

УДК 796.01:612

DOI 10.29039/2413-1725-2023-9-1-249-257

ВЛИЯНИЕ СПЕЦИФИЧЕСКИХ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗОК НА ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ СЕРДЕЧНОГО РИТМА У ВОЕННОСЛУЖАЩИХ

Хоменко О. В.¹, Катков Б. А.¹, Якименко В. С.¹, Сышко Д. В.²

¹Спортивный клуб «Черноморец», Севастополь, Россия

²ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», Симферополь,
Республика Крым, Россия

E-mail: sk_chernomorets@mail.ru

В работе исследовали влияние специфических физических нагрузок, связанных с проявлением аэробной выносливости и градиента силы на функцию регуляции сердечного ритма у военнослужащих. Получено разнонаправленное влияние, нагрузок аэробно-силовой направленности в сочетании с температурным фактором, на вариабельность сердечного ритма, в зависимости от вегетативного баланса в управлении сердечным ритмом, определяемого по соотношению LF/HF (низкой вариабельности к высокой). Выделено две группы военнослужащих. Для военнослужащих первой группы (n=12) после этапа использования специфических физических нагрузок было характерно преобладание симпатического канала в ритме сердца, более высокое напряжение в центральном контуре регуляции. Для военнослужащих второй группы (n=14) после этапа использования специфических физических нагрузок было характерно преобладание парасимпатического канала в ритме сердца, более низкое напряжение в центральном контуре регуляции, что с позиций современных представлений физиологии мышечной деятельности, является более позитивным вектором в адаптации к нагрузкам.

Ключевые слова: вариабельность сердечного ритма, аэробная выносливость, градиент силы, военнослужащие

ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных задач прикладной физиологии, является исследование адаптации человека к экстремальным воздействиям различных факторов, как физического, так и психогенного характеров. При выполнении задач, связанных с военным трудом, военнослужащие сталкиваются со специфическими факторами воздействия на их организм. Специфичность воздействия на организм военнослужащего, представляет собой, как правило, совокупность влияний механического (физические нагрузки), температурного, энергетического, стрессовых и др. факторов. Специфичность механического фактора связана, прежде всего, с физическими нагрузками, предъявляющими значительные требования к градиенту силы и общей выносливости. Сочетание проявления силы и выносливости предъявляет высокие требования к эффективности функционирования нервно-мышечного аппарата и кардиореспираторной системы. Оптимальность функционирования этих систем, по сведениям многих авторов, определяют по особенностям регуляции ритма сердца [1–5]. Существует мнение [6],

что переход из одного механизма энергообеспечения мышечных клеток на другой, (например, с аэробного на анаэробный) обязательно отразится на показателях variability ритма сердца. Известно, что variability сердечного ритма (ВСР) показывает долю различных уровней регуляции сердечного ритма, в течение определенного периода времени, включая как ритмические колебания мгновенной частоты сердечных сокращений, так и неритмические колебания последовательных интервалов RR [5]. ВСР как характеристика сердечной деятельности находится под постоянной модуляцией вегетативной нервной системы, которая регулирует физиологическую адаптацию организма к разнообразным потребностям организма [1]. Дифференцированный подход, с учётом типологических реакций на нагрузку, даёт возможность более точно оценить состояния организма в различных состояниях, особенно не изученным остаётся вопрос, когда физическая нагрузка носит многофакторный характер, в зоне смешанной нагрузки аэробной мощности и градиента силы, с какой сталкиваются военнослужащие.

В связи с этим, **целью** нашего исследования являлось определения влияний специфических физических нагрузок на функцию регуляции ритма сердца у военнослужащих.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Экспериментальное исследование проведено на базе Спортивного клуба «Черноморец» г. Севастополь с участием Научно-клинического центра «Технологии здоровья и реабилитации» ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского». В исследовании принимали участие военнослужащие (n=26) на этапе становления физических способностей к преодолению специальной полосы препятствий, приближенной к реальным условиям военных операций. Возраст испытуемых составлял 18–20 лет. Этап становления физических способностей к преодолению специальной полосы препятствий составлял 3 месяца, 4 тренировочных занятия в неделю. Физиологическая характеристика нагрузок представляла собой совокупность аэробной выносливости с градиентом силы и наличием температурного фактора, связанного с охлаждением поверхности тела и амуниции водой (14 градусов по шкале Цельсия). Основание к выбору величины температуры воды связано рекомендациями по первичному этапу освоения специальной полосы препятствий. В начале этапа освоения специальной полосы препятствий и по его завершению в конце (через 3 месяца тренировочных занятий) регистрировали показатели вариационной пульсометрии. При этом использовали аппаратно-программный комплекс "Омега-М" (Россия). В положении сидя у военнослужащих регистрировали следующие показатели: частоту сердечных сокращений (ЧСС, уд/мин); интервалы R-R (мс); индекс напряжения (ИН, усл. ед., отражает степень централизации управления сердечным ритмом); общую мощность спектра (TP, мс², отражает суммарную активность вегетативных воздействий на сердечный ритм); мощность спектра высокочастотного компонента ВСР (HF, мс², отражает активность парасимпатического кардиоингибиторного центра продолговатого мозга); мощность спектра низкочастотного компонента ВСР (LF, мс², отражает активность симпатического центра продолговатого мозга); мощность

спектра очень низкочастотного компонента ВСР (VLF, мс^2); отношение мощности низких частот к мощности высоких (LF/HF, усл. ед.) и индекс централизации (ИЦ, усл. ед.). Полученные данные подвергались статистической обработке. Применялся метод статической характеристики вариационного ряда с определением средней арифметической (\bar{x}) и ошибки средней арифметической ($S_{\bar{x}}$). Полученный материал обрабатывался на персональном компьютере с использованием пакета программ STATISTICA 10.0. Проверка соответствия статистических данных закону нормального распределения проводилась с помощью критерия Шапиро-Уилка.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение показателей ВСР у военнослужащих до и после использования специфических физических нагрузок, которые по своим физиологическим характеристикам были совокупностью аэробной выносливости с градиентом силы, показало изменение как мощностных, так и спектральных характеристик variability (табл. 1). Так, среднестатистические показатели ИИ свидетельствовали о тенденции снижения напряжения в центральных механизмах регуляции работы сердца, при увеличении суммарной мощности ТР в variability сердечного ритма. Некоторые авторы, считают суммарную мощность спектра сердечного ритма, валидным показателем в оценке адаптационного потенциала всей сердечно-сосудистой системы [5]. Также обнаружено увеличение HF компоненты, что свидетельствует об увеличении влияния парасимпатического канала регуляции. Существует мнение, что с повышением резервов организма, в связи с адаптацией к физическим нагрузкам повышается тонус парасимпатического канала регуляции, и соответственно HF, а уменьшение variability принято рассматривать, как явления связанное с перетренированностью. При этом, тенденция сохранения превалирования симпатических влияний сохраняется, так не смотря на снижение LF/HF, эта величина была больше 1,0. Известно, что тип вегетативной регуляции можно установить по значениям рNN50, как фактор регуляций со стороны парасимпатического канала регуляции, и это фактор увеличивался после использования специфических физических нагрузок военнослужащих. Интересно отметить, что показатель $AM_0, \%$ не изменился, что свидетельствует о стабильности этого показателя и его устойчивости к различным факторам. Несмотря на определённые тенденции в изменении показателей ВСР, необходимо отметить, на значительные величины стандартных отклонений, коэффициента вариации и ненормальность распределения ряда (по критерию Шапиро-Уилка) по практически всем показателям ВСР.

Таблица 1.

Показатели ВСП у военнослужащих до и после этапа использования специфических физических нагрузок (средне-статистические показатели)

Показатели ВСП	В начале этапа	В конце этапа
ИН усл. ед.	61,4±10,02	52,8±9,1
TP мс ²	3782,4±893,2	5462,7±1003,4
HF %	1726,6±191,2	2189,2±804,2
LF %	1987,8±124,1	2779,1±239,1
LF/HF усл. ед.	1,75±0,4	1,31±0,4
AM ₀ , %	38,6±4,4	38,8±5,4
pNN50 %	7,6±0,4	9,1±0,4

Поэтому, делать выводы и обобщения не учитывая тип и характер этих изменений было бы неверным. Например, существует, данные свидетельствующие о том, что показатели вариационной пульсометрии, в какой то мере, отражают характер физических нагрузок и уровень подготовленности в спорте. Так, в работах Берсеньева Е. Ю. (2012) [2] существует дифференцированный подход к этапам подготовки и специализаций спортсменов по суммарной активности регуляторных систем (TP), по степени напряжения вегетативной регуляции (ИН), по вегетативному балансу (RMSSD), а также учитывать уровень функционирования сердечно-сосудистой системы (ЧСС), активность вазомоторного центра (LF) и надсегментарного энерго-метаболического уровня регуляции (VLF). Анализируя, наши данные, мы пришли к заключению, что показатели вариационной пульсометрии, после этапа использования специфических нагрузок у военнослужащих, также происходили по разному, что позволило разделить исследуемых на 2^е группы, по характеру изменений ВСП (рис. 1). В качестве критерия, нами был избран показатель LF/HF, отражающий не только соотношение влияний симпатического и парасимпатического каналов регуляции, но и, по мнению Wachter E. (2010) [6], как показатель отражающий переход от аэробного режима энергообразования к анаэробному. Разделение на группы было произведено по методу сигмальных отклонений. В условиях, когда значение LF/HF было в диапазоне $1,0 \pm 2\sigma$, где σ – квадратическое отклонение учитывающая максимальные и минимальные значения, и количество выборки. Это дало нам возможность использовать значение LF/HF, в оценке восстановления вегетативного баланса в регуляции ритмом сердца и в целом сердечно-сосудистой системы у военнослужащих после этапа использования специфических физических нагрузок. Таков, дифференцированный подход и разделение на группы выявил

типологические свойства реагирования системы регуляции сердечно-сосудистой системы на специфические нагрузки военнослужащих. Как видно из представленного рисунка 1, у военнослужащих второй группы достоверно снизился показатель LF/HF до величины 1,01, а у испытуемых первой группы остался на прежнем уровне. Опираясь на современные представления спортивной физиологии и физиологии мышечной деятельности, в частности на данные о механизмах адаптации системы регуляции и управления сердечным ритмом, необходимо отметить более позитивные приспособления у представителей второй группы. Так, как эти изменения свидетельствуют о установлении некоего вегетативного баланса в управлении сердечным ритмом, так как абсолютная величина приближена к 1,00. Снижение величины LF/HF, связано с преобладанием парасимпатического канала регуляции, что связывают с экономизацией функций и вариабельностью в регулировании. Представляет проблему интерпретация результатов изменения ВСР у военнослужащих первой группы. Однако опираясь на теорию ультрастабильных состояний при экстремальных нагрузках [3, 4], базирующейся на дискретности функционального состояния, то можно предположить, что имеет место отставленный, отсроченный эффект в изменениях ВСР, либо некий переход от одного состояния, к другому. Тогда, к военнослужащим первой группы необходима разработка методологического подхода в коррекции физической подготовки. Несомненно, для правильной интерпретации результатов по первой группе военнослужащих необходимы дальнейшие исследования.

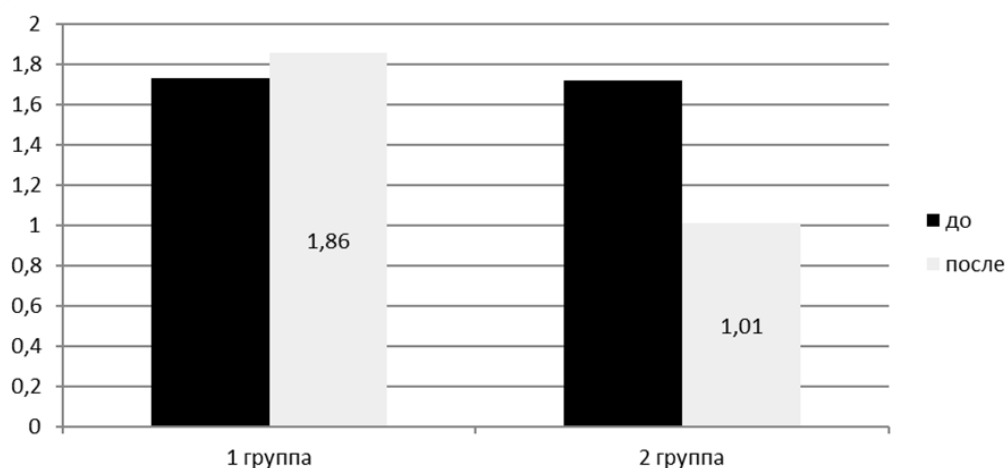


Рис. 1. Показатели LF/HF (усл.ед.) до и после этапа использования специфических физических нагрузок у военнослужащих.

Действительно, такой подход позволил более точно определить типологические и индивидуальные признаки в изменении показателей ВСР у военнослужащих (табл. 2).

Таблица 2.

Показатели ВСР у военнослужащих первой и второй группы после этапа использования специфических физических нагрузок (дифференцированные показатели)

Показатели ВСР	Первая группа (n=12)	Вторая группа (n=14)
ИН усл. ед.	66,4±9,1	46,8±8,1*
TR мс ²	3782,4±999,4	4462,7±1003,4
HF %	1126,6±201,1	2169,2±204,2*
LF %	2387,8±124,1	2189,1±136,1
LF/HF усл. ед.	1,86±0,2	1,01±0,3*
AM ₀ , %	38,9±2,4	38,4±3,4
pNN50 %	7,0±0,3	10,5±0,4*

Примечание: * – достоверность при $p < 0,05$

Приведенные данные свидетельствуют, что показатели ВСР в разных группах достоверно отличаются, что не наблюдается в обобщенном подходе, когда рассматриваются среднестатистические параметры. Логично предположить, что система регуляции сердечным ритмом адаптируется по-разному, и это зависит, по-видимому, от индивидуальных функциональных особенностей организма в целом, и сердечно-сосудистой системы, в частности. Анализ данных ВСР подтверждает, это предположение, так как, не смотря на увеличение показателя pNN50 % и более высокого показателя спектральной мощности TR, индекс напряжения у представителей второй группы был ниже, что свидетельствует о более сбалансированном, более синергичном влиянии центрального контура управления в ритме сердца. Таким образом, исследование влияния специфических физических нагрузок на систему регуляции ритмом сердца зависит от типологических и индивидуальных особенностей организма. Обнаружено два реактивных свойства центрального контура управления сердечным ритмом на комплексную нагрузку аэробного и силового характера. К первому реактивному свойству, необходимо отнести преобладание симпатического канала регуляции, с напряжением, и конкуренцией всех механизмов регуляции; ко второму – преобладание парасимпатического канала регуляции, с синергией всех механизмов регуляции. С позиций классических и современных представлений спортивной физиологии преобладание вагусных влияний и отсутствие напряжения в контуре управления сердечным ритмом, является фактором позитивной адаптации. Наши данные согласуются с исследованиями Патахова П. П., (2014) [7] и Степаненко И. А. [8], где

было получены аналогичные механизмы применительно к факторам особого риска у военнослужащих с разным уровнем стрессоустойчивости и лиц призывного возраста, а также спортсменов [9, 10]. Поэтому, логично предположить, что военнослужащие второй группы более оптимально адаптированы, к такому характеру нагрузок. Проверка этой гипотезы требует дополнительного исследования других висцеральных систем организма и практических, прикладных исследований физической работоспособности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В оценке изменений показателей variability сердечного ритма необходимо использовать не средне-статистические показатели мощностных и спектральных показателей ВСР, а использовать дифференцированный подход, учитывающий типологические и индивидуальные свойства в регуляции ритмом сердца.
2. По количественным параметрам соотношения симпатико-парасимпатического баланса (LF/HF) в регуляции ритма сердца, получено две группы военнослужащих. Первая группа с неполным восстановлением вегетативного баланса и вторая группа, с полным восстановлением вегетативного баланса, после перенесённых специфических физических нагрузок.
3. Для военнослужащих первой группы после этапа использования специфических физических нагрузок, было характерно преобладание симпатического канала в ритме сердца, более высокое напряжение в центральном контуре регуляции, что видимо, свидетельствует о состоянии перетренированности, либо дискретности состояния, опираясь на теорию ультрастабильных систем при экстремальных нагрузках. В этом случае, рекомендуются реабилитационные мероприятия, направленные на восстановление аэробного потенциала организма военнослужащих этой группы.
4. Для военнослужащих второй группы после этапа использования специфических физических нагрузок, было характерно преобладание парасимпатического канала в ритме сердца, более низкое напряжение в центральном контуре регуляции, что с позиций современных представлений физиологии мышечной деятельности, является более позитивным вектором в адаптации к нагрузкам.

Список литературы

1. Берсенев Е. Ю. Вариабельность сердечного ритма у здоровых людей при функциональных нагрузках на кардиореспираторную систему : автореферат дис. ... кандидата биологических наук : 03.00.13, 14.00.32 / Берсенев Е. Ю. – Рос. ун-т дружбы народов (РУДН). – Москва, 2002. – 20 с.
2. Берсенев Е. Ю. Вариабельность сердечного ритма в условиях длительной изоляции (эксперимент «Марс-500») / Е. Ю. Берсенев, В. Б. Русанов, А. Г. Черникова // Вестник Удмуртского университета. Биология. Наука о Земле. – 2012. – Вып. 1. – С. 38–44.
3. Ильин В. Н. Оценка функционального состояния организма человека в экстремальных условиях на основе теории ультрастабильных систем / В. Н. Ильин, М. М. Филиппов, А. Алвани // Ульяновский медико-биологический журнал. – 2014. – №3. – С. 93–100.
4. Криворученко Е. В. Новый подход к оценке работоспособности спортсменов, специализирующихся в циклических видах спорта, по анализу показателей variability

- сердечного ритма / Е. В. Криворученко, В. Н. Ильин // Сб. материалов Международной научн. конф. «Состояние и перспективы развития медицины в спорте высших достижений: СпортМед-2006». – М. : АнитаПресс, 2006. – С. 171–172.
5. Кузнецов А. А. Биофизика сердца. / А. А. Кузнецов // Учебное пособие. Книга 2. Электрокардиографическое холтеровское мониторирование для исследования variability сердечного ритма условно здоровых людей. – Владимир, 2013. – 84 с.
 6. Wachter Eva. HRV – Schwellenbestimmung anhand Fahrradergometrie und Laufband im Verhältnis zu anaeroben Schwellen und Laktatschwellen. / Wachter Eva. // Dissertation. Zur Erlangung des akademischen Grades Doctor medicinae (Dr. med.) – 2010. – 101 p.
 7. Патахов П. П. Определение стрессоустойчивости у военнослужащих в зоне особого риска по variability ритма сердца / Патахов П. П. // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6.; URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=15358> (дата обращения: 01.01.2023).
 8. Степаненко И. А. Латентные аритмии и некоторые показатели нейро-гуморального статуса у лиц предпризывного и призывного возраста / И. А. Степаненко // Диссертация на соискание учёной степени кандидата медицинских наук, по специальности 14.01.04. – внутренние болезни. Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова. Санкт-Петербург. – 2020. – 175 с.
 9. Шлык Н. И. Сердечный ритм и тип регуляции у детей, подростков и спортсменов / Н. И. Шлык — Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2009. – 259 с.
 10. Thayer J.F. Heart rate variability, prefrontal neural function, and cognitive performance: the neurovisceral integration perspective on self-regulation, adaptation, and health. / J. F. Thayer, A. L. Hansen, E. Saus-Rose et al. // *Ann Behav Med.* – 2009. – 37(2). – P. 141–153.

THE EFFECT OF SPECIFIC PHYSICAL EXERTION ON HEART RATE VARIABILITY IN MILITARY PERSONNEL

Homenko O. V.¹, Katkov B. A.¹, Yakimenko V. S.¹, Syshko D. V.²

¹*Chernomorets Sports Club, Sevastopol, Russia*

²*V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Republic of Crimea, Russia*

E-mail: sk_chernomorets@mail.ru

The paper investigated the effect of loads associated with aerobic endurance and strength gradient on the function of heart rate regulation in military personnel. The multidirectional influence of such a nature of loads on heart rate variability, depending on the vegetative balance in heart rate management, determined by the ratio LF/HF, was obtained. 2 groups of military personnel were allocated. For the military personnel of the first group (n=12) after the stage of using specialized physical exertion, the predominance of the sympathetic channel in the heart rhythm, higher voltage in the central regulation circuit was characteristic. For the military personnel of the second group (n=14), after the stage of using specialized physical exertion, the predominance of the parasympathetic channel in the heart rhythm was characteristic, lower voltage in the central regulation circuit, which, from the standpoint of modern ideas of the physiology of muscular activity, is a more positive vector in adaptation to loads. These data indicate that HRV indicators in different groups differ significantly, which is not observed in the generalized approach when the average statistical parameters are considered. It is logical to assume that the heart rhythm regulation system adapts in different ways, and this depends, apparently, on the individual functional characteristics of the body as a whole and the cardiovascular

system in particular. Analysis of HRV data confirms this assumption, since despite an increase in the pNN50 % index and a higher spectral power TP index, the voltage index of the representatives of the second group was lower, which indicates a more balanced, more synergistic effect of the central control circuit in the heart rhythm. Thus, the study of the effect of specific physical exertion on the heart rhythm regulation system depends on the typological and individual characteristics of the organism. The second is the predominance of the parasympathetic channel of regulation, with the synergy of all regulatory mechanisms.

Keywords: heart rate variability, aerobic endurance, strength gradient, military personnel.

References

1. Bersenev E. Y. *Variabelnost serdechnogo ritma u zdorovyh ludei pri funkcionalnyh nagruzkah na kardiorespiratornuyu sistemu* : avtoreferat dis. ... : 03.00.13, 14.00.32, 20 s. (Ros.un-t druzhby narodov (RUDN), Moskva, 2002).
2. Bersenev E. Y. Rusanov V. B., Chernikova A. G. Variabelnost serdechnogo ritma v usloviyih dlitelnoi izolyacii (eksperiment «Mars–500»), *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Biologiya. Nauka o Zemle*, **1**, 38 (2012).
3. Ilyin V. N., Filippov M. M., Alvani A. Ocenka funkcionalnogo sostoyania organizma cheloveka v ekstremalnyh sistem na osnove teorii ultrastabilnyh sistem, *Ulyanovskii mediko-biologicheskii zhurnal*, **3**, 93 (2014).
4. Kryvoruchenko E. V., Ilyin V. N. *Novyi podhod k ozenke rabotosposobnosti sportsmenov, specializiruushihsyah v ziklicheskih vidah sporta*, Sb. Materialov Mezhdunarodnoy nauch. konf. «Sostoyaniya I perspektivy razvitiya mediziny v sporte vyshyh dostizheniy v sporte: “SportMed-2006”, 171 (M.: AnitaPress, 2006).
5. Kuznecov A. A. *Biofizika serdca*, Uchebnoe posobie. Kniga 2. Elektrokardiograficheskoe holterovskoe monitorirovanie dly issledovaniya Variabelnost serdechnogo ritma u uslovno zdorovyh ludei, 84 s. (Vladimir, 2013).
6. Wachter Eva. *HRV – Schwellenbestimmung anhand Fahrradergometrie und Laufband im Verhältnis zu anaeroben Schwellen und Laktatschwellen*. Dissertation. Zur Erlangung des akademischen Grades Doctor medicinae (Dr. med.), 101 p. (2010).
7. Patahov P. P. Opredelenie stressoustoichivosti u voenosluzhashih v zone osobogo riska po Variabelnost serdechnogo ritma, *Sovremenyie problemy nauki I obrazovaniya*, **6**, URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=15358> (data obrasheniya: 01.01.2023). (2014).
8. Stepanenko I. A. *Latentnye aritmii I nekotorye pokazateli neuro-gumornalnogo statusa u lic predprizyvnoy I prizyvnoy vozrasta*, Dissertaciya na soiskanie uchenoi stepeni kandidata medicinskih nauk, po specialnosti 14.01.04. vnutrinie bolezni, 175 s. (Voenno-medicinskaya akademiya im. S. M. Kirova. Sankt-Peterburg, 2020).
9. Shlyk N. I. Serdechnyi ritm I tip regulyacii u detey, podrostkov I sportsmenov, 259 s. (Izhevsk: Izda-vo «Udmurtskiy uneveritet», 2009).
10. Thayer J.F., Hansen A.L., Saus-Rose E., et al. Heart rate variability, prefrontal neural function, and cognitive performance: the neurovisceral integration perspective on self-regulation, adaptation, and health. *Ann Behav Med*, **37(2)**, 141 (2009).