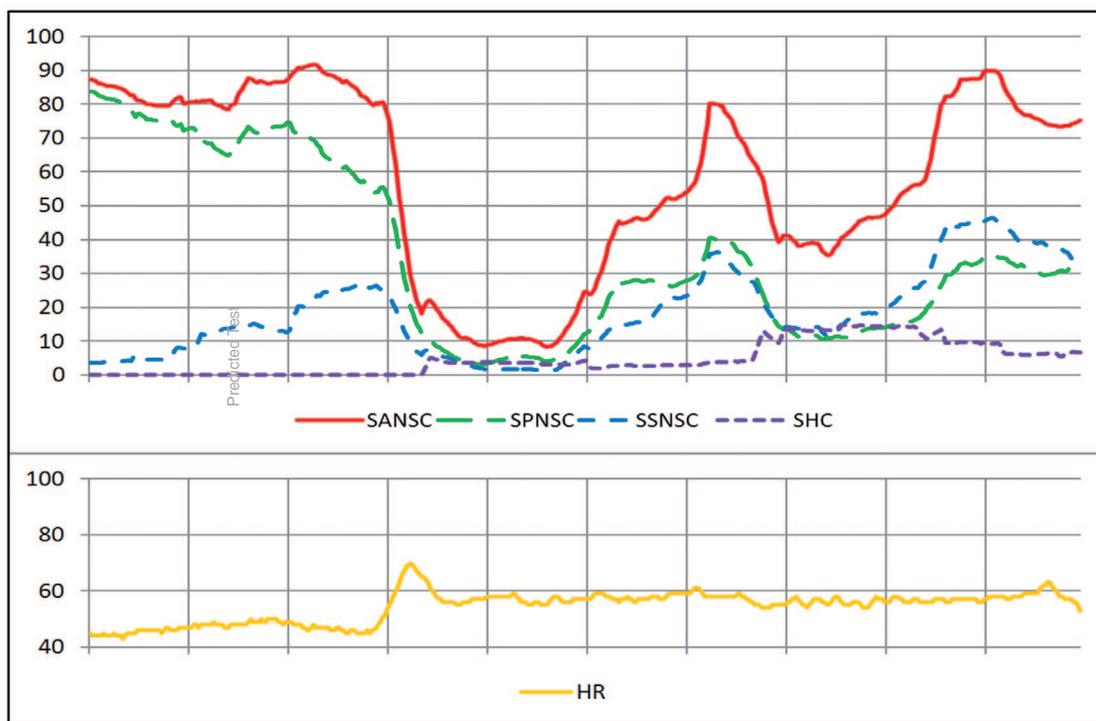


Рис. 3. Динамика показателей самоорганизации систем регуляции (SANSC, SPNSC, SSNSC и SHC) в процентах и пульса (HR) в ударах в минуту при ортостатическом тестировании спортсмена легкоатлета квалификации кандидат в мастера спорта

Fig. 3. Dynamics of self-organization indices of regulation systems (SANSC, SPNSC, SSNSC and SHC) in percentage and heart rate (HR) in beats per minute during orthostatic testing of an athlete of an athlete qualification candidate for master of sports

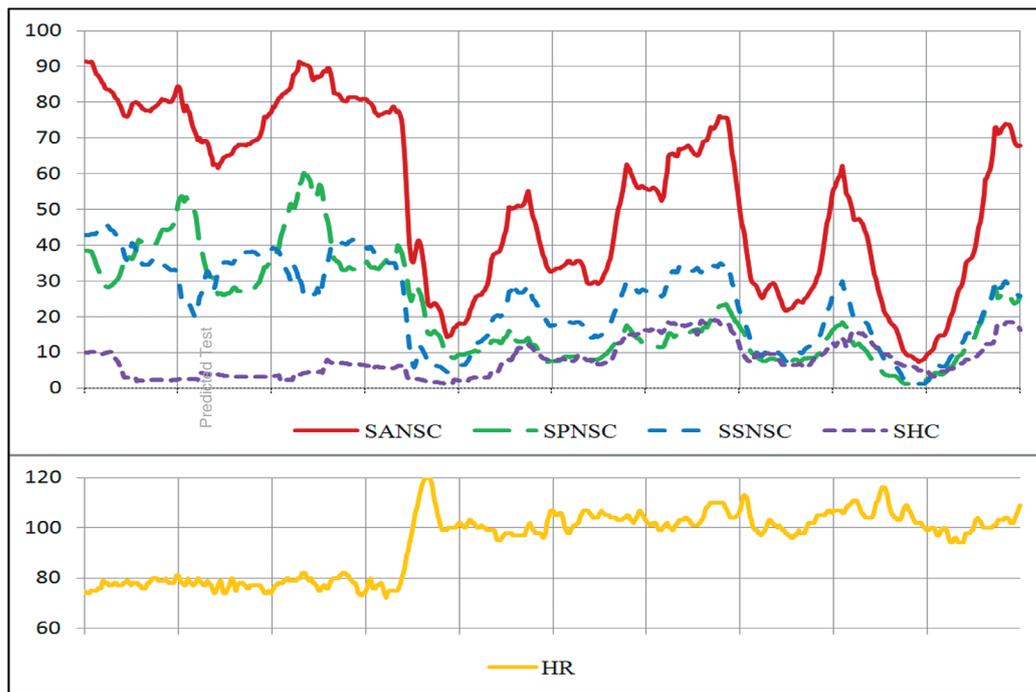


Рис. 4. Динамика показателей самоорганизации систем регуляции (SANSC, SPNSC, SSNSC и SHC) в процентах и пульса (HR) в ударах в минуту при ортостатическом тестировании спортсмена легкоатлета квалификации первый юношеский разряд.

Fig. 4. Dynamics of self-organization indices of regulation systems (SANSC, SPNSC, SSNSC and SHC) in percentage and heart rate (HR) in beats per minute during orthostatic testing of an athlete of the first youth category qualification

SPNSC в покое приводит к уменьшению показателя SSNSC.

Изменение гомеостаза, вызванное изменением положения тела (положение лежа – положение стоя), приводит к возрастанию пульса (HR) и уменьшению значения коэффициента SANSC. Интересной представляется динамика показателей самоорганизации регуляции при переходе в ортоположение. Примечательно, что для кандидата в мастера спорта амплитудно-временная динамика процессов самоорганизации более четко выражена. Обращает на себя внимание разное время восстановления нового уровня пульса (HR) и показателя степени самоорганизации регуляции сердечной деятельности автономной нервной системой (SANSC). По сравнению с пульсом показатель самоорганизации SANSC восстанавливается значительно медленнее, и для спортсмена первого юношеского разряда он за время тестирования не достигает уровня покоя. Кроме этого, в процессе восстановления изменяется баланс между симпатическим и парасимпатическим отделами автономной нервной системы. Показатели SPNSC и SSNSC в процессе восстановления изменяются однонаправленно с преобладанием влияния симпатического отдела автономной нервной си-

стемы ($SSNSC > SPNSC$). Следует отметить, что в процессе восстановления гомеостаза регуляторных систем заметную роль начинают играть гуморальные процессы, роль которых в покое у спортсменов незначительна.

В качестве примера оценки состояния системы регуляции кровообращения спортсменов непосредственно в режиме тренировки был проведен анализ кардиоинтервалограмм полученных с помощью монитора сердечного ритма BioHarnessTM-Zephyr (рис. 5).



Рис. 5. Монитор сердечного ритма с функцией ЭКГ BioHarnessTM-Zephyr
Fig. 5. BioHarnessTM-Zephyr ECG Heart Rate Monitor

Регистрация кардиоинтервалограмм проводилась у спортсмена современного пятиборья (девушка) во время бега со стрельбой и спортсмена во время игры в настольный теннис (юноша). Анализ кардиоинтервалограмм проводили программой RR Viewer в режиме on-line (рис. 1) с последующей записью результатов тренировочного процесса в компьютер. Полученные результаты приведены на рисунках 6 и 7. ►►

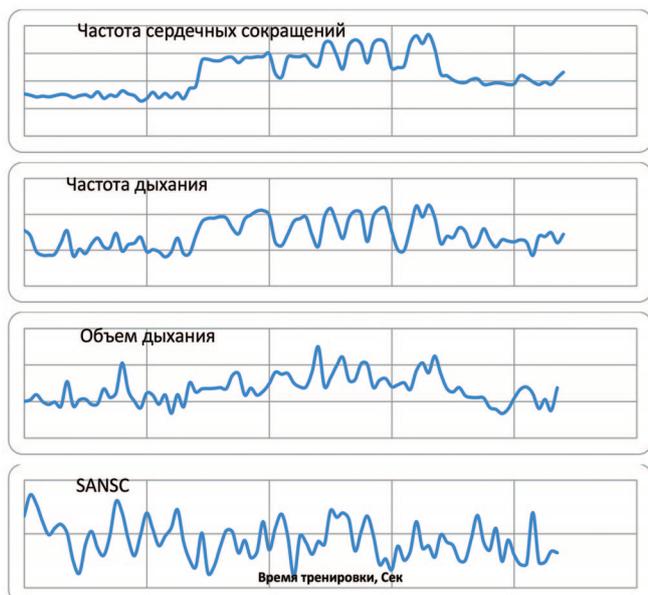


Рис. 6. Запись фрагмента тренировки спортсмена современного пятиборья (бег со стрельбой)

Fig. 6. Recording of a training fragment of a modern pentathlon athlete (running and shooting)

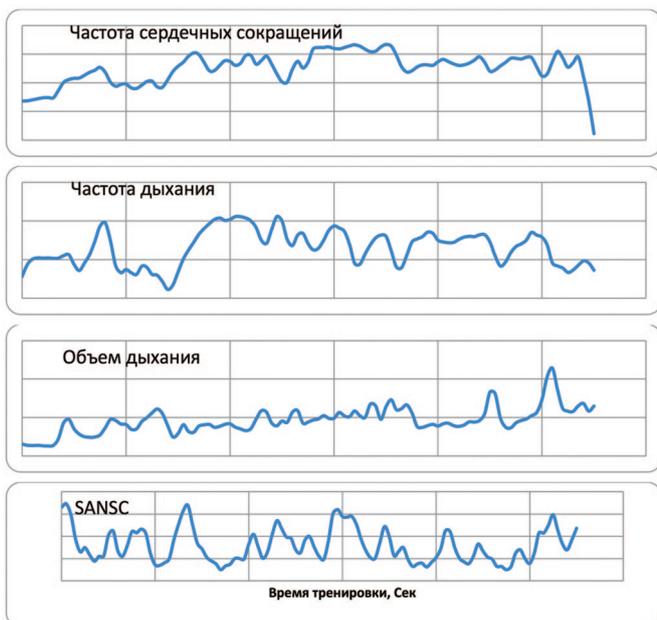


Рис. 7. Запись фрагмента тренировки спортсмена игры в настольный теннис

Fig. 7. Recording a fragment of a training session of an athlete playing table tennis

ВЫВОДЫ

Ввиду высоких нагрузок, являющихся неотъемлемой частью современного спорта, имеется высокая потребность в разработке методов дистанционного мониторинга состояния организма, в т.ч. непосредственно во время тренировок.

Анализ литературных данных показал, что состояние сердечно-сосудистой системы и нейро-эндокринных механизмов ее регуляции является

одним из важнейших критериев как для анализа воздействия на организм человека нагрузки при спортивной тренировке, так и оценки резервных возможностей организма

Вариабельность сердечного ритма является отражением воздействий многоконтурной системы управления и несёт в себе информацию об актуальном состоянии организма. Известно несколько методов, основанных на регистрации кардиоинтервалограммы.

Авторами предложен способ, позволяющий адекватно анализировать и оценивать информацию о биомедицинских параметрах организма, как в состоянии покоя, так и непосредственно при изменяющихся физических нагрузках, характерных для спортивных тренировок.

В числе показателей предложены показатель степени самоорганизации регуляции сердечной деятельности автономной нервной системой и коэффициенты самоорганизации регуляции сердечной деятельности парасимпатической, симпатической нервной и гуморальной системой.

Полученные предварительные результаты свидетельствуют об информативности данного метода при количественном измерении процессов адаптации на различных этапах тренировки.

В ходе дальнейших исследований планируется уточнение интерпретации показателей для различных видов спорта и характера нагрузок, испытываемых спортсменами.

Разработанная система RR Viewer представляет из себя платформу для обработки различных физиологических показателей человека. Оригинальный авторский метод анализа информации, лежащий в основе RR Viewer, делает его эффективным и гибким средством анализа состояния здоровья человека. Информационно-статистический подход к анализу вариабельности сердечного ритма позволяет с большей точностью оценить функциональное состояние регуляторных систем организма по сравнению с традиционными методами анализа. Это достигается благодаря использованию новых показателей степени саморегуляции сердечной деятельности и показателей вклада звеньев автономной нервной системы в процесс вегетативной саморегуляции. Использование облачных технологий делает RR Viewer простым, удобным и доступным инструментом, независимо от того, находится пользователь перед компьютером или перед смартфоном. //

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаврилова Е.А. Спорт, стресс, вариабельность: монография. М.: Спорт 2015; 168 с. [Gavrilova E.A. Sport, stress, variability: monograph. M.: Sport 2015; P.168].
2. Парин В.В., Баевский Р.М., Волков Ю.Н., Газенко О.Г. Космическая кардиология. Л., 1967. [Parin V.V., Baevsky R.M., Volkov Yu.N., Gazenko O.G. Space cardiology. L., 1967].
3. Методы и приборы космической кардиологии на борту Международной космической станции. Монография. Под ред. Баевского Р.М., Орлова О.И. М., 2016; 368 с. [Methods and devices of space cardiology on board the International Space Station. Monograph. Eds. Baevsky R.M., Orlov O.I. M., 2016; P.368].
4. Heart rate variability. Standards of Measurement, Physiological interpretation and clinical use. *Circulation* 1996;93(5):1043-1065.
5. Ashby W.R. Principles of the Self Organizing Dynamic System. *Journal of General Psychology* 1947;37(2):125-128.
6. Иляхинский А.В., Пахомов П.А., Ануфриев М.А., Леванов В.М., Мухина И.В. Информационно-статистический анализ вариабельности сердечного ритма в оценке функционального состояния вегетативной нервной системы человека. *Современные технологии в медицине* 2015;7(3):67-72. [Ilyahinskiy A.V., Pahomov P.A., Anufriev M.A., Levanov V.M., Muhina I.V. Informatsionno-statisticheskiy analiz variabelnosti serdechnogo ritma v otsenke funktsionalnogo sostoyaniya vegetativnoy nervnoy sistemy cheloveka. *Sovremennyye tehnologii v meditsine* 2015;7(3):67-72].
7. Николис Г. Самоорганизация в неравновесных системах. М.: Мир 1979; 512 с. [Nikolis G. Samoorganizatsiya v neravnovesnykh sistemakh. M.: Mir 1979; 512 s.].
8. Полак Л.С., Михайлов А.С. Самоорганизация в неравновесных физико-химических процессах. М.: Наука 1975; 351 с. [Polak L.S., Mihaylov A.S. Samoorganizatsiya v neravnovesnykh fiziko-himicheskikh protsessakh. M.: Nauka 1975; 351 s.].
9. Пригожин И. Время, структура и флуктуации. *Успехи физических наук* 1980;131(2):185-207. [Prigozhin I. Vremya, struktura i fluktuatsii. *Uspehi fizicheskikh nauk = Advances in Physical Sciences* 1980;131(2):185-207].
10. Иляхинский А.В., Пахомов П.А., Ануфриев М.А., Мухина И.В. Информационно-статистические показатели самоорганизации систем регуляции сердечной деятельности в оценке вариабельности ритма сердца. *Физиология человека* 2017;43(2):1-7. [Ilyahinskiy A.V., Pahomov P.A., Anufriev M.A., Muhina I.V. Informatsionno-statisticheskie pokazateli samoorganizatsii sistem regulyatsii serdechnoy deyatelnosti v otsenke variabelnosti ritma serdtsa. *Fiziologiya cheloveka = Human Physiology* 2017;43(2):1-7].

Сведения об авторе:

Леванов В.М. – доцент, доктор медицинских наук, профессор кафедры социальной медицины и организации здравоохранения ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России; ведущий научный сотрудник ФГБУН ГНЦ РФ – Институт медико-биологических проблем РАН; Москва, Россия; levanov53@yandex.ru; PИHЦ AuthorID 562021

Иляхинский А.В. – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт проблем машиностроения РАН – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук»; руководитель проекта ООО «Научно-Исследовательский Центр «АТЕНОН»; Москва, Россия; PИHЦ AuthorID 907290

Мухина И.В. – профессор, доктор биологических наук, зав. кафедрой нормальной физиологии им. Н.Ю. Беленкова ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России; профессор кафедры нейротехнологий Института биологии и биомедицины ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России; Москва, Россия; mukhinaiv@mail.ru

Пахомов П.А. – программист-разработчик ООО «Научно-Исследовательский Центр «АТЕНОН»; Москва, Россия

Гуренко С.Б. – генеральный директор ООО «Научно-Исследовательский Центр «АТЕНОН»; Москва, Россия

Вклад автора:

Леванов В.М. – поиск публикаций по теме исследования, написание статьи, 20%
Иляхинский А.В. – разработка плана исследования, обработка данных, анализ результатов, написание статьи, 20%
Пахомов П.А. – обработка данных, выполнение расчётов, написание статьи, 20%
Мухина И.В. – определение аспектов, представляющих наибольший научный и практический интерес, редактирование статьи, 20%
Гуренко С.Б. – редактирование статьи, одобрение направления рукописи на публикацию, 20%

Конфликт интересов: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: Работа выполнена при поддержке Фонда содействия инновациям (проект № 61810).

Статья поступила: 1.12.2020

Принята к публикации: 20.12.20

Information about author:

Levanov V.M. – Dr. Sc., professor, department of social medicine and healthcare FSBEI HE «Volga Research Medical University» of the Ministry of Health of Russia, Minin and Pozharsky Square, 10/1, Nizhny Novgorod, Russia, SSC RF – «Institute of Biomedical Problems, RAS, Moscow»; Moscow, Russia; levanov53@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4625-6840>

Ilyakhinsky A.V. – PhD of Technical Sciences, Senior Researcher, Institute of Mechanical Engineering Problems of the Russian Academy of Sciences – Branch of the State Budgetary Scientific Institution «Federal Research Center Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences»; head of the project of LLC «Scientific Research Center ATENON»; Moscow, Russia

Mukhina I.V. – professor, D.Sc. in Biology, Head of the Department Department of Normal Physiology named after N.Y. Belenkov FSBEI HE «Privolzhsky Research Medical University» Ministry of Health of Russia; Professor of the Department of Neurotechnologies of the Institute of Biology and Biomedicine FSBEI HE «Privolzhsky Research Medical University» Ministry of Health of Russia; Moscow, Russia; mukhinaiv@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8811-0049>

Pakhomov P.A. – programmer-developer of LLC «Scientific Research Center ATENON»; Moscow, Russia

Gurenko S.B. – general Director of LLC «Scientific Research Center ATENON»; Moscow, Russia

Author contributions:

Levanov V.M. – search for publications on the topic of research, text writing, 20%
Ilyakhinsky A.V. – development of work plan, collecting and processing data, analysis of results, text writing, 20%
Pakhomov P.A. – data processing, performing calculations, writing articles, 20%
Mukhina I.V. – identification of aspects of the highest scientific and practical interest, article editing, 20%
Gurenko S.B. – editing the article, approving the article for publication, 20%

Conflict of interest. The author declare no conflict of interest.

Financing. This work was supported by the Innovation Promotion Foundation (project No. 61810).

Received: 1.12.2020

Accepted for publication: 20.12.20