

EDN: <https://elibrary.ru/yjgezy>DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-5-308-314>

УДК 613.64, 331.453

© Коллектив авторов, 2023

Перов С.Ю., Коньшина Т.А., Сажина М.В., Левченков Д.И.

Оценка вариабельности сердечного ритма при работе в шунтирующих экранирующих комплектах в условиях тепловой нагрузки среды

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда им. академика Н.Ф. Измерова», пр-т Буденного, 31, Москва, 105275

Введение. При выполнении работ на открытых территориях в летний период года электротехнический персонал использует шунтирующие экранирующие комплекты для защиты от электрических полей промышленной частоты. Однако применение средств индивидуальной защиты оказывает дополнительную тепловую нагрузку на организм человека, которая оценивается, в том числе, по изменению показателей функционального состояния сердечно-сосудистой системы. **Цель исследования** — оценка вариабельности сердечного ритма при работе в шунтирующих экранирующих комплектах в условиях моделирования тепловой нагрузки среды.

Материалы и методы. В исследовании по оценке параметров вариабельности сердечного ритма при использовании средств индивидуальной защиты от электрических полей промышленной частоты в моделируемых условиях нагреваемой среды участвовало 7 добровольцев, которые выполняли работу с физической нагрузкой (ходьбой) на беговой дорожке в течение 60 минут, а затем находились 15 минут в тех же климатических условиях в состоянии покоя (период восстановления). У добровольцев регистрировали температуру и влажность пододежного пространства. На основе записи электрокардиограммы проводили определение и статистический анализ показателей вариабельности сердечного ритма.

Результаты. По результатам анализа показателей вариабельности сердечного ритма добровольцев было выявлено, что медианное значение индекса напряжения без использования шунтирующих экранирующих комплектов в периоды работы и восстановления составило 345 усл. ед. и 96 усл. ед., соответственно, а при использовании шунтирующих экранирующих комплектов — 196 усл. ед. и 152 усл. ед., соответственно. Медианные значения длительности RR-интервалов добровольцев при работе с использованием средств индивидуальной защиты от электрических полей промышленной частоты были меньше (0,552 с) по сравнению со значениями (0,617 с) без использования средств индивидуальной защиты. Выявлена тенденция к росту напряжения механизмов терморегуляции организма в период работы, характеризующемуся разницей между RR-интервалами при использовании средств индивидуальной защиты и их отсутствии (ΔRR) — 0,057 с, и неполному восстановлению организма в период отдыха (ΔRR — 0,113 с) при использовании шунтирующих экранирующих комплектов от электрических полей промышленной частоты.

Ограничения исследования. Количество добровольцев было обусловлено ограниченными сроками проведения исследования.

Выводы. Результаты оценки функционального состояния сердечно-сосудистой системы по показателям вариабельности сердечного ритма указывают на возникновение стрессовой ситуации с перенапряжением регуляторных систем как при использовании шунтирующего экранирующего комплекта, так и без использования. Средства индивидуальной защиты от электрических полей промышленной частоты вносят дополнительный вклад в термическую нагрузку среды на организм человека, выражающуюся в значениях индекса напряжения (196 усл. ед.) и длительности RR-интервалов (0,552 с) в процессе работы, а также незначительном снижении в восстановительном периоде (152 усл. ед. и 0,566 с). Высокие значения индекса напряжения в восстановительном периоде связаны с продолжительным воздействием термической нагрузки среды, обусловленным климатическими параметрами и нахождением добровольцев в СИЗ после окончания физической работы.

Этика. Исследование одобрено Локальным этическим комитетом Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова» (выписка из протокола заседания № 3 от 23.03.2022 г.).

Ключевые слова: вариабельность сердечного ритма; тепловая нагрузка среды; средства индивидуальной защиты

Для цитирования: Перов С.Ю., Коньшина Т.А., Сажина М.В., Левченков Д.И. Оценка вариабельности сердечного ритма при работе в шунтирующих экранирующих комплектах в условиях тепловой нагрузки среды. *Мед. труда и пром. экол.* 2023; 63(5): 308–314. <https://elibrary.ru/yjgezy> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-5-308-314>

Для корреспонденции: Перов Сергей Юрьевич, зав. лабораторией электромагнитных полей ФГБНУ «НИИ МТ», д-р биол. наук. E-mail: perov@iriioh.ru

Участие авторов:

Перов С.Ю. — концепция, дизайн и организация исследования;

Сажина М.В. — сбор материала и обработка данных, написание текста;

Коньшина Т.А. — сбор материала и обработка данных, написание текста;

Левченков Д.И. — обработка данных, написание текста.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Конфликт интересов отсутствует.

Дата поступления: 24.04.2023 / Дата принятия к печати: 25.04.2023 / Дата публикации: 05.05.2023

Sergey Yu. Perov, Tat'yana A. Kon'shina, Mariya V. Sazhina, Dmitriy I. Levchenkov

Heart rate variability assessment during work in personal protective equipment under environmental thermal load

Izmerov Research Institute of Occupational Health, 31, Budyonnogo Ave., Moscow, 105275

Introduction. When performing work in open areas in the summer, electrical engineering personnel use shunt shielding kits to protect against industrial frequency electric fields. However, the use of personal protective equipment has an additional thermal load on the human body, which is assessed, among other things, by changes in the indicators of the functional state of the cardiovascular system.

The study aims to assess the variability of the heart rate when working in shunting screening kits under conditions of modeling the thermal load of the environment.

Materials and methods. The study carried out in seven volunteers using power frequency electric field personal protective equipment. Heart rate variability assessed for simulated elevated thermal load environment. The volunteers worked with physical activity (walking) of 60 minutes treadmill and 15 minutes rest in the same climatic conditions (recovery period) after. Temperature and humidity inside shunting shielding personal suit recorded. The determination and statistical analysis of heart rate variability based in electrocardiogram were performed. Based on the recording of an electrocardiogram, the authors carried out the determination and statistical analysis of heart rate variability indicators.

Results. Volunteers heart rate variability analysis showed that stress index median values during work and recovery periods were 345 cu and 96 cu without shunting shielding personal suit. Work in shunting shielding personal suit showed that stress index median values were 196 cu and in recovery period 152 cu. RR-interval median values under work in personal protective equipment were lower (0.552 s) than without personal protective equipment (0.617 s). The results revealed the tendency to body thermoregulatory mechanisms strain increase in work time, characterized by RR-intervals differences with personal protective equipment use and without (ΔRR) — 0.057 s, and organism partial recovery during rest time (ΔRR — 0.113 s) with personal protective equipment.

Limitations. The number of volunteers was due to the limited duration of the study.

Conclusion. The results of cardiovascular system functional state assessment by heart rate variability indicate stress with regulatory systems overstrain with and without personal protective equipment. Power frequency electric field personal protective equipment makes additional external thermal load to human body as stress index (196 cu), RR-intervals (0.552 s) in work period and slight decrease in recovery period (152 cu and 0.566 s). Stress index high values in the recovery period associated with prolonged environment thermal load exposure due to climatic parameters and volunteers staying in PPE after the end of physical work.

Ethics. The Local Ethics Committee of the Izmerov Research Institute of Occupational Health approved this study carried out under the WMA Declaration of Helsinki (record № 3 from 23.03.2022).

Keywords: heart rate variability; thermal load of the environment; personal protective equipment

For citation: Perov S.Yu., Konshina T.A., Sazhina M.V., Levchenkov D.I. Heart rate variability assessment during work in personal protective equipment under environmental thermal load. *Med. truda i prom. ekol.* 2023; 63(5): 308–314. <https://elibrary.ru/yjgezy> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2023-63-5-308-314> (in Russian)

For correspondence: Sergey Yu. Perov, the Head of laboratory of electromagnetic fields at Izmerov Research Institute of Occupational Health, Dr. of Sci. (Biol.). E-mail: perov@iriokh.ru

Information about the authors: Perov S.Yu. <https://orcid.org/0000-0002-6903-4327>

Konshina T.A. <https://orcid.org/0000-0003-0004-9886>

Sazhina M.V. <https://orcid.org/0000-0001-7832-6308>

Levchenkov D.I. <https://orcid.org/0000-0001-7068-5138>

Contribution:

Perov S.Yu. — concept, design and organization of research;

Sazhina M.V. — collecting material and data processing, writing text;

Konshina T.A. — collecting material and data processing, writing text;

Levchenkov D.I. — data processing, text writing.

Funding. The study had no funding.

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

Received: 24.04.2023 / Accepted: 25.04.2023 / Published: 05.05.2023

Введение. На тепловое состояние организма человека могут оказывать влияние две составляющие тепловой нагрузки среды: внешняя, определяемая климатическими параметрами, и внутренняя за счёт избыточной теплопродукции организмом, в том числе и во время выполнения работ в средствах индивидуальной защиты (СИЗ), использование которых влияет на процессы теплообмена организма человека. Работа с физической нагрузкой в нагревающей среде создаёт повышенную тепловую нагрузку на организм человека, которая может привести к перенапряжению терморегуляторных механизмов и к тепловому стрессу.

В условиях воздействия нагревающей среды в результате реализации компенсаторных механизмов, направленных на нормализацию теплового баланса человека, происходит перераспределение кровотока за счёт расширения кровеносных сосудов кожи и сужения кровеносных сосудов внутренних органов, повышается скорость кожного кровотока [1, 2]. Отмечено увеличение объёма подкожных вен, в связи с чем увеличивается время прохождения крови по сосудам, что выражается в активном теплообмене крови с кожей [2].

В качестве ответной реакции организма происходит активизация механизма теплоотдачи в виде испарения пота, однако при активном испарении снижается объём внеклеточной жидкости и появляются нарушения водно-

электролитного обмена, и, как следствие, в организме человека возникает нарастающая гиповолемия. В совокупности с адренергической стимуляцией поверхностных сосудов кожи и повышением внутренней температуры тела человека увеличивается частота сердечных сокращений (ЧСС), ударный объём крови, повышается минутный объём кровообращения [1]. Так как сердечно-сосудистая система является одной из систем, обеспечивающих температурный гомеостаз, требуется анализ показателей её функционального состояния.

В результате влияния симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы на сердечно-сосудистую систему человека в процессе осуществления компенсаторных механизмов изменяется частота и структура сердечного ритма [3]. Анализ показателей variability сердечного ритма (ВСР) является одним из методов оценки состояния механизмов регуляции физиологических функций в организме человека, а именно общей активности регуляторных механизмов, нейрогуморальной регуляции сердца, а также соотношения между симпатическим и парасимпатическим отделами вегетативной нервной системы [3–7].

Работа с физической нагрузкой в нагревающей среде характерна для электротехнического персонала, использующего шунтирующие экранирующие комплекты на открытых территориях в летний период года [8, 9]. При

эксплуатации электроустановок высокого и сверхвысокого напряжения персонал, как правило, подвергается воздействию уровней электрических (ЭП) и магнитных полей (МП) промышленной частоты (ПЧ), превышающих предельно допустимые (ПДУ) [10–12].

При превышении уровней МП ПЧ СИЗ не используются, однако, применение СИЗ от ЭП ПЧ, с одной стороны, защищает человека от негативного влияния производственного фактора, но с другой стороны мешает его теплооблагодению с окружающей средой за счёт низких показателей воздухо- и влагопроницаемости материалов комплектов [13, 14]. В связи с этим актуальной является оценка показателей функционального состояния организма человека, отражающих степень напряжения механизмов терморегуляции при использовании СИЗ от ЭП ПЧ.

Цель исследования — оценка вариабельности сердечного ритма при работе в шунтирующих экранирующих комплектах в условиях моделирования тепловой нагрузки среды.

Материалы и методы. Для оценки показателей ВСР при применении СИЗ от ЭП ПЧ в лабораторных условиях была воссоздана модель трудовой деятельности электротехнического персонала: климатические условия соответствовали тёплому времени года и выполняемая физическая работа соответствовала категории работ Па по уровню энергозатрат [15].

В исследовании, одобренном Локальным этическим комитетом ФГБНУ «НИИ МТ» (выписка из протокола заседания № 3 от 23.03.2022 г.), участвовали 7 добровольцев (4 женщины и 3 мужчин) в возрасте 27 ± 3 года, весом $62,20 \pm 11,56$ кг, ростом $1,69 \pm 0,06$ м и ИМТ $21,74 \pm 3,21$ кг/м², подписавшие добровольное информированное согласие.

В микроклиматической камере ФГБНУ «НИИ МТ» поддерживались температура ($T_{в}$, °C) $35,51 \pm 0,52$ °C, относительная влажность воздуха (RH , %) $52,62 \pm 4,71$ % и ТНС-индекс $29,95 \pm 0,82$ °C. Имитировались условия окружающей среды в летний период года с интенсивностью теплового излучения 100 Вт/м². В качестве источников теплового излучения использовались два инфракрасных электрических обогревателя *Ballu BIN-LW-1.2* (*Ballu*, Китай), направленных на грудь и спину добровольцев. Беговая дорожка *Xiaomi WalkingPad C1* («*Xiaomi*», Китай) использовалась в исследованиях для дозированной физической активности добровольцев.

Добровольцы выполняли работу с физической нагрузкой (ходьбой) на беговой дорожке в течение 60 минут, а после находились 15 минут в тех же климатических условиях в состоянии покоя (период восстановления). Исследования осуществлялись в два этапа в идентичных условиях: на первом этапе доброволец выполнял физическую работу в хлопчатобумажном белье (без СИЗ от ЭП ПЧ), а на втором этапе — в СИЗ от ЭП ПЧ. Два этапа выполнялись в разные дни для обеспечения восстановления организма добровольца после выполняемых исследований и отсутствия адаптации к моделируемым условиям.

Измерение показателей ВСР осуществлялось непрерывно системой суточного мониторинга ЭКГ по методу Холтера «Поли-Спектр-СМ» (ООО «Нейрософт», Россия) в соответствии с ГОСТ Р 56323-2014 [16]. Температура пододежного пространства ($T_{п/о}$) и влажность пододежного пространства ($RH_{п/о}$) регистрировались датчиками температуры и влажности «*Thermochron iButton™*» («*Maxim Integrated Products, Inc.*», США). Для контроля

климатических параметров окружающей среды ($T_{в}$, RH , ТНС-индекс) использовался термогигрометр ИВТМ-7 К (АО «ЭКСИС», г. Москва).

Для анализа вариационного ряда были выбраны такие показатели, как RR -интервалы и индекс напряжения, так как на регистрацию ЭКГ в процессе исследований влияют многие факторы, в частности длительность работы, чувствительность частотного спектра, высокая термическая нагрузка среды. С помощью полученных ЭКГ-сигналов выделялись RR -интервалы — временные интервалы между R -зубцами, отражающие продолжительность одного сердечного цикла, ЧСС, индекс напряжения (ИН) регуляторных систем или стресс-индекс, показывающий степень преобладания активности центральных механизмов регуляции над автономными [17]. Для расчёта ИН по формуле Баевского Р.М. использовались статистические параметры, полученные из ритмограммы [3].

Для классификации ИН выделяют три диапазона: первый диапазон (30–90 усл. ед.) отражает состояние вне стрессовой ситуации, второй диапазон (90–160 усл. ед.) — состояние организма, которой находится в зоне адаптации при стрессовой ситуации, а третий диапазон (более 160 усл. ед.) учитывает состояние организма в стрессовой ситуации с перенапряжением регуляторных систем [4].

При проведении лабораторных исследований добровольцы использовали индивидуальные шунтирующие экранирующие комплекты типа ЭП-4(0)л, используемые электротехническим персоналом при работах на электро-сетевых объектах высокого и сверхвысокого напряжения [8, 9]. Комплект СИЗ от ЭП ПЧ включает электропроводящую куртку и брюки, выполненные из мета-арамидной и металлизированной ткани с хлопчатобумажной подкладкой, накрайник, перчатки и ботинки.

Для расчёта параметров ВСР и оценки функционального состояния организма добровольцев использовался пакет *MATLAB 2022* (*Mathsoft*, США). Статистическая обработка результатов осуществлялась в программной среде *Statistica 13.3* (*StatSoft*, США) с помощью теста Шапиро–Уилка, критерия Уилкоксона. Полученные данные представлены в виде медианных значений и межквартильного размаха [25-й перцентиль; 75-й перцентиль].

Результаты. Полученные в результате проведённого исследования данные показали, что за весь период исследования $T_{п/о}$ при выполнении работ без СИЗ составила $36,38 \pm 1,69$ °C, $RH_{п/о}$ $54,15 \pm 14,85$ %, при выполнении работ в СИЗ от ЭП ПЧ — $36,64 \pm 1,99$ °C и $80,96 \pm 13,05$ %, соответственно.

По результатам анализа ВСР добровольцев было выявлено, что медианное значение ИН без использования СИЗ в периоды работы составило 345 усл. ед., в период восстановления — 96 усл. ед. В то время как при использовании СИЗ медианные значения ИН в периоды работы и восстановления составили: 196 усл. ед. и 152 усл. ед., соответственно.

В *таблице* отражены значения RR -интервалов в периоды работы и восстановления. При выполнении работы с физической нагрузкой без СИЗ максимальное значение длительности RR -интервалов среди всех добровольцев составило 0,709 с, а в период восстановления — 0,851 с. Наибольшее значение длительности RR -интервалов в период работы при использовании СИЗ составило 0,636 с, в период восстановления — 0,731 с. Минимальные значения длительности RR -интервалов в периоды работы и восстановления без использования СИЗ составили 0,529 с

Значения (медиана) RR-интервалов (RR, с) в исследовании
The values of RR-intervals (RR, s) in the study

№ добровольца	Работа		Восстановление	
	Без СИЗ	СИЗ	Без СИЗ	СИЗ
1	0,529 [0,509;0,539]	0,423** [0,398;0,445]	0,607 [0,583;0,610]	0,470** [0,452;0,474]
2	0,709 [0,702;0,716]	0,619** [0,585;0,638]	0,851 [0,822;0,879]	0,731** [0,712;0,742]
3	0,608 [0,577;0,642]	0,552** [0,502;0,610]	0,632 [0,627;0,655]	0,526** [0,512;0,544]
4	0,617 [0,607;0,625]	0,502** [0,476;0,534]	0,686 [0,668;0,724]	0,533** [0,501;0,537]
5	0,649 [0,634;0,665]	0,616** [0,577;0,659]	0,754 [0,739;0,778]	0,640** [0,622;0,646]
6	0,549 [0,534;0,560]	0,502** [0,485;0,532]	0,646 [0,633;0,661]	0,566** [0,552;0,585]
7	0,658 [0,645;0,670]	0,636** [0,593;0,668]	0,769 [0,743;0,789]	0,689** [0,681;0,694]

Примечание: ** статистически значимые различия между RR-интервалами при наличии и отсутствии СИЗ у добровольца ($p < 0,01$).
 Note: ** statistically significant differences between RR-intervals with PPE and without PPE ($p < 0.01$).

и 0,607 с, соответственно, а при использовании СИЗ — 0,423 с и 0,470 с.

Полученные различия между RR-интервалами у всех добровольцев при работе в СИЗ и без были статистически значимыми во все периоды исследования.

На **рисунке** представлена разница между RR-интервалами (ΔRR) у каждого добровольца: при работе в СИЗ и без; в период восстановления в СИЗ и без. Столбчатые диаграммы на рисунке указывают на разницу между степенью тепловой нагрузки на организм человека при использовании СИЗ и их отсутствии.

Диапазон значений ΔRR при использовании СИЗ от ЭП ПЧ и при их отсутствии за период работы с физической нагрузкой составил от 0,02 с до 0,12 с, в то время как в период восстановления диапазон значений составил от 0,08 с до 0,15 с.

Обсуждение. В настоящее время влияние тепловой нагрузки среды на параметры функционального состояния организма человека в сочетании с физической нагрузкой и использованием СИЗ от ЭП ПЧ изучено недостаточно. Результаты немногочисленных исследований показывают влияние тепловой нагрузки на параметры вариабельности сердечного ритма у добровольцев при работе с физической нагрузкой.

В исследовании шесть здоровых добровольцев мужского пола находились в термонеutralной (21°C) и нагре-

вающей (35°C) среде в течение 30 минут [18]. В условиях нагревающей среды ЧСС добровольцев увеличивалась на 20 уд/мин. Результаты показали, что климатический фактор влияет на параметры ВСР, в частности, на ЧСС, что указывает на чувствительность показателей ВСР к тепловому стрессу.

В исследовании влияния климатического фактора на ВСР участвовали 22 добровольца, разделенные на экспериментальную (12 человек) и контрольную (10 человек) группы [19]. Каждый участник распределялся на группы случайным образом: при двух разных условиях окружающей среды для экспериментальной группы (19°C и 35°C) и при двух идентичных условиях окружающей среды для контрольной группы (19°C). В результатах было отмечено, что воздействие нагревающей среды влияло на изменения во временной и частотной областях ВСР. Из этих результатов было сделано предположение, что уменьшение показателей ВСР из-за воздействия жарких условий, по-видимому, вызвано, в основном, угнетением парасимпатической системы, а не симпатической активацией.

В исследовании, проведенном на группе молодых и пожилых добровольцев, исследовалось воздействие теплового стресса на ВСР пожилых людей (11 человек в возрасте 59±9 лет) с диабетом 2 типа (СД 2) и молодых людей (22 человека в возрасте 23±3 года). Исследование проводилось в течение 3 часов при температуре воздуха 44°C

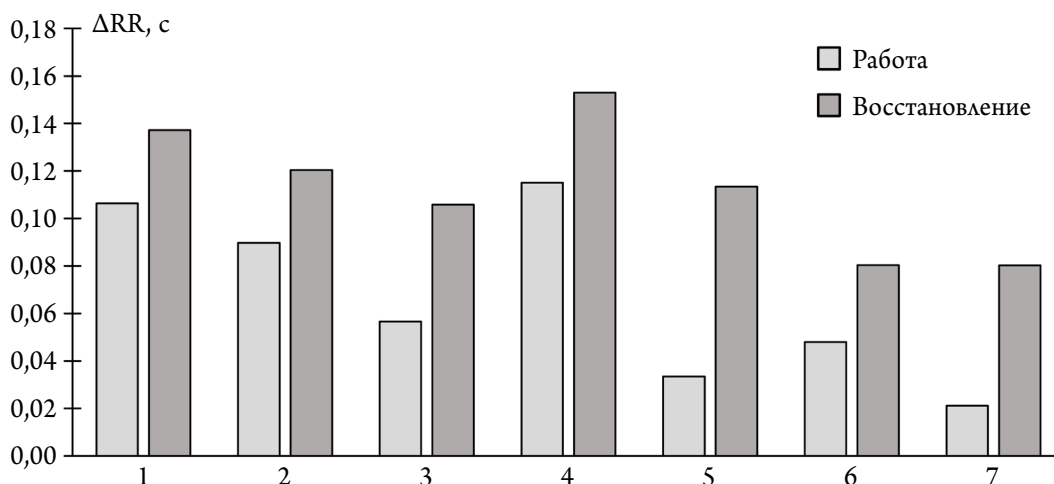


Рисунок. Разница между RR-интервалами (ΔRR , с) при использовании СИЗ и их отсутствии у 7 добровольцев

Figure. Difference between RR intervals (ΔRR , s) when using PPE and their absence

и относительная влажность 30% [20]. Результаты анализа показателей ВСР позволяют предположить, что молодые добровольцы испытывают большую активность симпатической системы в условиях теплового стресса по сравнению с пожилыми.

Результаты проведенного нами исследования указывают на то, что влияние тепловой нагрузки среды на параметры функционального состояния организма добровольцев при использовании СИЗ в период работы было значительно меньше, чем в аналогичных условиях без СИЗ. Об этом свидетельствуют значения ИН при использовании СИЗ в период работы: уровень значений ИН в СИЗ меньше уровня ИН без СИЗ. Это можно объяснить тем, что в данных моделируемых условиях СИЗ выполнял функцию «барьера» между внешней средой, температура которой составляла в начале периода работы (на 5-й минуте исследования) 35,72°C, и пододёжным пространством, температура которого была выше и составляла 36,75°C.

В период восстановления наблюдалось, что медианные значения ИН при использовании СИЗ (152 усл. ед.) были выше, чем без СИЗ (96 усл. ед.) у добровольцев. Данное наблюдение свидетельствует о том, что 15-минутного периода покоя было недостаточно для полного восстановления показателей ВСР при использовании СИЗ, что, вероятно, связано с возникновением теплового стресса, обусловленного ограниченным теплообменом.

Анализ RR-интервалов позволяет оценить влияние симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы на сердечную деятельность¹. Таким образом, в начале периода работы (на 5-й минуте исследования) длительность RR-интервалов добровольцев составляла 0,61 с, а по истечении 60 минут — 0,54 с. Это свидетельствует о том, что в начале периода работы парасимпатическая нервная система превалировала над симпатической, а в конце периода работы симпатическая нервная система стала превалировать над парасимпатической. При этом на момент окончания периода работы (60-я минута) температура пододёжного пространства увеличивалась (37,52°C) по сравнению с температурой внешней среды (35,51°C).

¹ В.В. Мурашко, А.В. Струтынский. Электрокардиография: учебн. пособие. М.: МЕДпресс-информ, 2017.

Исходя из данных, приведённых в *таблице*, можно заметить, что при использовании СИЗ значения RR-интервалов в периоды работы и восстановления были меньше (0,552 с; 0,566 с), чем без СИЗ (0,617 с; 0,686 с). Это обусловлено тем, что из-за использования СИЗ в нагревающей среде механизмы нейрогуморальной регуляции находятся в значительном напряжении.

В соответствии с *рисунком* ΔRR при использовании СИЗ от ЭП ПЧ и при их отсутствии, в среднем, была больше в период восстановления (0,11 с) по сравнению с периодом работы (0,07 с). Это позволяет сделать предположение о возможности полного восстановления организма добровольцев при уменьшении значений ΔRR в период покоя по сравнению с периодом Цработы.

Выводы:

1. Результаты оценки функционального состояния сердечно-сосудистой системы по показателям вариабельности сердечного ритма указали на возникновение стрессовой ситуации с перенапряжением регуляторных систем как при использовании шунтирующего экранирующего комплекта, так и без использования.

2. Различия между RR-интервалами (ΔRR) при использовании средств индивидуальной защиты от электрического поля промышленной частоты и при их отсутствии в аналогичных условиях окружающей среды отражают влияние тепловой нагрузки среды на параметры функционального состояния организма человека.

3. Использование средств индивидуальной защиты от электрических полей промышленной частоты вносит дополнительный вклад в термическую нагрузку среды на организм человека, выражающуюся в значениях индекса напряжения (196 усл. ед.) и длительности RR-интервалов (0,552 с) в процессе работы, а также незначительным снижением в восстановительном периоде (152 усл. ед. и 0,566 с).

4. Высокие значения индекса напряжения в восстановительном периоде при использовании экранирующего комплекта связаны с продолжительным воздействием термической нагрузки среды, обусловленным климатическими параметрами и нахождением добровольцев в СИЗ после окончания физической работы.

Список литературы

1. Marchand M., Gin K. The Cardiovascular System in Heat Stroke. *CJC Open*. 2021; 4(2): 158–63. <https://doi.org/10.1016/j.cjco.2021.10.002>
2. Donaldson G.C., Keatinge W.R., Saunders R.D. Cardiovascular responses to heat stress and their adverse consequences in healthy and vulnerable human populations. *Int J Hyperthermia*. 2003; 19(3): 225–35. <https://doi.org/10.1080/0265673021000058357>
3. Баевский Р.М., Иванов Г.Г., Чирейкин А.В., Гаврилушкин А.П., Довгалецкий П.Я., Кукушкин Ю.А. и др. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (Часть 1). *Вестник аритмологии*. 2001; 24: 65–87.
4. Ходырев Г.Н., Хлыбова С.В., Циркин В.И., Дмитриева С.А. Методические аспекты анализа временных и спектральных показателей вариабельности сердечного ритма (обзор литературы). *Вятский медицинский вестник*. 2011; 3–4: 60–70.
5. Спицин А.П. Анализ корреляций параметров вариабельности сердечного ритма у пациентов с артериальной гипертензией. *Клиническая физиология кровообращения*. 2017; 14(3): 146–51. <https://doi.org/10.24022/18146910-2017-14-3-146-151>
6. Новиков Е.М., Стеблецов С.В., Ардашев В.Н., Кириллова Т.Б., Тарабарина Н.Б. Методы исследования сердечного ритма по данным ЭКГ: вариабельность сердечного ритма и дисперсионное картирование (обзорная статья). *Кремлёвская медицина. Клинический вестник*. 2019; 4: 81–9. <https://doi.org/10.26269/4t6g-mx35>
7. Маршутин Н.А., Семионенкова Н.В., Янковая Т.Н. Вариабельность сердечного ритма у больных с хронической сердечной недостаточностью при изменении преднагрузки. *Новая наука: теоретический и практический взгляд*. 2017; 1(3): 5–8.
8. ГОСТ 12.4.172-2019 Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты от электрических полей промышленной частоты. Комплекты индивидуальные экранирующие. Общие технические требования. Методы испытаний. М.: Стандартинформ; 2019.
9. Бурмистрова О.В., Перов С.Ю., Коньшина Т.А. Оценка средств индивидуальной защиты типа ЭП-4(0) по показателям

- телям теплового состояния человека. *Гигиена и санитария*. 2021; 100(3): 229–33. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-3-229-233>
10. Korpinen L.H., Elovaara J.A., Kuisti H.A. Occupational exposure to electric fields and induced currents associated with 400 kV substation tasks from different service platforms. *Bioelectromagnetics*. 2011; 32(1): 79–83. <https://doi.org/10.1002/bem.20612>
 11. Li L., Xiong D., Liu J., Li Z., Zeng G., Li H. No effects of power line frequency extremely low frequency electromagnetic field exposure on selected neurobehavior tests of workers inspecting transformers and distribution line stations versus controls. *Physical and Engineering Sciences in Medicine*. 2014; 37: 37–44. <https://doi.org/10.1007/s13246-013-0237-6>
 12. Goiceanu C., Danulescu R. Occupational Exposure to Power Frequency Fields in Some Electrical Transformation Stations in Romania. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*. 2015; 12(2): 149–153. <https://doi.org/10.1080/10803548.2006.11076676>
 13. Poirier M.P., Meade R.D., McGinn R., Friesen B.J., Hardcastle S.G., Flouris A.D., Kenny G.P. The Influence of Arc-Flash and Fire-Resistant Clothing on Thermoregulation during Exercise in the Heat. *J Occup Environ Hyg*. 2015; 12(9): 654–67. <https://doi.org/10.1080/15459624.2015.1029615>
 14. Vargas N., Chapman C., Johnson B., Gathercole R., Schlader Z. Skin wettedness is an important contributor to thermal behavior during exercise and recovery. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*. 2018; 315. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00178.2018>
 15. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. М.: Центрмг; 2021.
 16. ГОСТ Р 56323-2014. Национальный стандарт Российской Федерации. Изделия медицинские электрические. Системы Холтеровского мониторирования. Технические требования для государственных закупок.: дата введения 01.01.2016. М.: Стандартинформ; 2015.
 17. Ходырев Г.Н., Хлыбова С.В., Циркин В.И., Дмитриева С.А. Методические аспекты анализа временных и спектральных показателей вариабельности сердечного ритма (Обзор литературы). *Вятский медицинский вестник*. 2011; 3–4: 60–70.
 18. Yamamoto S., Iwamoto M., Inoue M., Harada N. Evaluation of the effect of heat exposure on the autonomic nervous system by heart rate variability and urinary catecholamines. *J Occup Health*. 2007; 49(3): 199–204. <https://doi.org/10.1539/joh.49.199>
 19. Abellán-Aynés O., Manonelles P., Alacid F. Cardiac Parasympathetic Withdrawal and Sympathetic Activity: Effect of Heat Exposure on Heart Rate Variability. *Int J Environ Res Public Health*. 2021; 18(11): 5934. <https://doi.org/10.3390/ijerph18115934>
 20. Carrillo A.E., Flouris A.D., Herry C.L., Poirier M.P., Boulay P., Dervis S. et al. Heart rate variability during high heat stress: a comparison between young and older adults with and without Type 2 diabetes. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2016; 311(4): 669–75. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00176.2016>

References

1. Marchand M., Gin K. The Cardiovascular System in Heat Stroke. *CJC Open*. 2021; 4(2): 158–63. <https://doi.org/10.1016/j.cjco.2021.10.002>
2. Donaldson G.C., Keatinge W.R., Saunders R.D. Cardiovascular responses to heat stress and their adverse consequences in healthy and vulnerable human populations. *Int J Hyperthermia*. 2003; 19(3): 225–35. <https://doi.org/10.1080/0265673021000058357>
3. Bayevskiy R.M., Ivanov G.G., Chireykin L.V., Gavrilushkin A.P., Dovgalevskiy P.Ya., Kukushkin Yu.A. et al. Analysis of heart rate variability using various electrocardiographic systems (Part 1). *Vestnik aritmologii*. 2001; 24: 65–87 (in Russian).
4. Hodyrev G.N., Hlybova S.V., Cirkin V.I., Dmitrieva S.L. Methodological aspects of the analysis of temporal and spectral parameters of heart rate variability (literature review). *Vyatskiy medicinskiy vestnik*. 2011; 3–4: 60–70 (in Russian).
5. Spicin A.P. Analysis of correlations of heart rate variability parameters in patients with arterial hypertension. *Klinicheskaya fiziologiya krovoobrashcheniya*. 2017; 14(3): 146–51. <https://doi.org/10.24022/18146910-2017-14-3-146-151> (in Russian).
6. Novikov E.M., Steblecov S.V., Ardashev V.N., Kirillova T.B., Tarabarina N.B. Methods for studying heart rate according to ECG data: heart rate variability and dispersion mapping (review article). *Kremlevskaya medicina. Klinicheskij vestnik*. 2019; 4: 81–9. <https://doi.org/10.26269/4t6g-mx35> (in Russian).
7. Marshutin N.A., Semionenkova N.V., Yankovaya T.N. Heart rate variability in patients with chronic heart failure with changes in preload. *Novaya nauka: teoreticheskij i prakticheskij vzglyad*. 2017; 1(3): 5–8 (in Russian).
8. GOST 12.4.172-2019 System of labor safety standards. Means of individual protection against electric fields of industrial frequency. Individual shielding kits. General technical requirements. Test methods. М.: Standartinform; 2019 (in Russian).
9. Burmistrova O.V., Perov S.Yu., Konshina T.A. Evaluation of personal protective equipment type EP-4 (0) in terms of the thermal state of a person. *Gigiyena i sanitariya*. 2021; 100(3): 229–33. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-3-229-233> (in Russian).
10. Korpinen L.H., Elovaara J.A., Kuisti H.A. Occupational exposure to electric fields and induced currents associated with 400 kV substation tasks from different service platforms. *Bioelectromagnetics*. 2011; 32(1): 79–83. <https://doi.org/10.1002/bem.20612>
11. Li L., Xiong D., Liu J., Li Z., Zeng G., Li H. No effects of power line frequency extremely low frequency electromagnetic field exposure on selected neurobehavior tests of workers inspecting transformers and distribution line stations versus controls. *Physical and Engineering Sciences in Medicine*. 2014; 37: 37–44. <https://doi.org/10.1007/s13246-013-0237-6>
12. Goiceanu C., Danulescu R. Occupational Exposure to Power Frequency Fields in Some Electrical Transformation Stations in Romania. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*. 2015; 12(2): 149–153. <https://doi.org/10.1080/10803548.2006.11076676>
13. Poirier M.P., Meade R.D., McGinn R., Friesen B.J., Hardcastle S.G., Flouris A.D., Kenny G.P. The Influence of Arc-Flash and Fire-Resistant Clothing on Thermoregulation during Exercise in the Heat. *J Occup Environ Hyg*. 2015; 12(9): 654–67. <https://doi.org/10.1080/15459624.2015.1029615>
14. Vargas N., Chapman C., Johnson B., Gathercole R., Schlader Z. Skin wettedness is an important contributor to thermal behavior during exercise and recovery. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*. 2018; 315. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00178.2018>
15. СанПиН 1.2.3685-21 Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans. М.: Tsentrimg; 2021 (in Russian)
16. GOST R 56323-2014. National standard of the Russian Federation. Medical electrical products. Holter monitoring systems. Technical requirements for public procurement.: introduction date 01.01.2016. М.: Standartinform; 2015 (in Russian)
17. Khodyrev G.N., Khlybova S.V., Tsirkin V.I., Dmitriyeva S.L. Methodological aspects of the analysis of temporal and spectral parameters of heart rate variability (Literature review). *Vyatskiy meditsinskiy vestnik*. 2011; 3–4: 60–70 (in Russian)

18. Yamamoto S., Iwamoto M., Inoue M., Harada N. Evaluation of the effect of heat exposure on the autonomic nervous system by heart rate variability and urinary catecholamines. *J Occup Health*. 2007; 49(3): 199–204. <https://doi.org/10.1539/joh.49.199>.
 19. Abellán-Aynés O., Manonelles P., Alacid F. Cardiac Parasympathetic Withdrawal and Sympathetic Activity: Effect of Heat Exposure on Heart Rate Variability. *Int J Environ Res Public Health*. 2021; 18(11): 5934. <https://doi.org/10.3390/ijerph18115934>
 20. Carrillo A.E., Flouris A.D., Herry C.L., Poirier M.P., Boulay P., Dervis S. et al. Heart rate variability during high heat stress: a comparison between young and older adults with and without Type 2 diabetes. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2016; 311(4): 669–75. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00176.2016>
-
-