

DOI: [HTTP://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-10-871-876](http://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-10-871-876)

УДК 613.6.027

© Коллектив авторов, 2019

Некрасова М.М.¹, Черникова Е.Ф.¹, Зуев А.В.¹, Полевая С.А.², Парин С.Б.²**Применение информационных технологий для оценки профессионального стресса у спортсменов**¹ФБУН «Нижегородский научно-исследовательский институт гигиены и профпатологии» Роспотребнадзора, ул. Семашко, 20, Нижний Новгород, Россия, 603950;²ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», пр-т Гагарина, 23, Нижний Новгород, Россия, 603022

Введение. Для оценки профессионального стресса актуально создание эффективной системы персонализированного мониторинга функционального состояния работающих на основе информационных компьютерных технологий. **Цель исследования** — проведение персонализированного физиолого-гигиенического мониторинга с использованием комплекса мобильных телеметрических систем и компьютерных технологий латерометрии и кампиметрии в реальных условиях профессиональной деятельности.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 37 спортсменов-гребцов в возрасте $16,84 \pm 0,26$ года. При телеметрии сердечного ритма вычислялся индекс стрессовой нагрузки (ИСН). Определялось содержание в крови биохимических маркеров (креатинкиназа фракции МВ — КК-МВ, аланинаминотрансфераза — АЛТ). Проводились кампиметрия и латерометрия.

Результаты. У лиц с выявленными признаками стресса по показателям латерометрии и кампиметрии в крови регистрируется повышенное содержание АЛТ ($18,9 \pm 6,9$ МЕ/л против группы «норма» $14,3 \pm 3,4$ МЕ/л, $p=0,01$), КК-МВ ($42 \pm 17,5$ МЕ/л против $16 \pm 3,5$ МЕ/л, $p=0,02$). В процессе тренировки у 60% спортсменов отмечались повышенные значения ИСН ($0,30 \pm 0,04$).

Заключение. Внедрение информационных технологий для персонализированного мониторинга дает возможность управления риском нарушения здоровья работников с высокими нервно-эмоциональными и физическими нагрузками.

Ключевые слова: спортсмены; функциональное состояние; стресс; биохимические маркеры; вариабельность сердечного ритма; латерометрия; кампиметрия

Для цитирования: Некрасова М.М., Черникова Е.Ф., Зуев А.В., Полевая С.А., Парин С.Б. Применение информационных технологий для оценки профессионального стресса у спортсменов. *Мед. труда и пром. экол.* 2019; 59 (10). <http://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-10-871-876>

Для корреспонденции: Некрасова Марина Михайловна, ст. науч. сотр. отдела гигиены ФБУН ННИИГП Роспотребнадзора, канд. биол. наук. E-mail: nmargya@yandex.ru

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Marina M. Nekrasova¹, Ekaterina F. Chernikova¹, Aleksandr V. Zuev¹, Sofiya A. Polevaya², Sergei B. Parin²**Application of information technologies for the assessment of occupational stress in athletes**¹Nizhny Novgorod Research Institute for Hygiene and Occupational Pathology Rospotrebnadzor, 20, Semashko str., Nizhny Novgorod, Russia, 603950;²Nizhny Novgorod State University named after N. I. Lobachevsky – National Research University, 23, Gagarina Ave., Nizhny Novgorod, Russia, 603022

Introduction. To assess occupational stress, it is important to create an effective system of personalized monitoring of the functional state of workers based on information computer technologies.

The aim of the study was to carry out personalized physiological and hygienic monitoring using a complex of mobile telemetry systems and computer technologies of laterometry and campimetry in real conditions of professional activity.

Materials and methods. 37 athlete rowers aged 15–20 years took part in the research on the basis of voluntary informed consent. In the course of the training, stress responses were recorded according to the results of heart rate telemetry and the stress load index (SLI) was calculated. The blood levels of biochemical markers were detected (creatinine kinase — CK-MB, alanine aminotransferase — ALT). Using computer laterometry and campimetry.

Results. In persons with identified signs of stress in terms of laterometry and campimetry in the blood recorded increased ALT (18.9 ± 6.9 IU / l against the group “norm” 14.3 ± 3.4 IU / l, $p=0.01$), CC-MV (42 ± 17.5 IU / l against 16 ± 3.5 IU / l, $p=0.02$). In the course of training, 60% of athletes had increased values of isn (0.30 ± 0.04).

Conclusions. The introduction of information technologies for personalized monitoring makes it possible to manage the risk of health disorders of workers with high nervous, emotional and physical stress.

Key words: athletes; functional state; stress; biochemical markers; heart rate variability; laterometry; campimetry

For citation: Nekrasova M.M., Chernikova E.F., Zuev A.V., Polevaya S.A., Parin S.B. Application of information technologies for the assessment of occupational stress in athletes. *Med. truda i prom. ekol.* 2019; 59 (10). <http://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-10-871-876>

For correspondence: Marina M. Nekrasova, senior researcher of department of the Central Research Institute of Hygiene, Cand. of Sci. (Biol.). E-mail: nmarya@yandex.ru

Funding: The study had no funding.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests.

Введение. Проблема профессионального стресса у спортсменов связана с риском перенапряжения систем регуляции в условиях интенсивных нагрузок и возникновением внезапных, угрожающих жизни состояний. Спорт высших достижений является основным видом трудовых занятий атлетов, поэтому для оценки профессиональных рисков и создания профилактических и лечебно-диагностических программ необходимо внедрять эффективные методы физиолого-гигиенического мониторинга функционального состояния (ФС) спортсменов с использованием современных информационных технологий [1–3]. Для оценки устойчивости к воздействию стресса необходимо исследование основных медиаторов стресс-реализующих и стресс-лимитирующих систем [2]. Основными стресс-реализующими системами являются: симпатoadrenalовая система (САС), гипоталамо-гипофизарно-адреналовая система (ГГАС) и эндогенная опиоидная система (ЭОС). При стрессе все три системы включаются одновременно, оказывая взаимное регулирующее влияние, при этом на каждой стадии стресса отмечается доминирование одной из систем. САС обеспечивает реализацию первой стадии стресса (стадия тревоги), регистрируется увеличение концентрации адреналина, норадреналина. Нарастание активности ГГАС отмечается на стадии резистентности, маркерами являются кортизол, адренокортикотропный гормон (АКТГ). Гипобиотическое состояние организма во многом определяется доминированием ЭОС и снижением активности САС и ГГАС на стадии истощения, которая также является регулируемым процессом, при этом активность ЭОС носит двухфазный характер, первый пик регистрируется в начальной стадии стресса (увеличивается содержание эндогенных опиоидных пептидов) [3]. Возможно, необходимость учета стадийности в развитии стресса является проблемой использования гормонов стресс-реализующих систем для оценки успешной адаптации к нагрузкам у спортсменов, кроме того, сниженный запас гормонов и последующее нарушение гормонального ответа на острые стрессовые ситуации может являться одним из триггеров синдрома перетренированности [4]. Длительные интенсивные физические нагрузки приводят к значительным изменениям в крови биомаркеров повреждения кардиомиоцитов, клеток скелетной мускулатуры, печени, почек [5–8]. При этом специалисты указывают на недостаточность определения только уровней этих показателей для диагностики синдрома перетренированности и для характеристики процесса восстановления, следует оценивать взаимозависимые изменения, соотношение уровней и индивидуальные показатели [5]. Также необходимо разрабатывать неинвазивные методы для оперативной персонифицированной оценки ФС спортсменов. С этой целью активно развивается диагностика ФС спортсменов на основе данных вариабельности сердечного ритма (ВСР) [8]. Этот метод позволяет в течение короткого периода времени оценить адаптационные возможности спортсмена, организовать систему управления тренировочным процессом [8–10]. Исследователями показано, что вариабельность показателей сердечного ритма очень велика, поэтому наиболее адекватным является динамическое наблюдение за состоянием регуляторных систем у конкретных индивидуумов [8]. Так как степень

напряжения регуляторных систем у спортсменов в отдельные периоды тренировочного процесса может достигать высоких значений, важно не допустить их перенапряжения с последующим истощением систем регуляции.

Цель исследования — изучение динамики психофизиологических и биохимических показателей стресса при физических и эмоциональных нагрузках у спортсменов; проведение персонифицированного физиолого-гигиенического мониторинга с использованием разработанного комплекса мобильных телеметрических систем в реальных условиях профессиональной деятельности для обеспечения профилактики развития неблагоприятного ФС организма.

Материалы и методы. В исследовании на основе добровольного информированного согласия приняли участие 37 спортсменов академической гребли (19 девушек и 18 юношей), в возрасте $16,84 \pm 0,26$ года. Стаж спортивной деятельности у девушек составил $4,97 \pm 0,26$ года, у юношей — $4,81 \pm 0,33$ года. Из 19 обследованных спортсменок трое не имели спортивного разряда, у семи имелся первый разряд, девять были кандидатами в мастера спорта. В мужской подгруппе восемь человек имели первый разряд, пятеро являлись кандидатами в мастера спорта. У 30 спортсменов (15 девушек и 15 юношей) было проведено 47 (из них 17 повторно) натурных непрерывных измерений ВСР в процессе тренировки с помощью разработанного комплекса для телеметрии сердечного ритма. Комплекс состоит из беспроводного миниатюрного датчика ZephyrBioHarness, смартфона с операционной системой Android и специализированным программным обеспечением «HR-Reader». Передача данных на смартфон организована по беспроводному каналу Bluetooth. При анализе результатов исследования вычислялись спектральные показатели ВСР: суммарная мощность спектра вариабельности — TP (мс²/Гц); мощность спектра в области высоких частот — HF (мс²/Гц), отражающая влияние парасимпатического отдела вегетативной нервной системы (ВНС); мощность спектра в области низких частот — LF (мс²/Гц), показывающая изменение тонуса симпатического отдела ВНС; соотношение мощностей спектра в области низких и высоких частот (индекс вегетативного баланса) — LF/HF (ИБВ). Для увеличения разрешения по времени в описании динамики вегетативной регуляции проводился динамический Фурье-анализ с окном 100 с и шагом 10 с [11].

В ходе мониторинга регистрировали изменения спектральных показателей ВСР, характерные для начальной стадии острого стресса, проявляющиеся в динамике: одновременное снижение TP и возрастание ИБВ. Продолжительность и число стресс-реакций за период тренировки характеризует степень хронизации стресса в условиях профессиональной деятельности у спортсменов. Индекс стрессовой нагрузки (ИСН) рассчитывался как отношение продолжительности всех стрессовых реакций (Ts) к продолжительности тренировки (Tt):

$$\text{ИСН} = \sum_{i=1}^n T_{s_i} / T_t \quad (1)$$

Стрессовую нагрузку характеризует также интенсивность развития стресс-реакций ($\dot{S}$, стресс/мин), которая выражается как отношение количества стресс-реакций (Ns) к продолжительности тренировки (Tt):

$$S = N_s / T_s \quad (2)$$

Через 12–14 часов после интенсивных тренировочных нагрузок оценивался процесс восстановления по комплексу биохимических маркеров и психофизиологическим характеристикам. Используя стандартные методики, определялось содержание в крови биохимических маркеров повреждения кардиомиоцитов и клеток скелетной мускулатуры (кардиоспецифического белка тропонина-I — Тр-I, миоглобина — МГ, креатинкиназы фракции МВ — КК-МВ), маркеров активации стресс-реактивных систем (АКТГ, адреналина, кортизола), ферментов (аспартатаминотрансферазы — АСТ, аланинаминотрансферазы — АЛТ, общей лактатдегидрогеназы — ЛДГ), малонового диальдегида (МДА), мочевой кислоты (МК). Проводился анализ электрокардиограмм (ЭКГ), измерения ВСП при ортостатической пробе согласно стандарту Европейского Кардиологического Общества [12].

Для оценки влияния тренировочных нагрузок на когнитивную систему спортсменов регистрировались психофизиологические показатели с помощью компьютерных технологий латерометрии (ЛМ) и кампиметрии (КМ) [13–15]. При проведении ЛМ измерялись дифференциальные пороги латерализации звукового образа и вычислялись коэффициенты функциональной межполушарной асимметрии (ФМПА): As_{min} — коэффициент ФМПА по показателю лабильности; As_{max} — возбудимости; As_{rash} — устойчивости. При проведении КМ определялась функция цветоразличения (ФЦР) по дифференциальным порогам в трех базовых оттенках (красном — R; зеленом — G; синем — B). Применение методов на этапах исследования представлены в таблице 1.

Статистическая обработка данных осуществлялась с использованием программного пакета Statistica 12.0. Рас-

считывались среднее значение показателей и стандартное отклонение ($M \pm SD$).

Результаты. Анализ результатов комплексных исследований позволил изучить закономерности и провести оценку эффективности процесса восстановления с учетом стадийности развития стресса в условиях интенсивных физических и эмоциональных нагрузок у спортсменов.

При исследовании взаимосвязанных изменений психофизиологических характеристик и биохимических маркеров было отмечено следующее. Увеличение концентрации в крови адреналина сопровождается повышением дифференциального порога латерализации звука в правом полушарии по коэффициентам ФМПА, характеризующим лабильность (As_{min}) и возбудимость (As_{max}) ($r=0,58$, $p=0,01$; $r=0,66$, $p=0,002$). Положительная корреляция отмечается и при изменении значений данных коэффициентов ФМПА и концентрации кортизола в крови спортсменов ($r=0,57$, $p=0,01$; $r=0,53$, $p=0,02$). Повышение кортизола коррелирует с возрастанием ТР ВСП при активной ортостатической пробе ($r=0,33$, $p=0,02$). Положительная корреляция отмечается между АКТГ и ИВБ ($r=0,35$, $p=0,01$).

У спортсменов с оптимальным функциональным состоянием в период восстановления, через 12 ч после тренировки зарегистрированы средние уровни адреналина ($68,3 \pm 0,8$ пг/мл), АКТГ ($23,6 \pm 10,7$ пмоль/л), кортизола (393 ± 193 нмоль/л), максимум дифференциального порога цветоразличения в зеленом базовом оттенке, уровень ФМПА более 0,1 условных единиц (рис. 1, 2).

У спортсменов группы риска на стадии истощения функциональных ресурсов наблюдается снижение ФМПА по показателям латерометрии, превышение дифференциальных порогов ФЦР в красном и синем базовых оттенках по показателям кампиметрии (рис. 1, 2). Также у отдельных спортсменов регистрировали низкие уровни адреналина (20 пг/мл) и кортизола (менее 200 нмоль/л).

Таблица 1 / Table 1

Методы и оцениваемые показатели на этапах исследования Methods and estimated indicators at the research stages

Этапы исследования	Метод	Показатель
В процессе тренировки	Телеметрия сердечного ритма	Индекс стрессовой нагрузки (ИСН); интенсивность стресс-реакций (S); экстрасистолия
Через 12–14 ч после тренировки	Биохимические	Тропонин-I (Тр-I)
		Креатинкиназа фракции МВ (КК-МВ)
		Лактатдегидрогеназа (ЛДГ)
		Миоглобин (МГ)
		Аспартатаминотрансфераза (АСТ)
		Аланинаминотрансфераза (АЛТ)
		Лактатдегидрогеназа (ЛДГ)
		Малоновый диальдегид (МДА)
		Мочевая кислота (МК)
		Адренотропный гормон (АКТГ)
		Адреналин
		Кортизол
	Когнитивные: Компьютерная латерометрия Компьютерная кампиметрия	Коэффициенты функциональной межполушарной асимметрии (ФМПА)
		Дифференциальные пороги функции цветоразличения (ФЦР)
	Анализ ЭКГ и вариабельности сердечного ритма (ВСП) при ортостатической пробе	ЭКГ-признаки
		Спектральные показатели ВСП

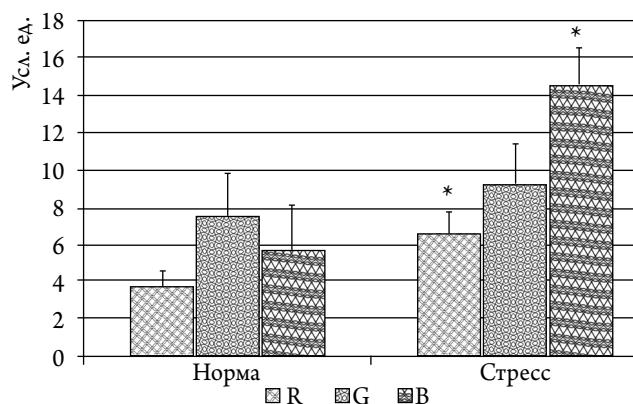


Рис. 1. Мониторинг эмоционального состояния спортсменов по функции цветоразличения

Fig. 1. Monitoring of the emotional state of athletes by the function of color differentiation

Примечания: R, G, B, — значения дифференциальных порогов цветоразличения (условные единицы) в красном, зеленом и синем базовых оттенках; * — статистически значимые различия по сравнению с нормой, $p < 0,001$.

Notes: R, G, B, — values of differential thresholds of color differentiation (conditional units) in red, green and blue base shades; * — statistically significant differences compared to the norm, $p < 0,001$.

На данной стадии фиксируются корреляции между биохимическими и психофизиологическими показателями. Так, у лиц с выявленными признаками стресса по показателям лаггерометрии и кампиметрии в крови регистрируется повышенное содержание АЛТ ($18,9 \pm 6,9$ МЕ/л против группы «норма» $14,3 \pm 3,4$ МЕ/л, $p = 0,01$), МК ($0,326 \pm 0,05$ ммоль/л против $0,256 \pm 0,06$ ммоль/л, $p = 0,02$), КК-МВ ($42 \pm 17,5$ МЕ/л против $16 \pm 3,5$ МЕ/л, $p = 0,02$) и МДА ($2,1 \pm 1,1$ мкМ/л против $0,96 \pm 0,4$ мкМ/л, $p = 0,02$).

Положительная корреляция наблюдается между концентрацией КК-МВ ($r = 0,42$, $p = 0,03$) и дифференциальным порогом цветоразличения в красном базовом оттенке, повышение которого указывает на эмоциональное истощение.

В фазу восстановления возрастает содержание гормона эритропоэтина и снижается ИВБ ($r = -0,36$, $p = 0,008$).

При проведении мониторинга ФС в процессе тренировок с использованием разработанной телеметрической системы у 60% спортсменов-гребцов (группа риска) отмечались повышенные значения ИСН ($0,30 \pm 0,04$) по сравнению со спортсменами, которые характеризовались удовлетворительной переносимостью нагрузки ($0,23 \pm 0,04$, $p = 0,003$). Также фиксировались случаи экстрасистолии при резком переходе от минимального к максимальному уровню нагрузки.

У спортсменов, у которых во время тренировок были зафиксированы высокие значения стрессовой нагрузки и интенсивности стрессовых реакций, достоверно чаще регистрировались повышенное содержание в крови Тр-І ($p = 0,049$) и выраженная синусовая аритмия ($p = 0,04$) через 12 часов после тренировки. С увеличением длительности тренировки средняя продолжительность стресс-реакции достоверно увеличивается ($r = 0,64$, $p = 0,004$) и количество стрессов достоверно возрастает ($r = 0,58$, $p = 0,012$). После более продолжительных тренировочных занятий в крови достоверно возрастает содержание КК-МВ ($r = 0,5$, $p = 0,035$) и снижается содержание эритропоэтина ($r = -0,57$,

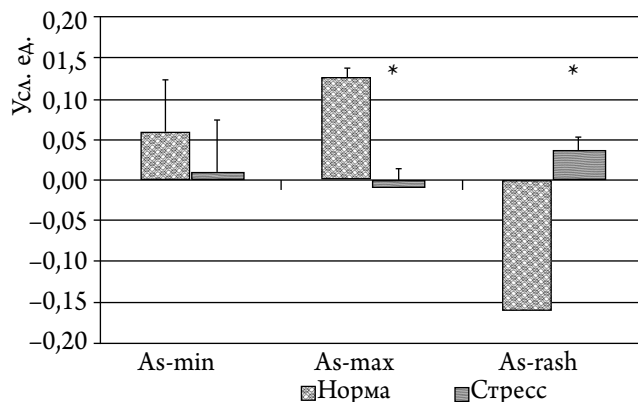


Рис. 2. Значения коэффициентов ФМПА (условные единицы) у спортсменов в норме и при стрессе

Fig. 2. The values of the FIHA (relative units) in athletes are normal and under stress

Примечания: Asmin — коэффициент ФМПА по показателю лабильности; Asmax — возбудимости; Asrash — устойчивости; * — статистически значимые различия по сравнению с нормой, $p < 0,001$.

Notes: Asmin — coefficient of FIHA in terms of lability; Asmax excitability; Asrash — sustainability; * — statistically significant differences compared to normal, $p < 0,001$.

$p = 0,015$). Через 12 часов после тренировок на ЭКГ у спортсменов чаще регистрируется синусовая аритмия ($r = 0,5$, $p = 0,039$). Увеличение средней продолжительности стресс-реакции происходит при брадикардии ($r = 0,64$, $p = 0,004$). Выраженная синусовая аритмия достоверно чаще регистрировалась при повышенных уровнях АСТ ($r = 0,58$, $p = 0,001$) и КК-МВ ($r = 0,48$, $p = 0,008$). При значительных уровнях КК-МВ у спортсменов чаще регистрируется на ЭКГ признаки нарушения проводимости правой ножки пучка Гиса ($r = 0,43$, $p = 0,02$).

Полученные в ходе проведения физиолого-гигиенического мониторинга высокие показатели ИСН и интенсивности S, указывающие на значительное перенапряжение ФС спортсменов в процессе тренировки, а также результаты биохимического анализа стали основанием для проведения коррекции тренировочного плана (табл. 2). По показателю ИСН были определены допустимые уровни нагрузки для каждого конкретного спортсмена, типы тренировочных нагрузок, не приводящие к возрастанию стрессового напряжения.

После коррекции тренировочной нагрузки было показано достоверное улучшение биохимических показателей (табл. 3).

Обсуждение. Результаты проведенного исследования указывают на то, что длительная интенсивная нагрузка у спортсменов приводит к значительным изменениям биомаркеров повреждения кардиоцитов и миоцитов и перестройкам в системе вегетативной регуляции [5–8,10,15]. Для некоторых маркеров, в частности, креатинкиназы показана положительная корреляция в зависимости от продолжительности и интенсивности физических нагрузок, а также прямая связь с показателями ВСР [6,16]. По мнению ряда исследователей, высвобождение биохимических маркеров служит стимулом к положительной адаптации к нагрузкам [5,9,10]. Важной задачей оценки ФС спортсменов является объективная дифференциация и ранняя диагностика оптимальных и неоптимальных состояний.

Таблица 2 / Table 2

Значения показателей, характеризующих стрессовую нагрузку по результатам телеметрии у спортсменов группы риска (M±SD)

Values of indicators characterizing the stress load according to the results of telemetry in athletes at risk (M±SD)

Показатель	До коррекции тренировочного процесса	После коррекции	p-уровень
Индекс стрессовой нагрузки (ИСН), условные единицы	0,30±0,04	0,22±0,03	0,0000
Интенсивность (S), стресс/мин	0,23±0,04	0,18±0,03	0,001

Таблица 3 / Table 3

Частота повышения уровней биохимических маркеров до и после коррекции физической нагрузки

Frequency of increase in levels of biochemical markers before and after correction of physical activity

Биомаркеры	До коррекции физической нагрузки	После коррекции физической нагрузки	p-уровень
Тропонин-I (Тр-I)	45,0±8,9	19,2±7,7	0,04
Креатинкиназа фракции МВ (КК-МВ)	58,8±8,8	24,0±8,2	0,05
Лактатдегидрогеназа (ЛДГ)	48,3±8,9	34,6±9,2	0,2
Аспаратаминотрансфераза (АСТ)	35,4±8,0	11,5±6,0	0,036
Миоглобин (МГ)	55,5±8,9	25,6±8,4	0,02

Многие исследователи используют в качестве маркеров стресса повышенные уровни АКТГ, кортизола, катехоламинов в крови и слюне [17]. При этом работ, в которых бы учитывалась стадийность гормонального ответа при развитии стресса, в том числе и при физических нагрузках, крайне мало [4,8]. Для изучения динамики ФС, наряду с общепринятым комплексом биохимических показателей, необходимо использовать неинвазивные высокочувствительные методы, позволяющие оперативно проводить диагностику отклонений как при выполнении тренировочной нагрузки, так и в период постнагрузочного восстановления. Имеются сведения о влиянии тренировочной нагрузки на уровень когнитивного восприятия и разработке методов определения степени утомления у спортсменов на основе анализа когнитивных систем [18]. В данном исследовании было показано, что применение технологий латерометрии и кампиметрии для оценки когнитивных функций способствовали более точной и правильной диагностике ФС. При проведении телеметрии сердечного ритма во время тренировок у спортсменов группы риска были зафиксированы высокие значения ИСН. Результаты анализа послужили основанием для разработки индивидуальных тренировочных планов у конкретных спортсменов; коррекция тренировочной программы привела к снижению ИСН и улучшению биохимических показателей.

В сохранении здоровья спортсменов важную роль играет система профилактических мероприятий, направленная на коррекцию физических нагрузок, правильную оценку работоспособности, степени тренированности спортсмена и индивидуальное динамическое наблюдение за состоянием его здоровья. Информационные технологии, с помощью которых возможно осуществлять оперативный контроль за ФС спортсмена во время тренировки, позволяют предупредить развитие катастрофических состояний, эффективно управлять тренировочным процессом, способствуют практической реализации современных здоровьесберегающих лечебных методов.

Выводы:

1. Использование комплекса биохимических маркеров (КК-МВ, АЛТ, МК, МДА, Тр-I, АСТ, МГ) и показателей кампиметрии (дифференциальных порогов ФЦР) и латерометрии

(коэффициентов ФМПА) имеет критериальную значимость для объективной оценки состояния ФС спортсменов с учетом динамики развития стресса при физических и эмоциональных нагрузках.

2. Применение для персонифицированного мониторинга разработанного метода беспроводной регистрации показателей ВСР в процессе тренировки способствует снижению риска истощения функциональных резервов и сохранению здоровья спортсменов.

3. С внедрением информационных технологий для мониторинга ФС работников с высокими нервно-эмоциональными и физическими нагрузками в условиях профессиональной деятельности появляется возможность управлять риском нарушения здоровья, обеспечивая проведение своевременной коррекции ФС, оптимизации режимов труда и отдыха и повышения безопасности труда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Измеров Н.Ф. Спорт как профессия: медико-социальные аспекты. *Мед. труда и пром. экол.* 2011; 3: 1–6.
2. Капустина А.В., Юшкова О.И., Матюхин В.В. Психфизиологические особенности устойчивости к стрессу при отдельных видах умственной работы. *Мед. труда и пром. экол.* 2018; 1: 12–8.
3. Парин С.Б., Полевая С.А. Трехкомпонентная концепция нейрхимических механизмов стресса и шока: от экспериментов к математическому моделированию. В кн: «Физиология и здоровье человека: Научные труды II съезда физиологов СНГ». Москва, Россия – Кишинэу, Молдова: Медицина Здоровье; 2008. 234–35.
4. Cadegiani F.A., Kater C.E. Hormonal aspects of overtraining syndrome: a systematic review. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation.* 2017; 9: 14. DOI: 10.1186/s13102-017-0079-8.
5. Niemelä M., Kangastupa P., Niemelä O., Bloigu R., Juvonen T. Individual responses in biomarkers of health after marathon and half-marathon running: is age a factor in troponin changes? *Scand J Clin Lab Invest.* 2016; 76 (7): 575–80.
6. Ferreira H.R., Ferreira P.G., Loures J.P., Fernandes F. J., Fernandes L.C., Buck H.S. et al. Acute Oxidative Effect and Muscle Damage after a Maximum 4 Min Test in High Performance Ath-

letes. *PLoS One*. 2016; 11(4): e0153709. DOI: 10.1371/journal.pone.0153709.

7. Shin K.A., Park K.D., Ahn J., Park Y., Kim Y.J. Comparison of Changes in Biochemical Markers for Skeletal Muscles, Hepatic Metabolism, and Renal Function after Three Types of Long-distance Running: Observational Study. *Medicine (Baltimore)*. 2016; 95(20): e3657. DOI: 10.1097/MD.00000000000003657.

8. Barrero A., Schnell F., Carrault G., Kervio G., Matelot D., Carré F. et al. Daily fatigue-recovery balance monitoring with heart rate variability in well-trained female cyclists on the Tour de France circuit. *PLoS One*. 2019; 14(3): e0213472. DOI: 10.1371/journal.pone.0213472.

9. Plews D.J., Laursen P.B., Stanley J., Kilding A.E., Buchheit M. Training adaptation and heart rate variability in elite endurance athletes: opening the door to effective monitoring. *Sports Med*. 2013; 43(9): 773–81. DOI: 10.1007/s40279-013-0071-8.

10. Bellenger C.R., Fuller J.T., Thomson R.L., Davison K., Robertson E.Y., Buckley J.D. Monitoring Athletic Training Status Through Autonomic Heart Rate Regulation: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med*. 2016; 46(10): 1461–86. DOI: 10.1007/s40279-016-0484-2.

11. Некрасова М.М., Полевая С.А., Парин С.Б., Шишалов И.С., Бахчина А.В. Способ определения стресса: пат. Рос. Федерация: RU 2531443; 2014.

12. Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology. *European Heart Journal*. 1996; 17: 354–81.

13. Щербаков В.И., Паренко М.К., Полевая С.А. Способ исследования цветового зрения человека: пат. Рос. Федерация: RU 2222250; 2002.

14. Щербаков В.И., Паренко М.К., Полевая С.А., Шеромова Н.Н. Способ исследования межполушарной сенсорной асимметрии: пат. Рос. Федерация: RU 2207041; 2003.

15. Coates A.M., Hammond S., Burr J.F. Investigating the use of pre-training measures of autonomic regulation for assessing functional overreaching in endurance athletes. *Eur J Sport Sci*. 2018; 18(7): 965–74. DOI: 10.1080/17461391.2018.1458907.

16. Weippert M., Behrens M., Mau-Moeller A., Bruhn S., Behrens K. Relationship Between Morning Heart Rate Variability and Creatine Kinase Response During Intensified Training in Recreational Endurance Athletes. *Front. Physiol*. 2018; 9: 1267. DOI: 10.3389/fphys.2018.01267.

17. Kim H.G., Cheon E.J., Bai D.S., Lee Y.H., Koo B.H. Stress and Heart Rate Variability: A Meta-Analysis and Review of the Literature. *Psychiatry Investig*. 2018; 15(3): 235–45. DOI: 10.30773/pi.2017.08.17.

18. Schmit C., Brisswalter J. Executive functioning during prolonged exercise: a fatigue-based neurocognitive perspective. *Int. Rev. Sport Exerc. Psychol*. 2018. DOI: 10.1080/1750984X.2018.1483527.

REFERENCES

1. Izmerov N.F. Sport as a profession: medical and social aspects. *Med. truda i prom. ekol*. 2011; 3: 1–6. (in Russian).

2. Kapustina A.V., Yushkova O.I., Matyukhin V.V. Psycho-physiologic features of resistance to stress in some types of mental work. *Med. truda i prom. ekol*. 2018; 1: 12–8 (in Russian).

3. Parin S.B., Polevaya S.A. The three-component concept of neurochemical mechanisms of stress and shock: from experiments to mathematical modeling. In: «*Physiology and human health: Scientific works of the II Congress of CIS physiologists*». Moskva, Rossiya – Kishineu, Moldova: Meditsina Zdorov'e; 2008: 234–35 (in Russian).

4. Cadegiani F.A., Kater C.E. Hormonal aspects of overtraining syndrome: a systematic review. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*. 2017; 9: 14. DOI: 10.1186/s13102-017-0079-8.

5. Niemelä M., Kangastupa P., Niemelä O., Bloigu R., Juvonen T. Individual responses in biomarkers of health after marathon and half-marathon running: is age a factor in troponin changes? *Scand J Clin Lab Invest*. 2016; 76 (7): 575–80.

6. Ferreira H.R., Ferreira P.G., Loures J.P., Fernandes F. J., Fernandes L.C., Buck H.S. et al. Acute Oxidative Effect and Muscle Damage after a Maximum 4 Min Test in High Performance Athletes. *PLoS One*. 2016; 11(4): e0153709. DOI: 10.1371/journal.pone.0153709.

7. Shin K.A., Park K.D., Ahn J., Park Y., Kim Y.J. Comparison of Changes in Biochemical Markers for Skeletal Muscles, Hepatic Metabolism, and Renal Function after Three Types of Long-distance Running: Observational Study. *Medicine (Baltimore)*. 2016; 95(20): e3657. DOI: 10.1097/MD.00000000000003657.

8. Barrero A., Schnell F., Carrault G., Kervio G., Matelot D., Carré F. et al. Daily fatigue-recovery balance monitoring with heart rate variability in well-trained female cyclists on the Tour de France circuit. *PLoS One*. 2019; 14(3): e0213472. DOI: 10.1371/journal.pone.0213472.

9. Plews D.J., Laursen P.B., Stanley J., Kilding A.E., Buchheit M. Training adaptation and heart rate variability in elite endurance athletes: opening the door to effective monitoring. *Sports Med*. 2013; 43(9): 773–81. DOI: 10.1007/s40279-013-0071-8.

10. Bellenger C.R., Fuller J.T., Thomson R.L., Davison K., Robertson E.Y., Buckley J.D. Monitoring Athletic Training Status Through Autonomic Heart Rate Regulation: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med*. 2016; 46(10): 1461–86. DOI: 10.1007/s40279-016-0484-2.

11. Nekrasova M.M., Polevaya S.A., Parin S.B., Shishalov I.S., Bakhchina A.V. Method of stress determination: patent Russian Federation: RU 2531443; 2014 (in Russian).

12. Heart rate variability: Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. Task Force of The European Society of Cardiology and The North American Society of Pacing and Electrophysiology. *European Heart Journal*. 1996; 17: 354–81.

13. Shcherbakov V.I., Parenko M.K., Polevaya S.A. Method study color vision person: patent Russian Federation: RU 2222250, 2002. (in Russian).

14. Shcherbakov V.I., Parenko M.K., Polevaya S.A., Sheromova N.N. Method of investigation of interhemispheric sensory asymmetry: patent Russian Federation: RU 2207041; 2003. (in Russian).

15. Coates A.M., Hammond S., Burr J.F. Investigating the use of pre-training measures of autonomic regulation for assessing functional overreaching in endurance athletes. *Eur J Sport Sci*. 2018; 18(7): 965–74. DOI: 10.1080/17461391.2018.1458907.

16. Weippert M., Behrens M., Mau-Moeller A., Bruhn S., Behrens K. Relationship Between Morning Heart Rate Variability and Creatine Kinase Response During Intensified Training in Recreational Endurance Athletes. *Front. Physiol*. 2018; 9: 1267. DOI: 10.3389/fphys.2018.01267.

17. Kim H.G., Cheon E.J., Bai D.S., Lee Y.H., Koo B.H. Stress and Heart Rate Variability: A Meta-Analysis and Review of the Literature. *Psychiatry Investig*. 2018; 15(3): 235–45. DOI: 10.30773/pi.2017.08.17.

18. Schmit C., Brisswalter J. Executive functioning during prolonged exercise: a fatigue-based neurocognitive perspective. *Int. Rev. Sport Exerc. Psychol*. 2018. DOI: 10.1080/1750984X.2018.1483527

Дата поступления / Received: 03.07.2019

Дата принятия к печати / Accepted: 12.10.2019

Дата публикации / Published: 28.10.2019