



УДК 37.032:796

EDN QNZIZP

<https://doi.org/10.33910/2687-1270-2023-4-2-164-173>

Комплексный подход к средствам оценки вегетативной регуляции в модели комбинированной физической и умственной нагрузки

И. Б. Сиваченко^{✉1}, О. А. Любашина¹

¹ Институт физиологии им. И. П. Павлова РАН, 199034, Россия, г. Санкт-Петербург, наб. Макарова, д. 6

Сведения об авторах

Иван Борисович Сиваченко, SPIN-код: 4049-8950, Scopus AuthorID: 55882139900, ResearcherID: AAC-8883-2022, ORCID: 0000-0001-8548-8823, e-mail: avans_d@mail.ru

Ольга Анатольевна Любашина, SPIN-код: 5257-4057, Scopus AuthorID: 6505777191, ResearcherID: A-6241-2017, ORCID: 0000-0002-6296-4628, e-mail: lyubashinaoa@infran.ru

Для цитирования: Сиваченко, И. Б., Любашина, О. А. (2023) Комплексный подход к средствам оценки вегетативной регуляции в модели комбинированной физической и умственной нагрузки. *Интегративная физиология*, т. 4, № 2, с. 164–173. <https://doi.org/10.33910/2687-1270-2023-4-2-164-173> EDN QNZIZP

Получена 14 апреля 2023; прошла рецензирование 1 июня 2023; принята 1 июня 2023.

Финансирование: Работа выполнена при поддержке Госпрограммы 47 ГП «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» (2019–2030), тема 0134-2019-0001, при участии и материально-технической поддержке компании ООО «Таулаб».

Права: © И. Б. Сиваченко, О. А. Любашина (2023). Опубликовано Российским государственным педагогическим университетом им. А. И. Герцена. Открытый доступ на условиях лицензии [CC BY-NC 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

Аннотация. В статье представлен обзор современных технологических решений и приборных средств для оценки вегетативной регуляции, в первую очередь основанных на регистрации и анализе электрокардиоритмограммы. Выделен ряд технологических проблем современных устройств, применяемых для оценки функционального состояния человека и, в частности, регуляции его висцеральных функций, среди которых наиболее важными являются: узкая специализация, в ряде случаев — низкая точность измерения, технические ограничения в применении и др. Приводятся доводы в пользу того, что расширяющийся спектр исследовательских задач и объектов исследования в области физиологии и психофизиологии (изучение комбинированных нагрузок, моделируемых элементов профессиональной деятельности, комплексов стресс-факторов и т. д.) повышает актуальность одновременного применения разноформатных и разноформатных средств оценки функционального состояния организма и его отдельных функций. Для демонстрации рациональности комплексного подхода приведены результаты собственного исследования авторов, в котором оценены возможности параллельного использования разноформатных средств для изучения эффектов комбинированной умственной и физической нагрузки на показатели вегетативной регуляции у человека. Показано, что результаты оценки изменений в висцеральных показателях, полученные на основе регистрации реальной электрокардиоритмограммы при параллельном применении стационарного проводного комплекса (кардиографа) и мобильного компактного кардиодатчика, при наличии некоторых различий по информативности, в диагностическом плане дополняют друг друга.

Ключевые слова: ритмокардиография, вариабельность ритма сердца, спектральный анализ, кардиодатчик, вегетативная регуляция, функциональное состояние, комплексный подход

An integrated approach to the means of assessing autonomic regulation in a model of combined physical and mental load

I. B. Sivachenko^{✉1}, O. A. Lyubashina¹

¹ Pavlov Institute of Physiology, Russian Academy of Sciences, 6 Makarova Emb., Saint Petersburg 199034, Russia

Authors

Ivan B. Sivachenko, SPIN: 4049-8950, Scopus AuthorID: 55882139900, ResearcherID: AAC-8883-2022, ORCID: 0000-0001-8548-8823, e-mail: avans_d@mail.ru

Olga A. Lyubashina, SPIN: 5257-4057, Scopus AuthorID: 6505777191, ResearcherID: A-6241-2017, ORCID: 0000-0002-6296-4628, e-mail: lyubashinaoa@infran.ru

For citation: Sivachenko, I. B., Lyubashina, O. A. (2023) An integrated approach to the means of assessing autonomic regulation in a model of combined physical and mental load. *Integrative Physiology*, vol. 4, no. 2, pp. 164–173. <https://doi.org/10.33910/2687-1270-2023-4-2-164-173> EDN QNZIZP

Received 14 April 2023; reviewed 1 June 2023; accepted 1 June 2023.

Funding: This study was supported by the State Programme 47 GP ‘Scientific and Technological Development of the Russian Federation’ (2019-2030), Topic No. 0134-2019-0001, with the participation as well as financial and technical support from Taulab LLC.

Copyright: © I. B. Sivachenko, O. A. Lyubashina (2023). Published by Herzen State Pedagogical University of Russia. Open access under [CC BY-NC License 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

Abstract. The article presents an overview of modern technological solutions and tools for assessing autonomic regulation, based, primarily, on the ECG recording and analysis. It discusses a number of technological problems with the devices currently used to assess a person’s functional state and, in particular, the regulation of a person’s visceral functions. High among them is limited functionality and, to a certain extent, low accuracy of measurements, technical limitations in application, etc. The article argues that a broadening scope of research tasks and objects in the field of physiology and psychophysiology—studies of combined loads, simulated elements of professional activity, sets of stressors, etc.—increases the relevance of the simultaneous use of various multi-modal and multi-format means of assessing the functional state of the body and its individual functions. To demonstrate the feasibility of the integrated approach, the article reports the results of the authors’ own study. It assesses the possibilities of the simultaneous use of several monitoring tools to study the effects of combined mental and physical activity on autonomic regulation in humans. It is shown that the results of assessing changes in visceral parameters obtained simultaneously from ECG, a stationary wired complex (cardiograph) and a compact mobile heart rate sensor, allowing for some differences in data, complement each other as diagnostic tools.

Keywords: rhythmocardiography, heart rate variability, spectral analysis, heart rate sensor, autonomic regulation, functional state, integrated approach

Введение

В настоящее время отмечается повышенный интерес к изучению вопросов оценки функционального состояния как неотъемлемой части комплексного контроля в различной профессиональной деятельности (операторов, спортсменов, военнослужащих, сотрудников МЧС и т. д.). Вероятность возникновения ошибок или принятия ошибочных управленческих решений могут определить условия, в которых происходит выполнение сотрудниками своих профессиональных задач. Объективная оценка показателей вегетативной регуляции в различных условиях позволяет подойти к научному прогнозированию профессиональных возможностей человека, более рационально организовывать режим труда.

Ключевой проблемой оценки регуляции висцеральных функций является формализованный подход, узкое функциональное назначение диагностических приборов, а также их ограниченное техническое исполнение (габариты, провода). Учитывая особенности условий реальной деятельности, представляется актуальным рассмотрение комплексного подхода к использованию аппаратно-программных средств различного технического исполнения.

Современные технологии оценки состояния вегетативных функций

В настоящее время для оценки состояния вегетативной (автономной) нервной системы представлены три основных вида приборов.

В первую очередь, это приборы медицинского назначения, основанные на регистрации электрокардиограммы и методике оценки variability ритма сердца (BPC). Регистрация и изучение электрокардиограммы (ЭКГ) — не единственный способ оценки характеристик работы вегетативной нервной системы. Можно также отметить возможности для этого пупилометрии, регистрации и оценки кожно-гальванических реакций, фотоплетизмографии и др. Однако, регистрация ЭКГ пока сохраняет позицию наиболее точного метода (Баевский 1999; Гаврилова 2014; Чернова и др. 2013). Аппаратные комплексы медицинского назначения, в частности, вегетотестеры, ориентированы на оценку состояния отдельных органов и их систем

(по показателям ортостатической пробы, пробы Вальсальвы), обнаружение в них патологических отклонений для последующей более глубокой клинической диагностики и лечения. В нашей стране подобные приборы выпускают компании «Нейрософт», «Нейротех», «Медиком» и др. Аппараты указанных фирм (табл. 1) получают лицензию в качестве медицинского оборудования. Согласно своему назначению вегетотестеры, кардиографы должны иметь максимальную точность, отвечать строгим требованиям надежности (ТУ, стандарты, регламенты, сертификаты). При этом их визуальный дизайн, мобильность, удобство использования не особенно значимы. Спектр оцениваемых параметров и возможности их интерпретации также максимально сужены.

Табл. 1. Примеры существующих отечественных приборов оценки функционального состояния организма человека

Модель	Технические характеристики применения	Оцениваемые характеристики
Линейка приборов компании «Нейрософт», Иваново, Россия		
«ВНС микро» «ВНС спектр» «Полиспектр»	Контактные электроды (4 шт.) на запястья рук и голеностопы; датчик дыхания	Оценка variability сердечного ритма, функциональные пробы
Линейка приборов «Медиком», Таганрог, Россия		
«Реакор»	Контактные электроды (2 шт.) на запястье левой руки и шею	Проведение функционального тестирования, методики биообратной связи
«Эгоскоп»	Контактные электроды (7 шт.) на запястье левой руки, шею, области позиционирования на голове	Оценка функционального состояния по критериям variability сердечного ритма в сочетании с регистрацией ЭЭГ, фотоплетизмограммы, кожной проводимости
«Психофизиолог»	Контактные электроды (2 шт.) на кисти рук	Оценка variability сердечного ритма в сочетании с психофизиологическими тестами

Table 1. Examples of Russian devices for assessing the functional state of the human body

Model	Application specifications	Intended use
The Neurosoft company range, Ivanovo, Russia		
VNS Micro VNS Spectrum Polyspecter	Contact electrodes (4) for wrists and ankles; breath sensor	Heart rate variability assessment, functional testing
The Medikom range, Taganrog, Russia		
Reacor	Contact electrodes (2) for the left wrist and neck	Functional testing, biofeedback techniques
Egoscope	Contact electrodes (7) for the left wrist, neck, and head	Functional testing: heart rate variability combined with EEG, photoplethysmogram, skin conductance
Psychophysilogist	Contact electrodes (2) for wrists	Assessment of heart rate variability combined with psychophysiological tests

Все указанное выше медицинское оборудование основано на признанной во всем мире технологии регистрации генерируемых сердцем биологических электропотенциалов с поверхности груди и конечностей.

При традиционной регистрации ЭКГ стационарными устройствами, согласно стандартизированной схеме, производится наложение двух электродов на запястья рук, двух электродов — на ноги, и восьми электродов-присосок — на грудь в области проекции сердца. Регистрируемые сигналы сводятся в единую форму кардиограммы (Баевский 1999; Гаврилова 2014; Чернова и др. 2013; Karmakar et al. 2010).

Вторая группа приборов — ЭКГ мониторы. Их работа также основана на длительной регистрации кардиограммы. Эти устройства мобильны и значительно компактнее их стационарных версий. Основное назначение ЭКГ мониторов — суточный контроль функционального состояния организма, а также отдельно состояния сердца и сердечно-сосудистой системы. Получаемая кардиограмма в нативной форме отправляется врачу или демонстрируется пользователю вместе с запрограммированными выводами и заключением о состоянии пациента. Получаемые с использованием этих приборов сведения не являются достаточными для постановки диагноза и служат только системой индикации и мониторинга для дальнейшей клинической работы.

В отдельную группу можно объединить аппараты ЭКГ, нацеленные только на оценку состояния висцеральных систем. Вегетотестеры позволяют оценить активность симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы. Оценка заключается в изучении статистических, спектральных и графических характеристик вариабельности ритма сердца (Баевский 1999; Гаврилова 2014; Малик и др. 1996; Чернова и др. 2013). Методика предполагает анализ интервалов между ударами сердца; расчет статистических показателей, характеризующих общее напряжение регуляторных систем; расчет волновых показателей (позволяют сделать выводы о характере возможного функционального утомления) (Медведев 2007; Brenner 1998; Karmakar et al. 2010). В свою очередь, компания НПО «Динамика» продвинулась дальше других фирм, разработав и запатентовав расчетные методы выявления возможных причин ухудшения функционального состояния, а также показателей энергетического баланса, энергетических трат, ресурсов и запасов. Аппаратно-программный комплекс фирмы достаточно компактен для частного использования,

но требует высокой квалификации для интерпретации результатов. Прибор не позволяет проводить суточный мониторинг, основан на хоть и надежной, но устаревшей проводной технологии.

На данном этапе в своем инженерном исполнении все приборы ЭКГ в качестве электродов используют металлические пластины с различной площадью и степенью контакта с поверхностью кожи. Для снижения сопротивления кожи применяют электропроводящие жидкости, воду или специальные одноразовые липкие медицинские электроды (Гаврилова 2014; Малик и др. 1996; Михайлов 2000; Чернова и др. 2013).

Развитие технологий и социальных запросов оценки функционального состояния привело к появлению группы максимально компактных устройств (табл. 2), позволяющих осуществлять непрерывный мониторинг функционального состояния и, в частности, висцеральных функций. В первую очередь вошли в продажу пользовательские пульсометры, позволяющие контролировать частоту сердечных сокращений (ЧСС) в процессе повседневной жизни. Данные устройства выполнены в форме браслета или часов, имеют металлический датчик с обратной стороны. Эти гаджеты нашли свое применение в фитнесе и профессиональном спорте. Однако их функциональные возможности позволяют оценить только ЧСС.

Появление технологии фотоплетизмографии позволило внедрить в персональные браслеты или часы фотодатчики, предоставив тем самым возможность регистрации пульсограммы в одной точке соприкосновения с телом человека.

В современных рекламных проектах «умные часы» (Polar, Apple Watch, Garmin, Falster 3, Huawei Watch GT2e) преподносятся как устройства регистрации вариабельности ритма сердца. Это не совсем справедливо. Метод фотоплетизмографии основан на регистрации ударов сердца по кровенаполнению тонких капилляров в поверхностных слоях кожи. Метод принципиально отличается от регистрации электрических потенциалов и не поддерживает соответствующий уровень точности, а также не позволяет оценить характеристики пиков кардиограммы. Как бы ни хотелось производителям, регистрация пульсограммы дает возможность расчета только некоторых показателей вариабельности ритма сердца, а именно — базовых усредненных характеристик ЧСС. Дать же развернутую оценку функционального состояния организма принципиально не представляется возможным. Стоит добавить, что основное направление

Табл. 2. Примеры компактных пользовательских устройств

Оцениваемые характеристики	Модель	Формат использования
ЧСС, индекс напряжения	«Polar H10»	Нагрудный поясной датчик
Статистические и спектральные показатели ВСР	«Колибри-Кармин»	Нагрудный поясной (или на ЭКГ электродах) датчик
Вариабельность ритма сердца	«Колибри HRV»	Маленький датчик, крепится на груди. Без проводов. ПО устанавливается на компьютер. Пользовательский гаджет. Вариабельность сердечного ритма. В большей степени для фитнеса.
Пульсометрия, оксиметрия	Фитнес-часы «Polar» и их аналоги	Ношение на запястье

Table 2. Examples of compact devices

Parameters	Model	Usage
Heart rate, Baevsky stress index	Polar H10	Chest strap sensor
Statistical and spectral indicators of heart rhythm variability	Hummingbird-Carmine	Chest strap (or ECG electrodes) sensor
Heart rhythm variability	Hummingbird HRV	Small chest sensor. No wires. Computer software. Custom gadget. Heart rate variability. More suitable for fitness applications
Heart rate, oximetry	Polar fitness watch or its analogues	Wrist watch

позиционирования на рынке «умных часов» со встроенной функцией ЭКГ — приблизительная оценка активности человека.

Таким образом, при имеющемся разнообразии современных устройств для оценки функционального состояния человека и, в частности, вегетативной регуляции, можно выделить ряд присущих этой сфере технологических проблем.

- 1) Точные медицинские приборы, позволяющие получать подробную характеристику функционального состояния, не используют технологии беспроводной передачи информации, что может быть ограничением их применения в клинической или исследовательской работе.
- 2) Компактные пользовательские мониторы имеют узкое функциональное назначение — выявление преморбидного (предшествующего и способствующего развитию болезни) функционального состояния сердечно-сосудистой системы.

- 3) Современные пользовательские гаджеты, в том числе, «умные часы», использующие фотодатчики, имеют скудные возможности в точности оценки измеряемых параметров вегетативной регуляции.
- 4) Для всех устройств, за исключением «умных» браслетов и часов, требуется определенная квалификация для интерпретации результатов оценки ими состояния висцеральных функций.
- 5) Отсутствует практика применения комплексного подхода с использованием разных аппаратно-программных средств, основанных на регистрации ритмокардиограммы.

Вместе с тем, расширяющийся спектр исследовательских задач и объектов исследования в области физиологии и психофизиологии (изучение комбинированных нагрузок, моделируемых элементов профессиональной деятельности, комплексов стресс-факторов и т. д.)

требует формировать дизайн исследования с применением разномодальных и разноформатных средств, позволяющих оценивать разные аспекты функционального состояния организма и его отдельных функций.

Сочетание средств оценки вегетативной регуляции различного формата в модели повседневной деятельности человека

Цель практической части исследования авторов — оценить возможности использования разноформатных средств для изучения эффектов комбинированной умственной и физической нагрузки на показатели вегетативной регуляции у человека.

В исследовании приняли участие 83 человека. Из них 37,3% мужчин и 62,7% женщин. Воз-

растные группы включали: 24,1% участников моложе 30 лет, 49,4% — в возрасте 31–40 лет, 26,5% — старше 41 года. Каждый испытуемый проходил процедуру комбинированной умственной и физической нагрузки (рис. 1). Умственная компонента нагрузки состояла в решении математических примеров со ступенчатым возрастанием уровней сложности (всего три уровня). В качестве физической составляющей нагрузки предлагалось выполнение трехминутной интенсивной ходьбы на беговой дорожке шириной 60 см.

Комбинирование физической и умственной нагрузки достигалось путем одновременного выполнения ходьбы и решения математических примеров. Процедура включала три этапа: 1) привыкание участника к движению по полотну беговой дорожке (скорость минимальна —



Рис. 1. Схема дизайна исследования

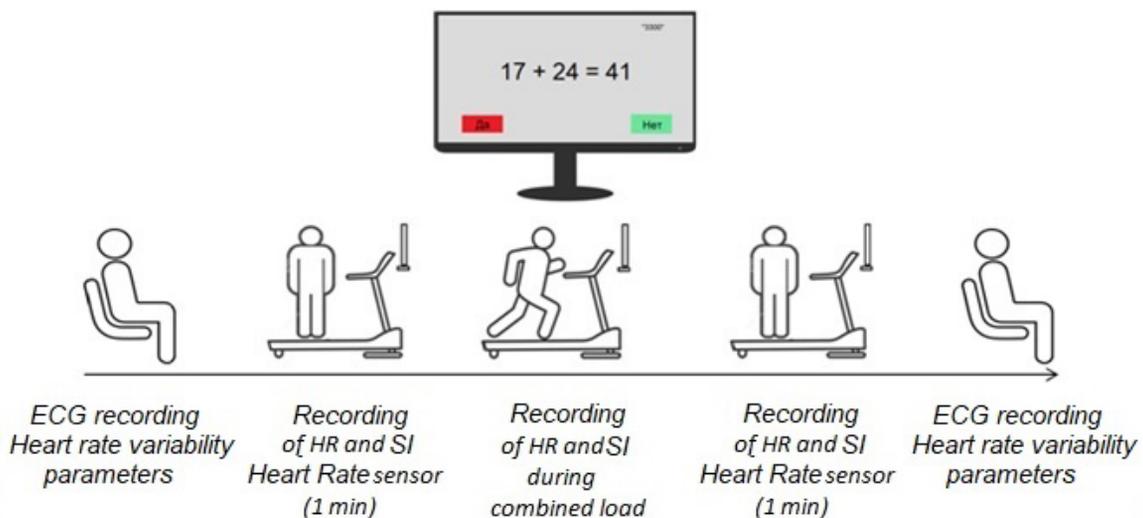


Fig. 1. The study design

один км/час), подбор скорости, соответствующей интенсивному шагу (индивидуально для каждого человека); 2) движение на дорожке в режиме интенсивного шага в течение двух минут; 3) начиная с третьей минуты интенсивного шага, одновременно с движением участнику предлагали решать математические примеры, отображаемые на экране установленного впереди монитора.

Для мониторинга функционального состояния участника исследования в процессе выполнения им процедуры комбинированной нагрузки использовали нагрудный беспроводной кардиодатчик и специальное программное обеспечение Колибри HRV (ООО НМФ «Нейротех», Россия). Регистрацию значений ЧСС и оценку индекса напряжения (stress index, ИН) Баевского осуществляли в течение одной минуты до выполнения процедуры, в процессе нагрузки в режиме реального времени (трехминутная запись) и после выполнения процедуры (одна минута). Для оценки состояния вегетативной регуляции испытуемых по показателям variability ритма сердца использовали диагностический комплекс «Омега Стандарт» (НПФ «Динамика», Россия, ТУ9442-001-50904116-2005). Комплекс «Омега Стандарт» является базовой одноканальной версией кардиографа. В соответствии с методическими указаниями к комплексу, регистрация кардиоритмограммы проводилась в положении сидя и включала накопление 300 R-R интервалов. Регистрацию кардиоритмограммы осуществляли до и после комбинированной нагрузки.

Для анализа использовали спектральные характеристики variability ритма сердца (VSP): высокочастотные колебания (ВЧ или HF — high frequency) — колебания VSP при частоте 0,15–0,40 Гц, отражающие состояние парасимпатической системы; низкочастотные колебания (НЧ или LF — low frequency) — часть спектра в диапазоне частот 0,04–0,15 Гц, являющаяся показателем активности симпатического отдела вегетативной нервной системы; крайне низкочастотные колебания (VLF — very low frequency) — диапазон частот от 0,003 до 0,04 Гц. Мощность спектра в области VLF характеризует влияние гуморальной регуляции. В качестве интегральных показателей принимали: соотношение мощностей низких и высоких частот LF/HF, характеризующее напряжение систем организма в среднесрочном диапазоне; общая мощность спектра (TP — total power) — показатель, отражающий суммарную активность вегетативной нервной системы в диапазоне колебаний от 0,003 до 0,40 Гц.

Согласно результатам спектрального анализа variability ритма сердца, после предъявления комбинированной физической и умственной нагрузки у участников исследования отмечены изменения показателей вегетативной регуляции (рис. 2). Исходя из соотношения активности симпатического и парасимпатического отделов ВНС, предъявленная нагрузка вызвала однозначные реакции организма — напряжение регуляторных систем (рост значений LF/HF, $p = 0,04$, тест Вилкоксона).



Рис. 2. Изменение состояния вегетативной регуляции участников исследования после предъявления комбинированной физической и умственной нагрузки: (А) общая мощность спектра (TP, ms^2/Hz), (В) доля мощности крайне низких частот спектра (VLF, %), (С) соотношение мощностей низких и высоких частот спектра (LF/HF). Представлены средние значения. * — достоверные отличия, $p = 0,04$, тест Вилкоксона

Fig. 2. Changes in autonomic regulation of study participants in response to the combined physical and mental load: (A) the total power of the spectrum (TP, ms^2/Hz), (B) very low frequencies (VLF, %), (C) the ratio of the low and high frequencies of the spectrum (LF/HF). The figure shows average values. *—reliable differences, $p = 0.04$, Wilcoxon test

Изменения других параметров неоднозначны. Значения TP у лиц с исходно низким уровнем этого параметра возросли (значение 10% перцентиля увеличилось на 48,5%, 25% перцентиля — на 16,6%). В то же время при высоком исходном уровне TP он снизился (50% и 75% перцентили уменьшились на 8,5 и 11,7%). Схожая тенденция отмечена по показателю VLF. У лиц с низкими потенциальными возможностями регуляции (низкая характеристика TP) и наличием утомления (высокий уровень VLF), функциональное состояние улучшилось (оптимизация вегетативной регуляции). Указанные изменения свидетельствуют о разнонаправленных эффектах комплексной нагрузки на участников с различным исходным статусом вегетативной регуляции. У лиц с наличием признаков утомления (высокий уровень VLF) функциональное состояние изменилось в сторону оптимизации процессов вегетативной регуляции.

Существенных различий реакций в группах участников по возрасту, полу не обнаружено.

С помощью беспроводного кардиодатчика были оценены висцеральные реакции участников исследования на предъявление совмещенной физической и умственной нагрузки по показателям ЧСС (уд. в мин.) и индексу напряжения Баевского (ИН). Существенных различий ЧСС и ИН между группами участников по возрасту, полу не обнаружено. Показано достоверное увеличение как ЧСС, так и ИН ($p < 0,001$, тест Вилкоксона) (рис. 3) в процессе выполнения заданий, что отражает объективное влияние нагрузки на регуляторные функции организма участников. Изменений между значениями ЧСС и ИН исходного уровня и после нагрузки не отмечалось, что может быть результатом активизации восстановительных процессов в организме. Однако, учитывая наличие описанных выше достоверных различий по результатам спектрального анализа variability ритма сердца, можно предположить меньшую чувствительность и информативность ЧСС и ИН как индикаторов висцеральных сдвигов, сохраняющихся после предъявленной нагрузки.

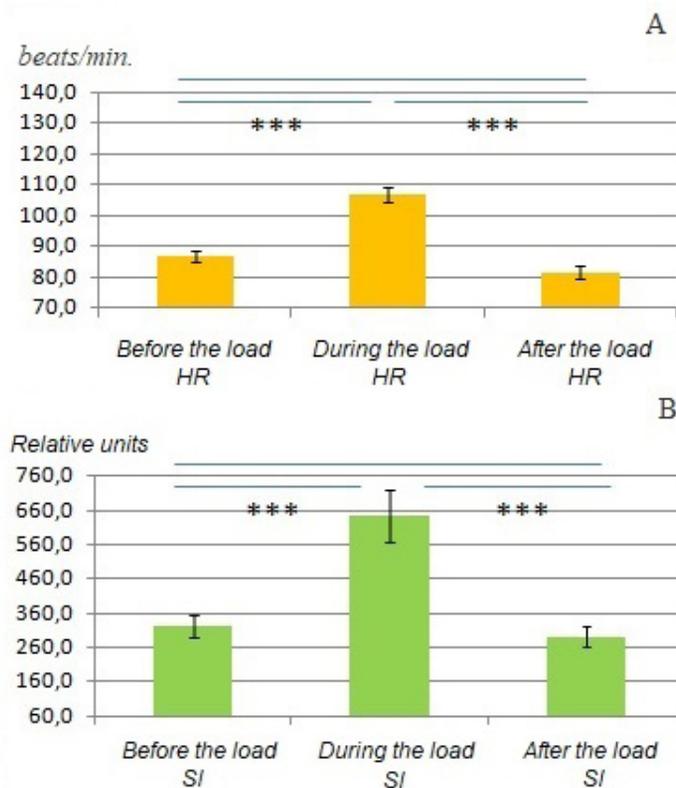


Рис. 3. Изменение вегетативных реакций участников на предъявление комбинированной физической и умственной нагрузки по средним значениям (А) частоты сердечных сокращений (ЧСС, уд. в мин.) и (В) индексу напряжения Баевского (ИН). *** — достоверные отличия, $p < 0,001$, тест Вилкоксона

Fig. 3. Changes in autonomic responses of participants in response to the combined physical and mental load. The average values of (A) heart rate (HR, beats/min.) and (B) the Baevsky stress index (SI). ***—reliable differences, $p < 0.001$, Wilcoxon test

Выводы и заключение

Учитывая полученные сведения, очевидным применением беспроводного кардиодатчика, основанного на ЭКГ регистрации, является контроль реакций организма в процессе выполнения нагрузочных тестов. Однако будет неоправданно полагаться на его возможности для оценки эффектов нагрузки.

Характеристики спектрального анализа variability ритма сердца оказались информативны не только для оценки состояния вегетативных функций до предъявления нагрузки, но и для определения вегетативных реакций организма на выполнение предложенных комбинированных физических и умственных заданий.

Вместе с тем, результаты применения технических средств оценки вегетативных реакций — в нашем случае стационарного проводного комплекса и мобильного компактного кардиодатчика на основе регистрации реальной электрокардиоритмограммы — не исключают, а скорее дополняют друг друга.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии потенциального или явного конфликта интересов.

Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest, either existing or potential.

Вклад авторов

- Сиваченко Иван Борисович: поиск и анализ источников, подготовка рукописи;
- Любашина Ольга Анатольевна: редактирование и корректура рукописи.

Author Contributions

- Ivan B. Sivachenko performed the literature analysis and drafted the manuscript;
- Olga A. Lyubashina edited and proofread the manuscript.

Литература

- Баевский, Р. М. (1999) Научно-теоретические основы использования анализа variability сердечного ритма для оценки степени напряжения регуляторных систем организма. В кн.: *Компьютерная электрокардиография на рубеже столетий: тезисы Международного симпозиума (Москва, 27–30 апреля 1999 г.)*. М.: Медицина, с. 116–119.
- Гаврилова, Е. А. (2014) *Ритмокардиография в спорте*. СПб.: Изд-во СЗГМУ им. И. И. Мечникова, 164 с.
- Малик, М., Биггер, Дж. Т., Камм, А. Дж. и др. (1996) *Вариабельность сердечного ритма. Стандарты измерения, физиологической интерпретации и клинического использования*. СПб.: Институт кардиологической техники, 63 с.
- Медведев, Д. С. (2007) *Функциональное состояние организма и работоспособность военных специалистов центральных органов управления в годовом цикле профессиональной деятельности. Диссертация на соискание ученой степени кандидата медицинских наук*. СПб., Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова, 175 с.
- Михайлов, В. М. (2000) *Вариабельность ритма сердца. Опыт практического применения метода*. Иваново: Ивановская государственная медицинская академия, 200 с.
- Чернова, А. А., Никулина, С. Ю., Третьякова, С. С. (2013) Кардиоритмография как метод функциональной диагностики (обзор литературы). *Сибирское медицинское обозрение*, № 2 (80), с. 44–49.
- Brenner, I. K. M., Thomas, S., Shephard, R. J. (1998) Autonomic regulation of the circulation during exercise and heat exposure. Inferences from heart rate variability. *Sports Medicine*, vol. 26, no. 2, pp. 85–99. <https://doi.org/10.2165/00007256-199826020-00003>
- Karmakar, C., Khandoker, A., Palaniswami, M. (2010) Heart rate asymmetry in altered parasympathetic nervous system activity. *Computing in Cardiology*, vol. 37, pp. 601–604.

References

- Baevskij, R. M. (1999) Nauchno-teoreticheskie osnovy ispol'zovaniya analiza variabel'nosti serdechnogo ritma dlya otsenki stepeni napyazheniya regulatorynykh sistem organizma [Scientific and theoretical bases for using the analysis of heart rate variability to assess the degree of tension of the body's regulatory systems]. In: *Komp'yuternaya elektrokardiografiya na rubezhe stoletij: tezisy Mezhdunarodnogo simpoziuma (Moskva, 27–30 aprelya 1999 g.) [Computer electrocardiography at the turn of the century: Abstracts of the International Symposium (Moscow, April 27–30, 1999)]*. Moscow: Meditsina Publ., pp. 116–119. (In Russian)

- Brenner, I. K. M., Thomas, S., Shephard, R. J. (1998) Autonomic regulation of the circulation during exercise and heat exposure. Inferences from heart rate variability. *Sports Medicine*, vol. 26, no. 2, pp. 85–99. <https://doi.org/10.2165/00007256-199826020-00003> (In English)
- Chernova, A. A., Nikulina, S. Yu., Tretyakova, S. S. (2013) Kardioritmografiya kak metod funktsional'noj diagnostiki (obzor literatury) [Cardiorhythmography as a method of functional diagnostics (review)]. *Sibirskoe meditsinskoe obozrenie — Siberian Medical Review*, no. 2 (80), pp. 44–49. (In Russian)
- Gavrilova, E. A. (2014) *Ritmokardiografiya v sporte [Rhythmocardiography in sports]*. Saint Petersburg: North-Western State Medical University named after I. I. Mechnikov Publ., 164 p. (In Russian)
- Karmakar, C., Khandoker, A., Palaniswami, M. (2010) Heart rate asymmetry in altered parasympathetic nervous system activity. *Computing in Cardiology*, vol. 37, pp. 601–604. (In English)
- Malik, M., Bigger, J. T., Camm, A. J. et al. (1996) *Variabel'nost' serdechnogo ritma. Standarty izmereniya, fiziologicheskoy interpretatsii i klinicheskogo ispol'zovaniya [Heart rate variability. Standards for measurement, physiological interpretation and clinical use]*. Saint Petersburg: Institute of Cardiac Technology Publ., 63 p. (In Russian)
- Medvedev, D. S. (2007) *Funktsional'noe sostoyanie organizma i rabotosposobnost' voennykh spetsialistov tsentral'nykh organov upravleniya v godovom tsikle professional'noj deyatel'nosti [The functional state of the body and the performance of military specialists of the central government in the annual cycle of professional activity]*. PhD dissertation (Medicine). Saint Petersburg, S. M. Kirov Military Medical Academy, 175 p. (In Russian)
- Mikhajlov, V. M. (2000) *Variabel'nost' ritma serdtsa. Opyt prakticheskogo primeneniya metoda [Heart rate variability. Experience in practical application of the method]*. Ivanovo: Ivanovo State Medical Academy Publ., 200 p. (In Russian)