

ПРАКТИЧЕСКОМУ ЗДРАВООХРАНЕНИЮ

DOI: <http://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-6-359-363>

УДК 616.1:612.016:613.644

© Коллектив авторов, 2019

Ямщикова А.В., Флейшман А.Н., Гидаятowa М.О., Кунгурова А.А.

Показатели взаимосвязи вариабельности ритма сердца с уровнями гликемии и холестерина при вибрационной патологии

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний», ул. Кутузова, 23, Новокузнецк, Россия, 654041

Введение. Вибрационная болезнь (ВБ) занимает одно из лидирующих мест в структуре профессиональных заболеваний среди работников угледобывающей промышленности. Возникновение расстройств на системном уровне (в первую очередь в нервной и сосудистой системах) приводит к подавлению при вибрационной патологии вариабельности ритма сердца (ВРС) в результате поражения вегетативных волокон, центров, ганглиев. Изучение обменных нарушений в связи с показателями ВРС, в том числе нелинейных, представляет интерес для понимания механизмов ВБ, а также имеет значение для поиска неинвазивных и менее затратных методов динамического контроля.

Цель исследования — изучить параметры вариабельности ритма сердца, уровни общего холестерина и глюкозы в крови у больных вибрационной болезнью, выявить взаимосвязь между ними.

Материалы и методы. Были обследованы 75 пациентов клиники Научно-исследовательского института комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний, подвергавшихся производственной вибрации в течение 10 лет и более (основная группа), и 20 человек контрольной группы, никогда не имевших контакта с производственной вибрацией. Возраст обследуемых составил 40–60 лет. Изучались уровни глюкозы крови натощак и общего холестерина, проводилось исследование вариабельности ритма сердца. Анализу подвергались частотные и нелинейные феномены вариабельности ритма сердца. Определялся коэффициент корреляции Спирмена для оценки силы связи между показателями крови и вариабельности ритма сердца.

Результаты. Уровни глюкозы и холестерина статистически выше оказались в группе больных вибрационной болезнью. Спектральные показатели вариабельности ритма сердца высоко- и низкочастотного диапазона в основной группе значительно снижались. У пациентов с вибрационной патологией аппроксимированная энтропия оказалась достоверно ниже, тогда как детрентный флуктуационный анализ повышался. Данные изменения вариабельности ритма сердца свидетельствуют о вовлеченности всех отделов вегетативной нервной системы, развитии относительной симпатикотонии. Выявлены корреляции средней силы между показателями вариабельности ритма сердца и уровнями гликемии и холестерина.

Выводы. При воздействии производственной вибрации у работников в крови нарастают уровни холестерина и глюкозы, вариабельность ритма сердца при этом подавляется и коррелирует с увеличением обменных нарушений.

Ключевые слова: вариабельность ритма сердца; обменные нарушения; гипергликемия; гиперхолестеринемия; вибрационная болезнь

Для цитирования: Ямщикова А.В., Флейшман А.Н., Гидаятowa М.О., Кунгурова А.А. Показатели взаимосвязи вариабельности ритма сердца с уровнями гликемии и холестерина при вибрационной патологии. *Мед. труда и пром. экол.* 2019; 59 (6). <http://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-6-359-363>

Для корреспонденции: Ямщикова Анастасия Валерьевна, науч. сотр. лаб. прикладной нейрофизиологии ФГБНУ «НИИ КПГПЗ». E-mail: anastayam@bk.ru. ORCID: 0000-0002-6609-8923

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Anastasia V. Yamshchikova, Arnold N. Fleishman, Margarita O. Gidayatova, Alla A. Kungurova

Indicators of the relationship between heart rate variability and levels of glycemia and cholesterol in vibration pathology

Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, 23, Kutuzova Str., Novokuznetsk, Russia, 654041

Introduction. Vibration disease (VD) is one of the leaders in the structure of occupational diseases among workers in the coal mining industry. The occurrence of disorders at the systemic level (primarily in the nervous and vascular systems) leads to suppression of heart rate variability (HRV) in vibration pathology as a result of damage to vegetative fibers, centers, ganglia. The study of metabolic disorders in relation to HRV indicators, including nonlinear ones, is of interest for understanding the mechanisms of the VD, and is also important for finding non-invasive and less expensive methods of dynamic control.

The aim of the study was to study the parameters of heart rate variability, total cholesterol and blood glucose levels in patients with vibration disease, to identify the relationship between them.

Materials and methods. 75 patients of the Clinic of the Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases subjected to industrial vibration for 10 years or more (the main group) and 20 people of the control group who never had contact with industrial vibration were examined. The age of the subjects was 40–60 years. Fasting blood

glucose and total cholesterol levels were studied, heart rate variability was studied. Frequency and nonlinear phenomena of heart rate variability were analyzed. Spearman correlation coefficient was determined to assess the strength of the relationship between blood and heart rate variability.

Results. Glucose and cholesterol levels were statistically higher in the group of patients with vibration disease. Spectral parameters of high — and low-frequency heart rate variability in the main group significantly decreased. In patients with vibration pathology of the approximated entropy was significantly lower, whereas deranty fluctuation analysis increased. These changes of heart rate variability indicate the involvement of all departments of vegetative nervous system, the development of relative sympathotonia. Correlations of average strength between heart rate variability and levels of glycemia and cholesterol were revealed.

Conclusion. Under the influence of industrial vibration in workers' blood cholesterol and glucose levels increase, heart rate variability is suppressed and correlated with an increase in metabolic disorders.

Key words: heart rate variability; metabolic disorders; hyperglycemia; hypercholesterolemia; vibration disease

For citation: Yamshchikova A.V., Fleishman A.N., Gidayatova M.O., Kungurova A.A. Indicators of the relationship between heart rate variability and levels of glycemia and cholesterol in vibration pathology. *Med. truda i prom. ekol.* 2019; 59 (6). <http://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-6-359-363>

For correspondence: Anastasia V. Yamshchikova, Research assistant of applied neurophysiology laboratory of Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases. E-mail: anastyam@bk.ru ORCID: 0000-0002-6609-8923

Funding. The study had no funding.

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

Введение. Вибрационная болезнь (ВБ) занимает одно из лидирующих мест в структуре профессиональных заболеваний среди работников угледобывающей промышленности.

Для живого организма вибрация — это хронический стрессирующий фактор, вызывающий сложные нарушения нейрорефлекторного и нейрогуморального характера [1]. Воздействуя на организм человека, вибрация вызывает изменения на молекулярно-клеточном уровне, которые обуславливают патологические процессы в органах и тканях [2]. Развитие нарушений обмена углеводов и липидов у больных ВБ описаны в работах разных авторов, в том числе как составляющие метаболического синдрома [3–5].

Возникновение расстройств на системном уровне (в нервной и сосудистой системах) приводит к подавлению при вибрационной патологии вариабельности ритма сердца (ВРС) в результате поражения вегетативных волокон, центров, ганглиев. Как следствие, нарушаются регуляторные механизмы сосудистого тонуса, возникает симпатикотония, вазоспазм [6]. Синдром автономной кардионейропатии при ВБ патогномичен и является патогенетическим звеном столь частой сердечно-сосудистой патологии у таких пациентов [7]. Описаны следующие изменения ВРС у больных ВБ: снижение уровня всех временных и спектральных показателей. Наиболее выражено падает уровень мощности высокочастотного компонента (HF — high frequency), отражающего парасимпатическую активность, нарушаются взаимоотношения высокочастотных (HF) и низкочастотных (LF — low frequency) показателей [8]. Нелинейные характеристики изменений ВРС могут определяться показателями детрентного флюктуационного анализа (DFA) и аппроксимированной энтропии (ApEn). DFA отражает фрактальные свойства вариабельности кардиоритма и признаки самоподобия временных рядов, имеет некоторое сходство с показателями отношения LF/HF [9], ApEn определяет степень сложности сигнала: чем выше его регулярность, тем меньше значение этой величины [10,11], т. е. чем менее вариабелен сердечный ритм, тем ниже ApEn, тем более выражено поражение вегетативной нервной системы, тем более низкие резервы имеет организм, а значит, ухудшается прогноз течения заболевания. Доказано, что вегетативная дисфункция (автономная нейропатия) сопряжена с более неблагоприятным прогнозом и увеличивает смертность почти в 5 раз [12].

Существуют многочисленные зарубежные и российские работы, изучающие связь некоторых показателей ВРС с нарушениями в обменных процессах, как составляющих метаболического синдрома (рассматривается повышение уровня общего холестерина, липопротеинов низкой плотности (ЛПНП), гликемии натощак) [13–20]. Выводы в перечисленных работах схожи — наличие метаболического синдрома ассоциируется с подавлением вариабельности ритма сердца и снижением временных и частотных показателей, отражающих как парасимпатическую, так и симпатическую активность с формированием относительной симпатикотонии.

Механизмы таких взаимоотношений ВРС и нарушений обмена липидов и глюкозы объясняются через опосредованное повреждающее действие компонентов метаболического синдрома на автономную нервную систему. При ВБ вегетативный отдел нервной системы подвергается как прямому повреждающему воздействию вибрации, так и опосредованно через обменные нарушения.

Дальнейшее изучение обменных нарушений в связи с показателями ВРС, в том числе нелинейных, представляет интерес для понимания механизмов ВБ, а также имеет значение для поиска неинвазивных и менее затратных методов динамического контроля.

Цель исследования — изучить параметры ВРС, уровень общего холестерина и глюкозы в крови у больных ВБ, выявить взаимосвязь между ними.

Материалы и методы. В лаборатории прикладной нейрофизиологии и в клинике Научно-исследовательского института комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний обследованы 95 мужчин в возрасте 40–60 лет. В основную группу пациентов клиники вошло 75 человек, в контрольную — 20. Критерии включения в основную группу: наличие контакта с производственной вибрацией в течение 10 лет и более; в контрольную группу — отсутствие в анамнезе контакта с производственной вибрацией, возраст 40–60 лет. Критерии исключения из обеих групп: наличие установленного диагноза сахарного диабета, травм нервов, имплантированного водителя ритма сердца, тяжелых сердечных аритмий.

Медиана возраста основной группы составила 52 (50–53) года, контрольной — 48 (47–53) лет. Статистическое различия по возрасту в группах по критерию Манна-Уитни нет ($p=0,064$; при критическом уровне значимости $p<0,05$).

Стаж работы участников основной группы в условиях воздействия производственной вибрации составил 13–41 год, медиана — 26 (21–30) лет.

Все обследуемые дали информированное согласие на участие в исследовании, которое соответствовало нормам документов по биомедицинской этике и было одобрено биоэтическим комитетом института.

У всех участников были исследованы уровни общего холестерина и глюкозы крови натощак, а также ВРС. Далее анализу подвергались частотно-спектральные параметры ВРС: оценивались значения максимальной амплитуды спектральных пиков, выделенные с помощью быстрого преобразования Фурье и измеренные в спектральной плотности мощности (СПМ), $\text{мс}^2/\text{Гц}$: колебания очень низкой частоты (VLF — very low frequency) — в диапазоне 0,004...0,07 Гц, LF-колебания — в диапазоне 0,08...0,15 Гц, HF-колебания — в диапазоне 0,16...0,5 Гц; нелинейные феномены: DFA, ApEn. Диапазон HF отражает парасимпатическую активность вегетативной нервной системы, трофотропные процессы; колебания LF связаны с симпатическим вазомоторным влиянием; VLF — многокомпонентный показатель, отражающий эрготропные процессы. DFA определяет вагосимпатические отношения, равновесие которых соответствует нормативному коридору 0,75–0,85, увеличение выше 0,85 говорит о преобладании симпатического тонуса, уменьшение — парасимпатического.

Статистическая обработка данных осуществлялась на базе программ Biostat 2006, Statistica v. 10. Учитывая малые размеры выборок и ненормальное распределение данных, вычислялись медианы (Me) показателей и межквартильные интервалы 25/75 процентилей. Оценка значимости

статистических различий при парном сравнении групп исследуемых проводилась с помощью непараметрического критерия Манна-Уитни. Для определения взаимозависимости показателей применялось вычисление коэффициентов корреляции Спирмена (R). Сила корреляций оценивалась как слабая при коэффициенте корреляции $<0,3$; средняя — 0,3–0,6; сильная — $>0,6$. Статистически значимыми считались величины при $p < 0,05$.

Результаты. В основной группе определялись статистически более высокие уровни глюкозы крови и общего холестерина в сравнении с контрольной ($p < 0,05$) (табл.).

Анализ частотных параметров ВРС показал достоверное снижение уровней мощности 10-секундных (LF) и дыхательных (HF) ритмов в основной группе больных ВБ. При этом снижается тонус как парасимпатической активности (за счет высокочастотного компонента), так и активности вазомоторных барорефлекторных влияний. Более детально изучить дисфункцию автономной нервной системы позволяет оценка феноменов нелинейной динамики. Так, в основной группе значимо увеличивается DFA до 1,1 (0,96–1,2) в сравнении с контрольной — 0,91 (0,8–1,0), $p < 0,05$, что свидетельствует об относительном преобладании симпатических влияний. Аппроксимированная энтропия же достоверно снижается у пациентов с вибрационной патологией до 171 (143–207) против контрольной группы — 201 (185–227), $p = 0,007$.

Корреляционные взаимоотношения биохимических показателей крови и параметров ВРС в основной группе продемонстрированы на рисунке. Отмечается наличие в основном обратной статистической корреляции слабой и средней силы (увеличение уровней глюкозы и общего

Таблица / Table

Сравнение показателей крови и вариабельности ритма сердца в основной и контрольной группах (медиана, межквартильные интервалы 25/75)

Comparison of blood parameters and heart rate variability in the main and control groups (median, interquartile intervals 25/75)

Показатель		Основная группа (n=75)	Контрольная группа (n=20)	Уровень значимости по критерию Манна-Уитни, p
Биохимические показатели	Глюкоза, ммоль/л	5,6 (5,2–6,1)*	5,3 (5,1–5,5)	p=0,035
	Общий холестерин, ммоль/л	5,6 (5,1–6,4)*	5,3 (5,1–5,5)	p=0,043
Показатели вариабельности ритма сердца	VLF, $\text{мс}^2/\text{Гц}$	30 (16,0–96,6)	44,9 (18,0–84,1)	p=0,47
	LF, $\text{мс}^2/\text{Гц}$	6,4 (3,03–15,0)*	17,1 (9,5–31,2)	p=0,002
	HF, $\text{мс}^2/\text{Гц}$	1,5 (0,68–4,8)*	3,3 (1,4–10,8)	p=0,042
	DFA	1,1 (0,96–1,2)*	0,91 (0,8–1,0)	p=0,009
	ApEn	171 (143–207)*	201 (185–227)	p=0,007

Примечания: * — статистически значимое различие показателей в основной и контрольной группах по критерию Манна-Уитни (при $p < 0,05$).

Notes: * — a statistically significant difference in indicators in the main and control groups according to the Mann-Whitney test (with $p < 0.05$).

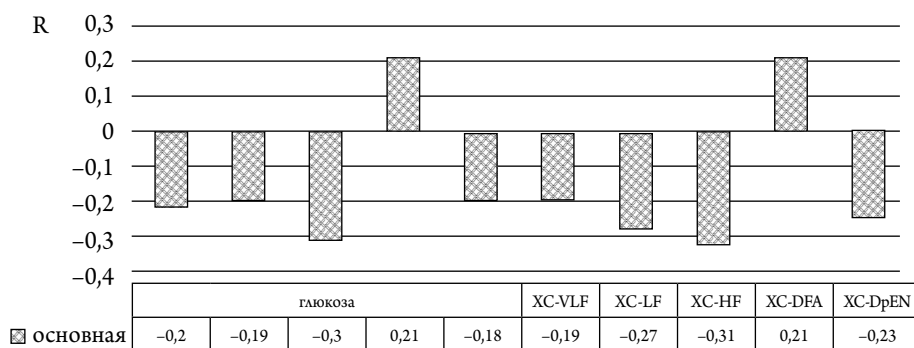


Рисунок. Корреляции между показателями крови и вариабельности ритма сердца в основной группе

Figure. Correlations between blood and heart rate variability in the study group

Примечания: R — коэффициент Спирмена; при $R < 0,3$ — сила связи слабая; $R = 0,3–0,6$ — средняя; $R > 0,6$ — сильная; XC — холестерин.

Notes: R — Spearman correlation coefficient; when $R < 0,3$ — strength of the weak; $R = 0.3$ to 0.6 — moderate; $R > 0,6$ — strong, cholesterol — cholesterol.

холестерина сопровождается подавлением спектральных показателей ВРС, а также АрЕп). Статистически значимые корреляции выявляются между глюкозой и HF, холестерином и HF, холестерином и LF, холестерином и АрЕп, ($R = -0,23-0,31, p < 0,05$).

Обсуждение. Полученные результаты свидетельствуют о наличии субклинических и клинически значимых нарушений углеводного и липидного обменов у больных ВБ. Наряду с повреждающим действием гипергликемии и гиперхолестеринемии на нервную и сосудистую системы при вибрационной патологии, реализуется прямое негативное воздействие вибрации на вегетативные структуры. Развитие автономной дисфункции приводит к подавлению variability ритма сердца, в частности высокочастотных (парасимпатическая активность) и медленно-волновых (симпатические, барорефлекторные влияния) спектральных компонентов, нарушению взаимоотношений регулирующих вегетативных структур, нарастанию симпатикотонии и уменьшению адаптивных резервов организма. Прогрессирование автономной нейропатии (в частности, кардиальной нейропатии) ведет к ухудшению прогноза для жизни.

В целом полученные данные подтверждают описанное ранее развитие метаболической и вегетативной недостаточности у больных вибрационной болезнью, что отражается на показателях ВРС. Особое место в данном исследовании занимает оценка нелинейных феноменов ВРС. Важное значение приобретает показатель АрЕп, динамика его изменений позволяет оценивать динамику состояния на фоне лечения. Чем ниже данный показатель, тем более выражены дисрегуляторные изменения в автономной нервной системе, тем больше степень ее поражения. Учитывая корреляции показателей биохимии крови и ВРС, представляется возможным использование методики исследования ВРС для мониторингирования нарастания обменных нарушений и вегетативных расстройств.

Выводы:

1. У больных вибрационной болезнью возникают нарушения в углеводном и липидном обменах, проявляющиеся нарастанием уровней глюкозы и холестерина.
2. При воздействии вибрации на организм подавляется ВРС, происходит депрессия во всех отделах автономной нервной системы, с преобладающим снижением парасимпатической активности и развитием относительной симпатикотонии. С нарастанием тяжести поражения вегетативных систем ухудшается прогноз для жизни. Прогностическим маркером можно считать значение показателя АрЕп variability ритма сердца.
3. Связь изменений биохимических показателей и параметров ВРС в основном отрицательная средней силы, т. е. при увеличении гипергликемии и гиперхолестеринемии уменьшаются уровни частотных показателей, снижается АрЕп, увеличивается DFA (прямая корреляция). Наличие данной связи позволяет говорить о возможном применении ВРС в качестве неинвазивного метода динамического наблюдения за состоянием пациентов с ВБ, раннего выявления групп риска по развитию сахарного диабета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артамонова В.Г., Колесова Е.Б., Кускова А.В. Некоторые современные аспекты патогенеза вибрационной болезни. *Мед. труда и пром. экол.* 1999; (2): 1–3.
2. Кирьяков В.А., Павловская Н.А., Лапко И.В., Богатырева И.А., Антошина Л.И., Ошкодеров О.А. Воздействие произ-

водственной вибрации на организм человека на молекулярно-клеточном уровне. *Мед. труда и пром. экол.* 2018; (9): 34–43.

3. Кузьмина О.Ю. Клинико-эпидемиологические особенности метаболического синдрома у больных профессиональными заболеваниями. *Международный эндокринологический журнал.* 2011; (4): 154–60.

4. Паначева Л.А., Платонова Е.А., Кузнецова Г.В. Частота и клинические проявления метаболического синдрома при вибрационной болезни. *Мед. труда и пром. экол.* 2011; (10): 36–9.

5. Лапко И.В., Кирьяков В.А., Павловская Н.А., Антошина Л.И., Ошкодеров О.А. Влияние производственной вибрации на развитие инсулинорезистентности и сахарного диабета второго типа. *Мед. труда и пром. экол.* 2017; (2): 30–3.

6. Gemne G. Pathophysiology of white fingers in workers using hand-held vibration tools. *Nagoya J. Med. Sci.* 1994; 57(5): 87–97.

7. Миронова Т.Ф., Давыдова Е.В., Уточкина И.М., Калмыкова А.В., Соколова Т.А. Возможности клинического анализа variability сердечного ритма при профессиональных заболеваниях. *Вестн. Челябин. обл. клин. больницы.* 2012; (1): 20–4.

8. Мелентьев А.В., Серебряков П.В., Жеглова А.В. Влияние шума и вибрации на нервную регуляцию сердца. *Мед. труда и пром. экол.* 2018; (9): 19–23.

9. Francis D.P., Willson K., Georgiadou P., Wensel R., Davies L.C., Coats A. et al. Physiological basis of fractal complexity properties of heart rate variability in man. *J. Physiol.* 2002; 542(Pt 2): 619–29.

10. Манило Л.А., Зозуля Е.П. Автоматическое распознавание мерцательной аритмии с использованием оценок аппроксимированной энтропии. *Инф.-управл. системы.* 2006; (1): 21–7.

11. Флейшман А.Н., Кораблина Т.В., Смагина Е.С., Петровский С.А., Иовин Д.Е., Неретин А.А. Энтропия и DFA variability ритма сердца при дистантном преко кондиционировании, ортостазе у здоровых молодых людей и у лиц с изменениями нейровегетативной регуляции кардиодинамики. *Изв. вузов. Прикл. нелинейн. динам.* 2016; 24(5): 37–61.

12. Boulton A.J.M., Vinik A.L., Arezzo J.C., Bril V., Feldman E.L., Freeman R. et al. Diabetic neuropathies: a statement by the American Diabetes Association. *Diabetes Care.* 2005; 28(4): 956–62.

13. Millis R.M., Austin R.E., Hatcher M.D., Bond V., Goring K.L. Metabolic energy correlates of heart rate variability spectral power associated with a 900-calorie challenge. *J. Nutr. Metab.* 2011; 2011: 715361. DOI: 10.1155/2011/715361.

14. Liao D., Sloan R.P., Cascio W.E., Folsom A.R., Liese A., Evans G.W. et al. Multiple metabolic syndrome is associated with lower heart rate variability: The atherosclerosis risk in communities study. *Diabetes Care.* 1998; 21(12): 2116–22.

15. Severeyn E., Wong S., Passariello G., Cevallos J.L., Almeida D. Methodology for the study of metabolic syndrome by heart rate variability and insulin sensitivity. *Rev. Bras. Eng. Bioméd.* 2012; 28(3): 272–7.

16. Raimundo R.D., Godleski J.J. Heart rate variability in metabolic syndrome. *Journal of Human Growth and Development.* 2015; 25(1): 7–10. DOI: 10.7322/jhgd.96757.

17. Doncheva N.I., Nikolova R.I., Danev S.G. Overweight, dyslipoproteinemia, and heart rate variability measures. *Folia Med. (Plovdiv).* 2003; 45(1): 8–12.

18. Кратнов А.Е., Якимова А.В., Силкина Е.Е. Variability ритма сердца у мужчин с метаболическим синдромом. *Сах. диабет.* 2013; (1): 15–18.

19. Хурс Е.М., Андреев П.В., Поддубная А.В., Евсина М.Г., Смоленская О.Г. Особенности variability сердечного ритма у больных с метаболическим синдромом по данным суточного мониторирования ЭКГ. *Рос. кардиол. ж.* 2010; (2): 18–21.

20. Новикова Д.С., Попкова Т.В., Герасимов А.Н., Волков А.В., Насонов Е.Л. Взаимосвязь показателей вариабельности ритма сердца с компонентами метаболического синдрома у женщин с ревматоидным артритом. *Рациональная фармакотерапия в кардиологии*. 2014; 10(1): 18–24.

REFERENCES

1. Artamonova V.G., Kolesova E.B., Kuskova L.V. Some modern aspects of the pathogenesis of vibration disease. *Med. truda i prom. ekol.* 1999; (2): 1–3 (in Russian).
2. Kiryakov V.A., Pavlovskaya N.A., Lapko I.V., Bogatyreva I.A., Antoshina L.I., Oshkoderov O.A. Impact of occupational vibration on molecular and cell level of human body. *Med. truda i prom. ekol.* 2018; (9): 34–43 (in Russian).
3. Kuzmina O.Y. Clinical and epidemiological features of the metabolic syndrome in patients with occupational diseases. *Mezhdunarodnyy endokrinologicheskiy zhurnal*. 2011; (4): 154–60 (in Russian).
4. Panacheva L.A., Platonova E.A., Kuznetsova G.V. Prevalence and clinical manifestations of metabolic syndrome in vibration disease. *Med. truda i prom. ekol.* 2011; (10): 36–9 (in Russian).
5. Lapko I.V., Kir'yakov V.A., Pavlovskaya N.A., Antoshina L.I., Oshkoderov O.A. Influence of occupational vibration on development of resistance to insulin and of II type diabetes mellitus. *Med. truda i prom. ekol.* 2017; (2): 30–3 (in Russian).
6. Gemne G. Pathophysiology of white fingers in workers using hand-held vibration tools. *Nagoya J. Med. Sci.* 1994; 57(5): 87–97.
7. Mironova T.F., Davydova E.V., Utochkina I.M., Kalmykova A.V., Sokolova T.A. Clinical analysis of heart rate variability in occupational diseases. *Vestnik Chelyabinskoy oblastnoy klinicheskoy bol'nitsy*. 2012; (1): 20–4 (in Russian).
8. Melentev A.V., Serebryakov P.V., Zheglova A.V. Influence of noise and vibration on nervous regulation of heart. *Meditina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2018; (9): 19–23 (in Russian).
9. Francis D.P., Willson K., Georgiadou P., Wensel R., Davies L.C., Coats A. et al. Physiological basis of fractal complexity properties of heart rate variability in man. *J. Physiol.* 2002; 542 (Pt 2): 619–29.
10. Manilo L.A., Zozulya E.P. Automatic recognition of atrial fibrillation via estimation of approximated entropy. *Informatsionno-upravlyayushchie sistemy*. 2006; (1): 21–7 (in Russian).
11. Fleishman A.N., Korablina T.V., Smagina E.S., Petrovskiy S.A., Ioven D.E., Neretin A.A. Entropy and DFA of heart rate variability in remote ischemic preconditioning, orthostatic test in healthy young subjects and in individuals with changes in autonomic regulation of cardiodynamics. *Izvestiya vysshih uchebnykh zavedeniy. Prikladnaya nelineynaya dinamika*. 2016; 24(5): 37–61 (in Russian).
12. Boulton A.J.M., Vinik A.I., Arezzo J.C., Bril V., Feldman E.L., Freeman R. et al. Diabetic neuropathies: a statement by the American Diabetes Association. *Diabetes Care*. 2005; 28(4): 956–62.
13. Millis R.M., Austin R.E., Hatcher M.D., Bond V., Goring K.L. Metabolic energy correlates of heart rate variability spectral power associated with a 900-calorie challenge. *J. Nutr. Metab.* 2011; 2011: 715361. DOI: 10.1155/2011/715361.
14. Liao D., Sloan R.P., Cascio W.E., Folsom A.R., Liese A., Evans G.W. et al. Multiple metabolic syndrome is associated with lower heart rate variability: The atherosclerosis risk in communities study. *Diabetes Care*. 1998; 21(12): 2116–22.
15. Severein E., Wong S., Passariello G., Cevallos J.L., Almeida D. Methodology for the study of metabolic syndrome by heart rate variability and insulin sensitivity. *Rev. Bras. Eng. Bioméd.* 2012; 28(3): 272–7.
16. Raimundo R.D., Godleski J.J. Heart rate variability in metabolic syndrome. *Journal of Human Growth and Development*. 2015; 25(1): 7–10. DOI: 10.7322/jhgd.96757.
17. Doncheva N.I., Nikolova R.I., Danev S.G. Overweight, dyslipoproteinemia, and heart rate variability measures. *Folia Med. (Plovdiv)*. 2003; 45(1): 8–12.
18. Kratnov A.E., Yakimova A.V., Silkina E.E. Heart rate variability in male patients with metabolic syndrome. *Sakharnyy diabet*. 2013; (1): 15–18 (in Russian).
19. Khurs E.M., Andreev P.V., Poddubnaya A.V., Evsina M.G., Smolenskaya O.G. Heart rate variability in patients with metabolic syndrome: 24-hour ECG monitoring data. *Rossiyskiy kardiologicheskiy zhurnal*. 2010; (2): 18–21 (in Russian).
20. Novikova D.S., Popkova T.V., Gerasimov A.N., Volkov A.V., Nasonov E.L. Association between heart rate variability and the components of the metabolic syndrome in women with rheumatoid arthritis. *Ratsional'naya farmakoterapiya v kardiologii*. 2014; 10 (1): 18–24 (in Russian).

Дата поступления / Received: 01.04.2019

Дата принятия к печати / Accepted: 31.05.2019

Дата публикации / Published: 14.06.2019