

Читать
онлайн
Read
online

Ямщикова А.В., Флейшман А.Н., Мартынов И.Д.

Оценка вегетативных нарушений у шахтёров с вибрационной болезнью

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

Введение. Вегетативные нарушения в виде автономной нейропатии развиваются при вибрационной болезни уже на ранних стадиях. По мере прогрессирования болезни компенсаторные механизмы вегетативной регуляции истощаются, что ведёт к ухудшению прогноза для жизни и увеличению риска внезапной сердечной смерти у пациентов с выраженной степенью автономной нейропатии.

Цель исследования — оценить степень выраженности вегетативных нарушений и сохранности компенсаторных резервов вегетативной регуляции у больных вибрационной болезнью.

Материалы и методы. Обследованы 136 шахтёров с установленным диагнозом вибрационной болезни и 60 условно здоровых мужчин близкого возраста, никогда не работавших в условиях воздействия производственной вибрации и не предъявлявших жалоб на здоровье. Проведён анализ вариабельности ритма сердца в покое и при выполнении активной ортостатической пробы.

Результаты. Выявлено снижение спектральных показателей вариабельности ритма сердца у пациентов с вибрационной болезнью. В подгруппе пациентов с исходно низким уровнем колебаний очень низкой частоты (менее 30 мс²/Гц) определялось снижение нелинейного показателя энтропии (менее 180); при выполнении активной ортостатической пробы мощность колебаний спектра очень низкой частоты у пациентов данной подгруппы снижалась более чем на 50% от исходных значений. У всех пациентов с вибрационной болезнью при ортостатической нагрузке выявлено снижение колебаний высокой и низкой частот спектра вариабельности ритма сердца, тогда как в контрольной группе мощность колебаний низкой частоты оставалась на исходном уровне.

Ограничения исследования. Исследование ограничено оценкой спектральных и нелинейных показателей вариабельности ритма сердца у 136 шахтёров с вибрационной болезнью.

Заключение. Выделены критерии тяжёлого течения автономной нейропатии у пациентов с вибрационной болезнью: исходное снижение мощности колебаний очень низкой частоты и нелинейного показателя энтропии вариабельности ритма сердца, а также снижение мощности колебаний очень низкой частоты более чем на 50% во время ортостатической пробы. В соответствии с данными критериями установлено, что у 40,4% шахтёров с вибрационной болезнью выявляются выраженные нарушения вегетативного обеспечения с недостаточностью компенсаторных механизмов вегетативной регуляции.

Ключевые слова: анализ вариабельности ритма сердца; вегетативные нарушения; автономная нейропатия; вибрационная болезнь

Соблюдение этических стандартов. Получено добровольное информированное письменное согласие пациентов на участие в исследовании. Исследование выполнено неинвазивными методами и одобрено биоэтическим комитетом НИИ комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний, протокол № 5, § 1 от 26.12.2018 г., в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных исследований с участием человека» с поправками 2013 г. и «Правилами клинической практики в Российской Федерации», утверждёнными приказом Минздрава России № 200н от 01.04.2016 г.

Для цитирования: Ямщикова А.В., Флейшман А.Н., Мартынов И.Д. Оценка вегетативных нарушений у шахтёров с вибрационной болезнью. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(7): 664–669. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-7-664-669> <https://elibrary.ru/qczrtm>

Для корреспонденции: Ямщикова Анастасия Валерьевна, ст. науч. сотр. лаб. прикладной нейрофизиологии, ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний», 654041, Новокузнецк. E-mail: anastyam@bk.ru

Участие авторов: Ямщикова А.В. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, сбор данных литературы, статистическая обработка, написание текста; Флейшман А.Н. — концепция и дизайн исследования, редактирование; Мартынов И.Д. — редактирование. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила: 23.03.2023 / Принята к печати: 07.06.2023 / Опубликована: 30.08.2023

Anastasia V. Yamshchikova, Arnold N. Fleishman, Ilya D. Martynov

Evaluation of autonomic disorders in miners with vibration disease

Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, Novokuznetsk, 654041, Russian Federation

Introduction. Autonomic disorders in the form of autonomic neuropathy develop in vibration disease already at the early stages. As the disease progresses, the compensatory mechanisms of autonomic regulation are depleted, which leads to a worse prognosis for life and an increased risk of sudden cardiac death in patients with a severe degree of autonomic neuropathy.

The aim of the study was to evaluate the severity of autonomic disorders and the preservation of compensatory reserves of autonomic regulation in patients with vibration disease.

Materials and methods. One hundred thirty six miners with a proven diagnosis of vibration disease and 60 apparently healthy men of similar age without complaints and who had never worked under the conditions of exposure to industrial vibration were examined. Heart rate variability was analyzed at rest and during an active orthostatic test.

Results. A decrease in the spectral parameters of heart rate variability in the patients with vibration disease was revealed. In a subgroup of the patients with an initially low level of very low frequency oscillations (less than 30 ms²/Hz), a decrease in the non-linear entropy index (less than 180) was determined; when performing an active orthostatic test, the power of very low frequency spectrum oscillations in the patients of this subgroup decreased by more than 50% of the initial values. In all patients with vibration disease under orthostatic load, a decrease in the oscillations of high and low frequencies of the spectrum of heart rate variability was revealed, whereas in the control group, the low frequency oscillation power remained at the initial level.

Limitations. The study was limited to the evaluation of spectral and non-linear indices of heart rate variability in 136 miners with vibration disease.

Conclusion. The criteria for a severe course of autonomic neuropathy in the patients with vibration disease were identified: an initial decrease in the power of very low frequency oscillations and a non-linear entropy index of heart rate variability, as well as a decrease in the power of very low frequency oscillations by more than 50% during an orthostatic test. According to these criteria, in 40.4% of the miners with vibration disease, pronounced violations of the autonomic support with a lack of compensatory mechanisms of autonomic regulation were found to be detected.

Keywords: analysis of heart rate variability; autonomic disorders; autonomic neuropathy; vibration disease

Compliance with ethical standards. The study was performed using non-invasive methods and approved by the Bioethical Committee of the Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, Protocol No. 5, § 1 of 26.12.2018, in accordance with the Declaration of Helsinki by the World Medical Association "Ethical Principles for Conducting Scientific Research Involving Humans" as amended in 2013 and "Rules of Clinical Practice in the Russian Federation" approved by the Order of the Ministry of Health of the Russian Federation No. 266 dated June 19, 2003.

For citation: Yamshchikova A.V., Fleishman A.N., Martynov I.D. Evaluation of the severity of autonomic disorders in miners with vibration disease. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; 102(7): 664–669. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-7-664-669> <https://elibrary.ru/qczrmo> (In Russ.)

For correspondence: Anastasia V. Yamshchikova, senior researcher of the applied neurophysiology laboratory, Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, Novokuznetsk, 654041, Russian Federation. E-mail: anastyam@bk.ru

Information about the authors:

Yamshchikova A.V., <https://orcid.org/0000-0002-6609-8923> Fleishman A.N., <https://orcid.org/0000-0002-2823-4074> Martynov I.D., <https://orcid.org/0000-0001-5098-9185>

Contribution: Yamshchikova A.V. – the concept and design of the study, collection and processing of material, collection of literature data, statistical processing, writing a text; Fleishman A.N. – the concept and design of the study, editing; Martynov I.D. – editing. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

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

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: March 23, 2023 / Accepted: June 7, 2023 / Published: August 30, 2023

Введение

Автономная нейропатия является одним из основных синдромов вибрационной болезни (ВБ). При воздействии вибрации вегетативные волокна и центры страдают на всех уровнях, в том числе надсегментарном (гипоталамус, корковые центры), уже на ранних стадиях болезни [1, 2]. Автономная нейропатия проявляется ортостатической гипотензией, тахикардией, фиксированным пульсом, при прогрессировании увеличивает риск безболевой ишемии миокарда и внезапной сердечной смерти [3–7]. Актуальной задачей является не только диагностика вегетативных нарушений, но и оценка степени их выраженности, определение сохранности компенсаторных резервов.

Анализ variability ритма сердца (ВРС) активно используется для выявления автономной нейропатии у пациентов с сахарным диабетом и рекомендована ADA (American Diabetes Association) [8, 9]. Разрабатываются критерии оценки степени тяжести автономной нейропатии при сахарном диабете, определяющие неблагоприятный прогноз течения болезни [10]. В то же время при ВБ автономная нейропатия диагностируется редко и не оценивается степень её выраженности, не учитывается при лечении и экспертизе трудоспособности. Не получила широкого распространения и оценка нелинейных показателей ВРС, имеющих важное прогностическое значение [11, 12]. Анализ ВРС во время ортостатической нагрузки позволяет оценить сохранность барорефлекторной реактивности и компенсаторных резервов вегетативной регуляции [13, 14].

Цель исследования – оценить степень выраженности вегетативных нарушений и сохранности компенсаторных резервов вегетативной регуляции у больных вибрационной болезнью.

Материалы и методы

В исследование были включены 196 мужчин, составивших две группы обследуемых: основная группа – шахтёры с установленным диагнозом вибрационной болезни и контрольная группа (КГ) – мужчины, никогда не работавшие в условиях воздействия производственной вибрации и не предъявлявшие жалоб.

Возраст обследуемых в группах был сопоставим. Медиана (*Me*) возраста составила: в основной группе 53 (49; 55) года, в контрольной группе 51 (48; 55) год. Стаж работы в условиях воздействия вибрации в группе ВБ составил 25,5 (21; 29) года. Критериями исключения из всех групп были

эндокринные болезни, нарушения ритма сердца, наличие электрокардиостимулятора.

Запись ВРС проводилась в покое и в процессе активной ортостатической пробы (АОП) на 12-канальном электрокардиографе «Полиспектр 8Е» (ООО «Нейрософт», Россия) во II стандартном отведении с набором 256 интервалов R-R. С помощью преобразования Фурье выделялись и анализировались спектральные показатели мощности колебаний высокой (HF – high frequency), низкой (LF – low frequency) и очень низкой (VLF – very low frequency) частот, измеренные в спектральной плотности мощности (СПМ, $\text{мс}^2/\text{Гц}$). VLF-колебания связывают с надсегментарными, гормональными, метаболическими влияниями (норма 30–150 $\text{мс}^2/\text{Гц}$). LF-колебания отражают активность вазомоторного центра, барорефлекторные симпатические механизмы (норма 15–35 $\text{мс}^2/\text{Гц}$), HF-колебания связаны с парасимпатическим влиянием (норма 5–25 $\text{мс}^2/\text{Гц}$) [15]. Наряду со спектральными показателями анализировали нелинейные феномены ВРС: ApEn – approximated entropy (аппроксимированная энтропия) и DFA – detrended fluctuation analysis (детрендный флуктуационный анализ). ApEn определяет степень сложности сигнала, снижение этого значения (менее 180) свидетельствует о высокой степени регулярности и упрощении сигнала, что связано с неблагоприятным прогнозом течения патологических процессов [15, 16]. Значение DFA связано с симпато-вагальным балансом: повышение его (более 0,9) отражает симпатическое преобладание, снижение (менее 0,75) – парасимпатикотонию, состояние эйготонии находится в пределах значения DFA = 0,75–0,85 [15]. Пациентам с ВБ был предъявлен вегетативный опросник Вейна [17], сумма баллов у здоровых людей не превышает 15. Статистическая обработка данных осуществлялась с применением программы Biostat 2009. Количественные данные проверяли на нормальность распределения тестом Колмогорова – Смирнова, вычисляли *Me* с межквартильными интервалами 25 (Q_1); 75 (Q_3). Для сравнения независимых выборок использован непараметрический критерий Манна – Уитни (*U*). Значимость изменения показателей до и после воздействия оценивали с помощью критерия Уилкоксона. Статистически достоверными считали значения при $p < 0,05$.

Результаты

У всех обследуемых пациентов с ВБ определялось снижение спектральных показателей LF и HF ($p < 0,05$). Учитывая значение уровня мощности VLF-колебаний в оценке центрального уровня регуляции и компенсаторных возмож-

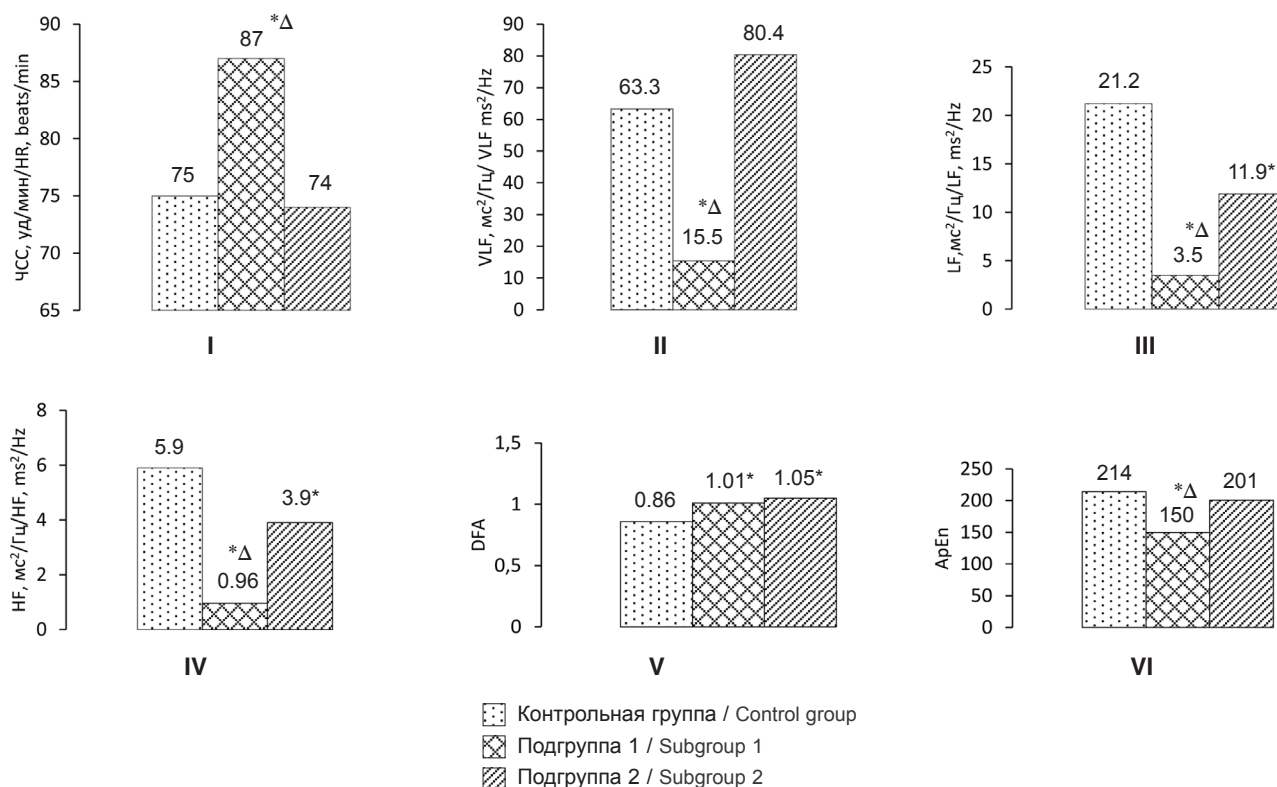


Рис. 1. Показатели variability ритма сердца в покое у пациентов выделенных подгрупп в сравнении с группой контроля.

I – показатели частоты сердечных сокращений (ЧСС); II – показатели мощности колебаний очень низкой частоты; III – показатели мощности колебаний низкой частоты; IV – показатели колебаний высокой частоты; V – нелинейный показатель детрентного флуктуационного анализа; VI – нелинейный показатель аппроксимированной энтропии. Статистически значимое различие показателей в сравниваемых независимых выборках по критерию Манна – Уитни (при $p < 0,05$): * – с контрольной группой; Δ – между подгруппами 1 и 2.

Fig. 1. Indices of heart rate variability at rest in the patients of the selected subgroups in comparison with the control group.

I – heart rate (HR) parameters; II – indices of the power of very low frequency oscillations; III – indices of the power of low frequency oscillations; IV – indices of high frequency oscillations; V – means a non-linear indicator of detrended fluctuation analysis; VI – is the non-linear indicator of approximated entropy. Statistically significant difference of the indices in the compared independent samples according to the Mann – Whitney criterion (at $p < 0.05$): * – comparison with the control group; Δ – comparison between the subgroups 1 and 2.

ностей, а также наличие значительного разброса показателя в основной группе, мы разделили пациентов с ВБ на две подгруппы: подгруппа 1 ($n = 55$) – мощность VLF-колебаний менее $30 \text{ ms}^2/\text{Гц}$; подгруппа 2 ($n = 75$) – мощность VLF-колебаний более $30 \text{ ms}^2/\text{Гц}$.

При сравнении фоновых показателей ВРС каждой подгруппы с контрольной выявлено, что подгруппа 1 с $\text{VLF} < 30 \text{ ms}^2/\text{Гц}$ статистически достоверно отличается по всем показателям: значимо ниже все спектральные характеристики ВРС, выше пульс и значение DFA, ниже ApEn (рис. 1).

Сравнение выделенных подгрупп пациентов с ВБ по стажу и баллам вегетативного опросника показало, что в подгруппе 1 эти показатели значимо больше (табл. 1), поэтому мы предположили более выраженные нарушения вегетативной регуляции у пациентов со сниженной мощностью VLF-колебаний.

При проведении АОП у всех пациентов с ВБ отмечено снижение мощности колебаний LF и HF более чем на 50% от исходных значений, тогда как в контрольной группе мощность колебаний LF не менялась (рис. 2). У лиц подгруппы 1 с исходно низкой мощностью VLF-колебаний происходило её уменьшение более чем на 50%, в то время как в остальных группах мощность VLF значимо не изменялась. Значение

DFA при ортостатической нагрузке увеличивалась ($p < 0,05$) во всех группах (см. рис. 2), однако в контрольной группе в большей степени (на 25% в сравнении с 10–15% в других группах), что в совокупности с сохранным уровнем LF-колебаний свидетельствовало о лучшей реактивности барорефлекса в сравнении с другими группами. ApEn во всех группах снижался в одинаковой степени (на 11–15%), что отражало упрощение сигнала при нагрузке.

Суммировав полученные результаты, мы разработали следующие критерии ВРС для оценки степени выраженности вегетативных нарушений и сохранности компенсаторных резервов (табл. 2).

Дополнительным критерием сохранности компенсаторных резервов вегетативной регуляции у пациентов с умеренно выраженной автономной нейропатией во время проведения АОП является относительно стабильный уровень мощности VLF-колебаний. В то же время у пациентов с недостаточностью компенсаторных механизмов при ортостатической нагрузке происходит снижение уровня мощности колебаний VLF более чем на 50%.

В соответствии с выделенными критериями частота выявления выраженной степени вегетативной дисфункции в основной группе составляет 40,4%, умеренных расстройств вегетативной регуляции – 55,2%.

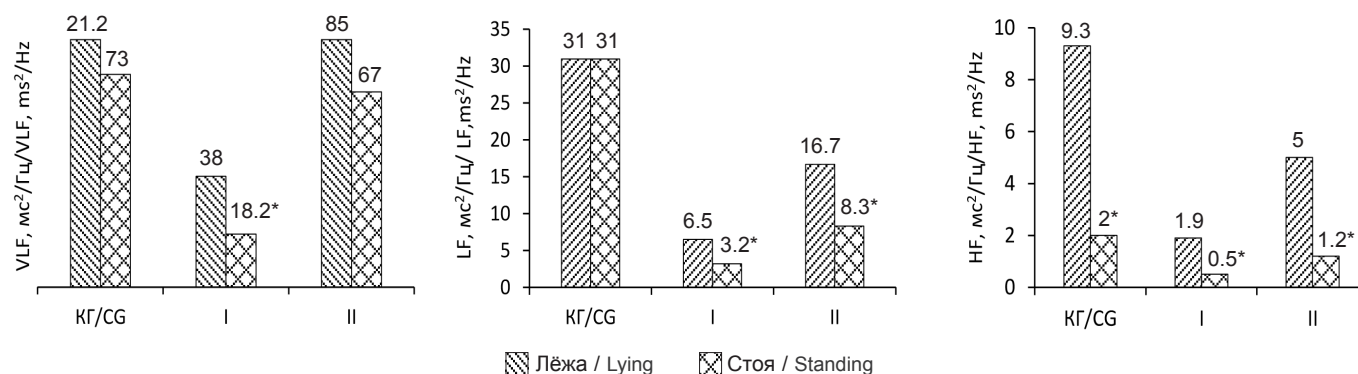


Рис. 2. Спектральные показатели variability ритма сердца в активной ортостатической пробе у пациентов с разным уровнем колебаний очень низкочастотного спектра. КГ – контрольная группа; I – подгруппа 1 пациентов с уровнем колебаний очень низкой частоты < 30 мс²/Гц; II – подгруппа 2 пациентов с уровнем колебаний очень низкой частоты > 30 мс²/Гц; * – статистически значимое различие показателей в сравниваемых зависимых выборках по критерию Уилкоксона (при *p* < 0,05).

Fig. 2. Spectral indices of heart rate variability in an active orthostatic test in the patients with different levels of very low frequency spectrum oscillations. CG – control group; I – subgroup 1 with the level of very low frequency oscillations < 30 ms²/Hz; II – subgroup 2 with the level of very low frequency oscillations > 30 ms²/Hz; * – statistically significant difference of the indices in the compared dependent samples according to the Wilcoxon criterion (at *p* < 0.05).

Таблица 1 / Table 1

Характеристика подгрупп пациентов с вибрационной болезнью
Characteristics of the subgroups of the patients with vibration disease

Параметр Parameter	Подгруппа 1 (VLF < 30 мс ² /Гц), n = 55 Subgroup 1 (VLF < 30 ms ² /Hz), n = 55	Подгруппа 2 (VLF > 30 мс ² /Гц), n = 75 Subgroup 2 (VLF > 30 ms ² /Hz), n = 75
Стаж, лет Work experience, years	28 (24; 32)	24 (21; 28)*
Балл по опроснику Вейна core according to the Vein questionnaire	30 (24; 35)	21 (12; 29)*

Примечание. VLF – мощность колебаний очень низкой частоты; * – различие независимых групп по критерию Манна – Уитни при *p* < 0,05.
 Note: VLF is the power of very low frequency oscillations; * is the difference of independent groups according to the Mann – Whitney criterion at *p* < 0.05.

Таблица 2 / Table 2

Критерии оценки степени выраженности вегетативных нарушений на основе анализа variability ритма сердца
Criteria for assessing the severity of autonomic disorders based on the analysis of heart rate variability

Показатель Parameter	Умеренные вегетативные нарушения Moderate autonomic disorders	Выраженные вегетативные нарушения Severe autonomic disorders
Аппроксимированная энтропия Approximated Entropy	≥ 180	< 180
Детрентный флукуационный анализ Detrended Fluctuation Analysis	≥ 0.9	≥ 0.9
Очень низкая частота, мс ² /Гц Very Low Frequency, ms ² /Hz	≥ 30	< 30
Высокая частота, мс ² /Гц High Frequency, ms ² /Hz	≤ 5	< 5
Низкая частота, мс ² /Гц Low Frequency, ms ² /Hz	≥ 15	< 15

Обсуждение

Выявленное снижение всех спектральных показателей ВРС у пациентов с ВБ ранее уже отмечено исследователями [18], однако значимость нелинейных феноменов ВРС упоминается в немногочисленных публикациях, касающихся в большей степени кардиологических патологий [11, 12], и не учитывается для оценки степени тяжести автономных нарушений.

Возможности компенсаторных механизмов оцениваются в нагрузочных пробах. Активная ортостатическая проба позволяет определить сохранность барорефлекторной реактивности и компенсаторных резервов вегетативной регуляции. Ранее у молодых здоровых лиц во время ортостатической нагрузки показано усиление низкочастотных колебаний ВРС, снижение высокочастотных колебаний и относительно стабильный уровень колебаний очень низкой частоты [19], тогда как с возрастом на фоне ишемической болезни сердца при автономной нейропатии отмечено уменьшение чувствительности барорефлекса и отсутствие усиления колебаний низкочастотного спектра [20]. Недостаточность симпатической активации периферического контура регуляции компенсируется за счёт более выраженного напряжения центральных механизмов. Подобные изменения вегетативной регуляции были описаны и у пациентов с вибрационной болезнью [21, 22].

В нашем исследовании АОП показала, что исходно низкий уровень мощности всех спектральных показателей (в

большей степени VLF-колебаний), а также уменьшение показателя АрЕп (ниже 180) у пациентов с выраженной степенью автономных нарушений прогнозирует недостаточность компенсаторных механизмов всех уровней (мощность всех колебаний падает более чем на 50%), тогда как сохранный уровень колебаний VLF и АрЕп у пациентов с умеренными нарушениями обеспечивает реакцию на нагрузку за счёт центральных компенсаторных механизмов.

Снижение мощности колебаний LF и HF более чем на 50% в АОП в подгруппах 1 и 2 можно связать с недостаточностью периферических механизмов симпатической активации, что ранее отмечалось в исследованиях с участием пациентов, имеющих автономную нейропатию [19, 21]. Таким образом, принципиальным критерием ВРС в АОП, отличающим более тяжёлое течение автономной нейропатии, является снижение мощности колебаний VLF более чем на 50%, которое наблюдается в подгруппе 1.

Ограничения исследования. Исследование ограничено оценкой спектральных и нелинейных показателей вариабельности ритма сердца у 136 шахтёров с вибрационной болезнью.

Заключение

Выделены критерии тяжёлого течения вегетативной дисфункции у пациентов с вибрационной болезнью: снижение мощности VLF-колебаний и АрЕп в фоновой записи, а также снижение мощности VLF-колебаний более чем на 50% при ортостатической нагрузке. В соответствии с данными критериями установлено, что у 40,4% шахтёров с вибрационной болезнью выявляются выраженные нарушения вегетативного обеспечения с недостаточностью компенсаторных механизмов вегетативной регуляции.

Литература

(п.п. 3–5, 8–9, 22 см. References)

- Бабанов С.А., Татаровская Н.А. Вибрационная болезнь: современное понимание и дифференциальный диагноз. *РМЖ. Медицинское обозрение*. 2013; 21(35): 1777–84. <https://elibrary.ru/rtykdb>
- Русанова Д.В., Лахман О.Л. Состояние центральных и периферических проводящих структур у пациентов с вибрационной болезнью. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(10): 1085–90. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-10-1085-1090> <https://elibrary.ru/unpqxo>
- Чернышова Т.Е., Стяжкина С.Н., Меликян И.А., Пименов Л.Т. Прогностическое значение кардиальной автономной нейропатии при метаболическом синдроме. *Евразийский кардиологический журнал*. 2016; (3): 145–6. <https://elibrary.ru/xbdmdbt>
- Беляев А.А., Котова О.В., Акарачкова Е.С. Кардиальная автономная невропатия у больных сахарным диабетом. *Медицинский совет*. 2019; (1): 52–6. <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2019-1-52-56> <https://elibrary.ru/yuyiux>
- Нуждина Е.В., Давыдова Е.В., Миронов В.А., Миронова Т.Ф., Уточкина И.М. Математическая модель степени тяжести диабетической автономной кардиальной нейропатии методом ритмокардиографии у коморбидных пациентов. *Современные проблемы науки и образования*. 2020; (1): 57. <https://doi.org/10.17513/spno.29430> <https://elibrary.ru/eovqby>
- Побиванцева Н.Ф. Нелинейный анализ вариабельности ритма сердца: прогностические возможности метода у пациентов с хронической сердечной недостаточностью ишемической этиологии. *Журнал Гродненского государственного медицинского университета*. 2013; (4): 37–41. <https://elibrary.ru/rtgrmd>
- Снежицкий В.А., Яцкевич Е.С., Смирнов В.Ю., Долгошей Т.С., Снежицкая Е.А., Мадкина Г.А. Прогностическая значимость и взаимосвязь аппроксимированной энтропии сердечного ритма с клиническим течением пароксизмальной и персистирующей форм фибрилляции предсердий. *Кардиология в Беларуси*. 2015; (2): 50–60. <https://elibrary.ru/ttzyen>
- Колясова В.Н., Колясов Р.Р. Анализ значений ортостатической пробы для оценки функциональных резервов. В кн.: *Физиологические и биохимические основы и педагогические технологии адаптации к разным по величине физическим нагрузкам: материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной памяти доктора биологических наук, профессора А.С. Чинкина*. Казань; 2017: 99–101.
- Шутов А.Б., Мацканюк А.А., Корней К.В. Роль центрального и автономного контуров в регуляции сердечного ритма при выполнении ортостатической пробы. *Инновационная наука*. 2020; (6): 147–57. <https://elibrary.ru/gqrvpj>
- Флейшман А.Н. *Вариабельность ритма сердца и медленные колебания гемодинамики: нелинейные феномены в клинической практике*. Новосибирск: Наука; 2009.
- Флейшман А.Н., Кораблина Т.В., Смагина Е.С., Петровский С.А., Иовин Д.Е., Неретин А.А. Энтропия и DFA вариабельности ритма сердца при дистантном прекодиционировании, ортостазе у здоровых молодых людей и у лиц с изменениями нейровегетативной регуляции кардиодинамики. *Известия высших учебных заведений. Прикладная нелинейная динамика*. 2016; 24(5): 37–61. <https://doi.org/10.18500/0869-6632-2016-24-5-37-61> <https://elibrary.ru/xbezrt>
- Вейн А.М., ред. *Вегетативные расстройства: Клиника, диагностика, лечение*. М.: МИА; 2003.
- Мелентьев А.В., Серебряков П.В., Желова А.В. Влияние шума и вибрации на нервную регуляцию сердца. *Медицина труда и промышленная экология*. 2018; (9): 19–23. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2018-9-19-23> <https://elibrary.ru/yjgust>
- Михайлов В.М. *Вариабельность ритма сердца: опыт практического применения метода*. Иваново; 2002.
- Чеботарева Ю.Н., Лишневская В.Ю. Вариабельность ритма сердца при ортостатической пробе в пожилом возрасте. *Вестник ХНУ им. В.Н. Каразина. Серия: Медицина*. 2003; (5): 89. <https://elibrary.ru/shkjb>
- Макогон И.С. Вегетативное обеспечение нервно-мышечной деятельности у горнорабочих виброопасных профессий. *Уральский медицинский журнал*. 2008; (8): 133–8. <https://elibrary.ru/jxcwet>

References

- Babanov S.A., Tatarovskaya N.A. Vibration disease: modern understanding and differential diagnosis. *RMZh. Meditsinskoe obozrenie*. 2013; 21(35): 1777–84. <https://elibrary.ru/rtykdb> (in Russian)
- Rusanova D.V., Lakhman O.L. The state of the central and peripheral conductive structures in patients with vibration disease. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(10): 1085–90. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-10-1085-1090> <https://elibrary.ru/unpqxo> (in Russian)
- Ford E.S. Trends in the risk for coronary heart disease among adults with diagnosed diabetes in the U.S.: findings from the National Health and Nutrition Examination Survey. *Diabet. Care*. 2011; 34(6): 1337–43. <https://doi.org/10.2337/dc10-2251>
- Vinik A.I., Maser R.E., Ziegler D. Autonomic imbalance: prophet of doom or scope for hope? *Diabet. Med.* 2011; 28(6): 643–51. <https://doi.org/10.1111/j.1464-5491.2010.03184.x>
- Freeman R. Diabetic autonomic neuropathy. *Handb. Clin. Neurol.* 2014; 126: 63–79. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53480-4.00006-0>
- Chernyshova T.E., Styazhkina S.N., Melikyan I.A., Pimenov L.T. Prognostic value of cardiac autonomic neuropathy in metabolic syndrome. *Evrzyskiy kardiologicheskij zhurnal*. 2016; (3): 145–6. <https://elibrary.ru/xbdmdbt> (in Russian)
- Belyaev A.A., Kotova O.V., Akarachkova E.S. Cardiac autonomic neuropathy in diabetic patients. *Meditsinskiy sovet*. 2019; (1): 52–6. <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2019-1-52-56> <https://elibrary.ru/yuyiux> (in Russian)
- 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. *Diabet. Care*. 2005; 28(4): 956–62. <https://doi.org/10.2337/diacare.28.4.956>
- Razauskaite-Virbickiene D., Danyte E., Mockeviciene G., Dobrovolskiene R., Verkauskiene R., Zalinkevicius R. Can coefficient of variation of time-domain analysis be valuable for detecting cardiovascular autonomic neuropathy in young patients with type 1 diabetes: a case control study. *BMC Cardiovasc. Disord.* 2017; 17(1): 34. <https://doi.org/10.1186/s12872-016-0467-0>
- Nuzhdina E.V., Davydova E.V., Mironov V.A., Mironova T.F., Utchikina I.M. Mathematical stage forecasting model for diabetic cardiac autonomic neuropathy by ritmocardigraphy analysis in comorbid patients. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2020; (1): 57. <https://doi.org/10.17513/spno.29430> (in Russian)
- Pobivantseva N.F. Nonlinear heart rate variability analysis: prognostic implications in patients with chronic heart failure of ischemic etiology. *Zhurnal Grodnenskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta*. 2013; (4): 37–41. <https://elibrary.ru/rtgrmd> (in Russian)
- Snezhiitskiy V.A., Yatskevich E.S., Smirnov V.Yu., Dolgoshey T.S., Snezhitskaya E.A., Madkina G.A. The prognostic value and relations of the approximate entropy of heart rate with clinical course of paroxysmal and persistent atrial fibrillation. *Kardiologiya v Belarusi*. 2015; (2): 50–60. <https://elibrary.ru/ttzyen> (in Russian)
- Kolyasova V.N., Kolyasov R.R. Analysis of orthostatic test values to assess functional reserves. In: *Physiological and Biochemical Bases and Pedagogical*

- Technologies of Adaptation to Various Physical Loads: Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation Dedicated to the Memory of Doctor of Biological Sciences, Professor A.S. Chinkin [Fiziologicheskie i biokhimicheskie osnovy i pedagogicheskie tekhnologii adaptatsii k raznym po velichine fizicheskim nagruzkam: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoy pamyati doktora biologicheskikh nauk, professora A.S. Chinkina]. Kazan'; 2017: 99–101. (in Russian)*
14. Shutov A.B., Matskanyuk A.A., Korney K.V. The role of the central and autonomous circuits in the regulation of heart rate during an orthostatic test. *Innovatsionnaya nauka*. 2020; (6): 147–57. <https://elibrary.ru/gqpvpi> (in Russian)
 15. Fleyshman A.N. *Heart Rate Variability and Slow Hemodynamic Oscillations: Nonlinear Phenomena in Clinical Practice [Variabel'nost' ritma serdtsa i medlennye kolebaniya gemodinamiki: nelineynye fenomeny v klinicheskoy praktike]*. Novosibirsk: Nauka; 2009. (in Russian)
 16. Fleyshman A.N., Korablina T.V., Smagina E.S., Petrovskiy S.A., Iovin 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 vysshikh uchebnykh zavedeniy. Prikladnaya nelineynaya dinamika*. 2016; 24(5): 37–61. <https://doi.org/10.18500/0869-6632-2016-24-5-37-61> <https://elibrary.ru/xbezrt> (in Russian)
 17. Veyn A.M., ed. *Autonomic Disorders: Clinic, Diagnosis, Treatment [Vegetativnye rasstroystva: Klinika, diagnostika, lechenie]*. Moscow: MIA; 2003. (in Russian)
 18. Melent'ev A.V., Serebryakov P.V., Zheglova A.V. Influence of noise and vibration on nervous regulation of heart. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2018; (9): 19–23. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2018-9-19-23> <https://elibrary.ru/yjgust> (in Russian)
 19. Mikhaylov V.M. *Heart Rate Variability: Experience of Practical Application of the Method [Variabel'nost' ritma serdtsa: opyt prakticheskogo primeneniya metoda]*. Ivanovo; 2002. (in Russian)
 20. Chebotareva Yu.N., Lishnevskaya V.Yu. Heart rate variability during an orthostatic test in old age. *Vestnik KhNU im. V.N. Karazina. Seriya: Meditsina*. 2003; (5): 89. <https://elibrary.ru/shkjjb> (in Russian)
 21. Makogon I.S. Autonomic support of neuromuscular activity in miners of vibration-hazardous professions. *Ural'skiy meditsinskiy zhurnal*. 2008; (8): 133–8. <https://elibrary.ru/jxcwet> (in Russian)
 22. Laskar M.S., Harada N. Assessment of autonomic nervous activity in hand-arm vibration syndrome patients using time- and frequency-domain analyses of heart rate variation. *Int. Arch. Occup. Environ. Health*. 1999; 72(7): 462–8. <https://doi.org/10.1007/s004200050399>