

Читать
онлайн
Read
onlineКрийт В.Е.¹, Сладкова Ю.Н.¹, Рейнюк В.Л.², Пятибрат А.О.³

Влияние сочетанного воздействия шума и вибрации на уровни гормонов стресса и поведенческие реакции животных

¹ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 191036, Санкт-Петербург, Россия;

²ФГБУ «Научно-клинический центр токсикологии имени академика С.Н. Голикова» Федерального медико-биологического агентства, 192019, Санкт-Петербург, Россия;

³ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет», 194100, Санкт-Петербург, Россия

Введение. Профессия пожарных относится к экстремальным видам деятельности. При выполнении профессиональных задач пожарные подвергаются комбинированному и сочетанному воздействию комплекса неблагоприятных факторов, среди которых важное место занимают шум и вибрация, при этом вибрация значительно усиливает негативное воздействие шума. Шум относится к наиболее часто встречающимся стресс-факторам, характеризующим экстремальные условия деятельности пожарных. Большое значение в изучении этих факторов имеют результаты эксперимента на животных, являющихся простейшей биомоделью человека.

Цель исследования – изучение уровней гормонов стресса и поведенческой активности животных при сочетанном воздействии шума и вибрации.

Материалы и методы. Исследование выполнено на 86 беспородных белых крысах-самцах 3-месячного возраста массой 230–250 г. Крысы были разделены на 2 группы: первая группа (43 крысы) подвергалась однократному воздействию шума и вибрации, вторая группа (43 крысы) подвергалась ежедневному воздействию в течение 14 дней. Процедуру виброакустического воздействия выполняли ежедневно по 4 ч при уровнях шума и вибрации, максимально приближенных к нагрузкам, встречающимся в реальных условиях при выполнении пожарными профессиональных задач. Проводили оценку изменений уровней трёх основных гормонов стресса (адреналин, норадреналин, кортизол) и особенностей поведения животных с помощью методик «Открытое поле», «Приподнятый крестообразный лабиринт», тест Порсолта.

Результаты. Полученные данные свидетельствуют о том, что виброакустическое воздействие на животных вызывает изменение уровней гормонов и показателей поведенческих реакций, выражающееся повышением уровня тревожности, снижением двигательной и исследовательской активности, развитием депрессивноподобных состояний. В группе однократного виброакустического воздействия эти показатели через сутки восстанавливаются до фоновых, в то время как в группе многократного виброакустического воздействия остаются изменёнными.

Ограничения исследования. Исследование было ограничено изучением основных показателей поведенческих реакций с использованием 3 методик и 3 основных гормонов стресса у 86 животных, произвольно разделённых на группы однократного и многократного виброакустического воздействия.

Заключение. Полученные данные могут быть применены при изучении отдалённых последствий воздействия вибрации и шума на организм пожарных.

Ключевые слова: пожаротушение; пожарный; шум; вибрация; крысы; поведенческие реакции; гормоны стресса

Соблюдение этических стандартов. Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФБУН «СЗНЦ гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора, проведено в соответствии с Европейской конвенцией о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (ETS N 123), директивой Европейского парламента и Совета Европейского союза 2010/63/ЕС от 22.09.2010 г. о защите животных, используемых для научных целей.

Для цитирования: Крийт В.Е., Сладкова Ю.Н., Рейнюк В.Л., Пятибрат А.О. Влияние сочетанного воздействия шума и вибрации на уровни гормонов стресса и поведенческие реакции животных. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(8): 904-909. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-8-904-909> <https://www.elibrary.ru/yfsvpc>

Для корреспонденции: Крийт Владимир Евгеньевич, канд. хим. наук, руководитель отд. комплексной гигиенической оценки физических факторов ФБУН «СЗНЦ гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора, 191036, Санкт-Петербург. E-mail: v.kriit@s-znc.ru

Участие авторов: Крийт В.Е. – концепция и дизайн исследования, сбор материала и обработка данных, статистическая обработка, написание текста; Сладкова Ю.Н. – сбор материала и обработка данных, написание текста; Рейнюк В.Л. – редактирование; Пятибрат А.О. – сбор материала и обработка данных, статистическая обработка. 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 финансовой поддержки.

Поступила: 17.05.2022 / Принята к печати: 04.08.2022 / Опубликовано: 14.09.2022

Vladimir E. Kriyt¹, Yuliya N. Sladkova¹, Vladimir L. Reinyuk², Aleksandr O. Pyatibrat³

Evaluation of the combined effects of noise and vibration on the levels of stress hormones and behavioral responses in animals

¹North-West Public Health Research Center, St. Petersburg, 191036, Russian Federation;

²Research Center of the FMBA of Russia, St. Petersburg, 192019, Russian Federation;

³St. Petersburg State Pediatric Medical University, St. Petersburg, 194100, Russian Federation

Introduction. The occupation of firefighters refers to extreme activities. When performing professional tasks, firefighters are exposed to the combined effects of a complex of adverse factors, among which noise and vibration occupy an important place, while vibration significantly promotes the negative effect of noise. Noise is also one of the most common stress factors that characterize extreme conditions for firefighters. The results of experiments on animals, which are the simplest human biomodel, are of great importance in their study.

Materials and methods. The study was carried out on 86 outbred white male rats of 3 months of age, weighing 230–250 g. The rats were divided into 2 groups: the first group (43 rats) was exposed to a single exposure to noise and vibration, the second group (43 rats) was exposed to daily exposure for 14 days. The procedure for vibroacoustic exposure was performed daily for 4 hours at noise and vibration levels as close as possible to the loads encountered in real conditions when firefighters perform occupational tasks. Changes in the levels of the three main stress hormones (adrenaline, noradrenaline, cortisol) and behavioral characteristics of animals were assessed using the Open Field, Elevated Plus Maze, and Porsolt Test methods.

Limitations. The number of animals in the study groups should be at least 10 individuals, the spread in the initial body weight should not exceed 10%. The study was limited to the study of the main indicators of behavioral responses using 3 methods and 3 main stress hormones.

Results. The data obtained indicate the vibroacoustic effect on animals to cause a change in hormone levels and indicators of behavioral reactions, which is manifested by an increase in the level of anxiety, a decrease in motor and exploratory activity, and the development of depressive-like states. In the group of a single vibroacoustic exposure, these indicators are restored to the background values in a day, while in the group of multiple vibroacoustic exposure, they remain changed.

Conclusion. The data obtained make it possible to study the long-term effects of vibration and noise on the body of firefighters.

Keywords: firefighting; fireman; noise; vibration; rats; behavioral reactions; stress hormones

Compliance with ethical standards. The Local ethics committee of the North-West Public Health Research Center of the Federal Service for Supervision in Protection of the Rights of Consumer and Man Wellbeing approved this study carried out under the European Convention for the Protection of Vertebrate Animals Used for Experiments or Other Scientific Purposes (ETS No. 123), Directive of the European Parliament and Council of the European Union 2010/63/EU of 22.09.2010 on the protection of animals used for scientific purposes.

For citation: Kriyt V.E., Sladkova Yu.N., Reinyuk V.L., Pyatibrat A.O. Evaluation of the combined effects of noise and vibration on the levels of stress hormones and behavioral responses in animals. Studies on humans and animals have not been conducted, the study does not require the submission of the opinion of the biomedical ethics committee or other documents. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(8): 904-909. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-8-904-909> <https://elibrary.ru/yfsvpc> (in Russian)

For correspondence: Vladimir E. Kriyt, MD, PhD, head of the Department of Complex Hygienic Assessment of Physical Factors. North-West Public Health Research Center, St. Petersburg, 191036, Russian Federation. E-mail: v.kriyt@s-znc.ru

Information about the authors:

Kriyt V.E., <https://orcid.org/0000-0002-1530-4598> Sladkova Yu.N., <https://orcid.org/0000-0003-1745-2663>
Reinyuk V.L., <https://orcid.org/0000-0002-4472-6546> Pyatibrat A.O., <https://orcid.org/0000-0001-6285-1132>

Contribution: Kriyt V.E. – the concept and design of the study, collection and processing of material, statistical processing, writing a text; Sladkova Yu.N. – collection and processing of material, writing a text; Reinyuk V.L. – editing; Pyatibrat A.O. – collection and processing of material, statistical processing. 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: May 17, 2022 / Accepted: August 4, 2022 / Published: September 14, 2022

Введение

Виброакустические факторы считаются одними из наиболее распространённых вредных и опасных производственных факторов и занимают лидирующее место среди причин возникновения профессиональных заболеваний [1, 2]. В 2021 г. удельный вес измерений акустического фактора, не соответствующих гигиеническим нормативам, составил 11,8%, удельный вес промышленных предприятий, не отвечающих гигиеническим нормативам по уровню шума, – 26,1%, доля обследованных рабочих мест промышленных предприятий, не соответствующих гигиеническим нормативам по уровню шума, – 14,6% Воздействие высоких уровней шума вызывает нарушение деятельности сердечно-сосудистой и нервной систем, органов пищеварения, а также нарушение регуляции мозгового кровообращения и другие расстройства, при этом вибрация значительно усиливает негативное воздействие шума [3, 4]. Вибрация, как и шум, оказывает существенное влияние на организм человека. Основными параметрами оценки вибрационного воздействия, определяющими риск формирования вибрационной патологии, являются частота и амплитуда колебаний [5–8]. Помимо формирования профессиональных заболеваний, которые проявляются изменениями в суставах конечностей, поражениями нервно-мышечного и костно-суставного аппарата, вибрация вызывает сложный комплекс регуляторных расстройств с формированием различных нарушений. Известны эффекты вибрации на гипофизарно-надпочечниковую и гипофизарно-гонадную регуляции, тиреоидную функцию, систему крови, сердечно-сосудистую, двигательную и другие системы [9, 10]. При действии на организм общей вибрации страдают в первую очередь нервная система, зрительный и другие анализаторы. После прекращения контакта с вибрацией отмечаются генерализация и прогрессирование нарушений в организме [10]. В процессе трудовой деятельности человек, как правило, подвергается сочетанному воздействию комплекса физических факторов, среди которых особое место занимают шум и вибрация [11–14].

Профессиональная деятельность пожарных связана с воздействием комплекса вредных и опасных факторов, о чём свидетельствуют данные, представленные Международной ассоциацией пожарных (IFFA) [15]. Трудовая деятельность пожарных осуществляется в сложнейших условиях и сопровождается реальной угрозой их здоровью и жизни [11, 16]. При пожарах параметры вредных и опасных факторов находятся в широком диапазоне, зависят от характера пожара, его периода, площади и материала горения, многократно превышают нормативные уровни, и их снижение практически невозможно [17]. Основными источниками техногенного шума и вибрации при выполнении работ по пожаротушению являются транспортные средства, работа насосов, гидрантов, дымоуловителей. Шум относится к наиболее часто встречающимся стресс-факторам, характеризующим экстремальные условия деятельности пожарных. Шум приводит к возникновению страха, тревоги, беспокойства, снижению внимания и увеличению времени реакции на различные сигналы, что в свою очередь способствует снижению эффективности деятельности [18, 19]. При этом в механизме развития стресса эндокринному ответу, характеризующемуся повышением в крови стресс-индуцирующих гормонов, к которым относятся кортизол и адреналин, принадлежит главная роль [20].

Необходимо отметить, что действующие на территории Российской Федерации санитарные правила и нормы^{1,2}

¹ СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 г. № 2. Зарегистрированы в Минюсте 29.01.2021 г. № 62296.

² СанПиН 1.2.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий». Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 г. № 3. Зарегистрированы в Минюсте 29.01.2021 г. № 62297.

Таблица 1 / Table 1

Результаты исследований поведения крыс (двигательная и ориентировочно-исследовательская активность, степень выраженности эмоциональных реакций и тест Порсолта), $M \pm m$

The results of studies of rats behavior (motor and exploratory activity, the degree of severity of emotional reactions and the Porsolt test), $M \pm m$

Показатель Indicator	Акустическое воздействие / Acoustic influence				Фон (контроль) Background (control)
	однократное / single		многократное / multiple		
	сразу после окончания воздействия immediately after the end of exposure	2-е сутки после окончания воздействия 2 nd day after the end of exposure	сразу после окончания воздействия immediately after the end of exposure	2-е сутки после окончания воздействия 2 nd day after the end of exposure	
<i>Методика «Открытое поле» / "Open field" method</i>					
Двигательная активность, n Motor activity, quantity	131.4 ± 16.5 *	153.7 ± 14.2	138.2 ± 12.6 *	142.4 ± 15.3 *	154.3 ± 11.8
Двигательная активность, c Motor activity, s	29.8 ± 11.7 *	53.2 ± 12.4	25.3 ± 12.8 *♦	31.4 ± 13.6 *♦	51.2 ± 9.8
Время обследования территории, c Territory survey time, s	12.7 ± 4.3 *	24.8 ± 2.7	15.9 ± 3.2 *♦	19.7 ± 2.4 *♦	25.3 ± 3.8
Время исследования «норок», c Time of research of "minks", s	11.5 ± 2.7 *	24.1 ± 3.9	12.2 ± 2.4 *	14.1 ± 3.4 *♦	23.6 ± 5.9
Стойка с упором, c / Rack with emphasis, with	9.8 ± 2.4 *	6.8 ± 1.4	11.2 ± 2.5 *	9.3 ± 2.1 *♦	7.2 ± 1.8
Вертикальная стойка, c / Vertical stand, with	1.8 ± 0.6 *	3.8 ± 0.9	2.3 ± 0.7 *	2.7 ± 0.8 *♦	3.9 ± 1.4
Фризинг, c / Freezing, with	9.8 ± 1.3 *	2.3 ± 1.1	7.2 ± 1.8 *♦	6.8 ± 1.4 *♦	2.1 ± 1.2
Груминг, c / Grooming, with	9.3 ± 2.7 *	17.2 ± 2.8	12.4 ± 2.3 *♦	15.4 ± 2.2 *♦	16.8 ± 1.2
<i>Методика «Крестообразный приподнятый лабиринт» / "Cross-shaped elevated maze" method</i>					
Время нахождения в «закрытом рукаве», c Time spent in the "closed sleeve", s	262.6 ± 14.7 *	197.7 ± 16.8	298.5 ± 29.3 *♦	242.5 ± 18.3 ♦	226.2 ± 12.8
Время нахождения в «Открытом рукаве», c Time spent in the "Open sleeve", s	78.4 ± 11.2 *	146.4 ± 9.5	49.5 ± 11.2 *♦	91.4 ± 12.6 *♦	176.5 ± 11.4
Время нахождения на «Центральной площадке», c Time spent at the "Central site", s	14.6 ± 4.8 *	19.4 ± 5.2	16.4 ± 7.4 *	17.2 ± 4.7 *	21.5 ± 2.9
<i>Методика принудительного плавания (тест Порсолта) / The method of forced swimming (Porsolt-test)</i>					
Иммобилизация, c / Immobilization, s	267.5 ± 24.3 *	141.5 ± 24.8	216.7 ± 28.2 *♦	189.7 ± 26.5 *♦	143.7 ± 36.5
Активное плавание, c / Active swimming, s	212.6 ± 26.8 *	96.2 ± 23.6	152.9 ± 24.8 *♦	116.4 ± 29.3 *♦	92.5 ± 23.6
Пассивное плавание, c / Passive swimming, s	147.6 ± 29.1 *	321.7 ± 21.9	241.3 ± 27.5 *♦	258.5 ± 27.4 *♦	312.6 ± 37.8

Примечание. Здесь и в табл. 2: Достоверные различия ($p < 0,05$): * — по сравнению с фоновым значением; ♦ — по сравнению с аналогичным периодом после окончания однократного акустического воздействия.

Note. Here and in Table 2: * — differences compared to the background value, $p < 0.05$; ♦ — differences in comparison with the same period after the end of a single acoustic exposure, $p < 0.05$.

не распространяются на условия выполнения аварийно-спасательных работ или боевых задач, а также не учитывают сочетанное воздействие физических факторов.

Большое значение в изучении сочетанного воздействия физических факторов, в том числе факторов стресса, имеют результаты эксперимента на животных, являющихся простейшей биомоделью человека. Использование поведенческих тестов определяется их доступностью, высокой чувствительностью и рассматривается как интегральный показатель реакции организма животного на стрессовую ситуацию. К тому же поведение животных как биологический параметр может быть количественно измерено и сопоставлено с фоновыми значениями. Данные, полученные при апробации экспериментальной модели на животных, в дальнейшем могут быть использованы при изучении последствий воздействия шума и вибрации на организм человека.

Материалы и методы

Оценку изменений уровней гормонов стресса и поведенческих реакций животных при однократном и многократном воздействии шума и вибрации выполняли в рамках реализации научно-исследовательской работы по изучению

сочетанного воздействия шума и вибрации, а также шума, вибрации и монооксида углерода. В фоновом периоде достоверных различий в значениях анализируемых показателей не наблюдалось, и они составили одну группу (фоновые значения, контроль). Экспериментальное исследование было выполнено на 86 беспородных белых крысах-самцах 3-месячного возраста массой 230–250 г, содержащихся в стандартных условиях вивария со свободным доступом к воде и находящимся на обычном пищевом рационе. Животные были разделены случайным образом на две равные — по 43 крысы в каждой. Первая группа подвергалась однократному виброакустическому воздействию, вторая группа — ежедневному виброакустическому воздействию в течение 14 дней. Процедуру виброакустического воздействия выполняли по 4 ч в день. Уровни шума и вибрации были максимально приближены к нагрузкам, встречающимся в реальных условиях при выполнении пожарными профессиональных задач.

Животных по 5 особей помещали в клетку, закреплённую на платформе вибростенда ВЭС-400А. Работающий вибростенд генерировал на платформу общую вибрацию вертикальной направленности по оси Z с уровнем 100 дБ по виброускорению на частоте 40 Гц. Источником непостоянного шума являлся громкоговоритель, расположенный на

Таблица 2 / Table 2

Уровни гормонов стресса (нг/мл) в крови крыс после перенесённого виброакустического воздействия, $M \pm m$ Levels of stress hormones in the blood after vibroacoustic exposure in rats, ng/ml, $M \pm m$

Показатель Indicator	Виброакустическое воздействие / Vibroacoustic influence				Фон (контроль) Background (control)
	однократное / single		многократное / multiple		
	сразу после окончания воздействия immediately after the end of exposure	2-е сутки после окончания воздействия 2 nd day after the end of exposure	сразу после окончания воздействия immediately after the end of exposure	2-е сутки после окончания воздействия 2 nd day after the end of exposure	
Адреналин / Adrenalin	216,5 ± 18,6*	158,4 ± 21,8	224,7 ± 23,5*	198,4 ± 19,2*,#	164,2 ± 12,4
Норадреналин / Noradrenaline	231,6 ± 14,6*	112,3 ± 15,8	198,4 ± 12,9*,#	152,4 ± 16,1*,#	124,7 ± 13,5
Кортизол / Cortisol	187,3 ± 21,3*	136,5 ± 19,7	194,2 ± 18,9*,#	182,7 ± 22,4*,#	142,4 ± 17,8

расстоянии 1 м от вибростенда. Для возбуждения громкого-ворителя использовался функциональный генератор. Эквивалентный уровень звука за 4 ч воздействия в контрольной точке, расположенной у верхнего края боковой стенки клетки, ориентированной в сторону источника шума, составлял в разные дни эксперимента от 88,4 до 89,5 дБА, усреднённый эквивалентный уровень звука за 14 дней воздействия составлял 89 дБА, максимальный уровень звука составлял 98 дБА. Генерируемый шум соответствовал следующим характеристикам: 69,7 дБ для частоты 31,5 Гц; 73,3 дБ для частоты 63 Гц; 75,5 дБ для частоты 125 Гц; 78,2 дБ для частоты 250 Гц; 82,5 дБ для частоты 500 Гц; 85,5 дБ для частоты 1000 Гц; 86,8 дБ для частоты 2000 Гц; 85 дБ для частоты 4000 Гц; 80,6 дБ для частоты 8000 Гц. Контроль параметров непостоянного шума проводили по эквивалентному уровню звука с применением шумомера-виброметра, анализатора спектра ЭКОФИЗИКА-110А, а параметров вибрации на платформе стенда – с применением четырёхканального анализатора шума и вибрации SVAN-948.

Оценку поведенческой активности животных проводили с помощью методики, основанных на реакции животных на новое для них окружение: «Открытое поле», «Крестообразный приподнятый лабиринт», а также по методике принудительного плавания (тест Порсолта) [21–24]. Тест проводили два раза: первый раз – до воздействия, второй – после, с интервалами между тестированиями не менее двух недель. Забор крови для исследований выполняли из боковой хвостовой вены также до, непосредственно после и на вторые сутки после окончания однократного и многократного виброакустического воздействия. Все процедуры с животными выполняли с соблюдением принципов Европейской конвенции по защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных и других научных целей (Страсбург, 18 марта 1986 г.), и Директивы Европейского парламента и Совета Европейского союза 2010/63/ЕС от 22.09.2010 г. о защите животных, использующихся для научных целей.

Экспериментальные материалы, полученные в ходе исследования, подвергали статистической обработке по стандартным программам (Excel, Statistica 6.0, SPSS 11.5). Отдельные группы предварительно сравнивали с помощью непараметрического теста Краскела–Уоллиса, а затем значимость различий уточняли с помощью теста Манна–Уитни. Выбор тех или иных методов статистического анализа проводили с учётом конкретных решаемых задач.

Результаты

После акустического воздействия поведение крыс анализировали с применением тестов на двигательную и ориентировочно-исследовательскую активность (тест «Открытое поле»), скорость ориентировочных реакций, степень выраженности эмоциональной реакции страха и тревоги (тест «Приподнятый крестообразный лабиринт»), а также методики поведенческого отчаяния (тест Порсолта). Некоторые из полученных результатов представлены в табл. 1.

Экспериментальная модель виброакустического воздействия показала изменения уровней трёх основных гормонов стресса в крови животных после окончания однократного и многократного воздействия (табл. 2).

Обсуждение

Тест «Открытое поле» является классической моделью исследования поведения, основанной на конфликте инстинктивной тенденции к исследованию нового окружения с тенденцией минимизировать возможную опасность с его стороны. Исследовательское поведение в «открытом поле» изменялось у крыс как после однократного, так и после длительного акустического воздействия. В структуре поведения крыс в тесте «Открытое поле» время исследования территории и норок достоверно снижалось, отмечалось общее снижение двигательной активности, снижение времени вертикальной активности, и, наоборот, достоверно увеличивалось время фризингов. Возрастал уровень тревожности, о чём свидетельствует уменьшение исследовательской активности и длительности эпизодов фризингов и стоек с упором. Также о повышении тревожности у крыс после акустического воздействия свидетельствовали низкая подвижность и редкие вертикальные стойки, избегание центральной части арены. На второй день после однократного акустического воздействия все показатели в основном возвращались к исходным позициям. При длительном акустическом воздействии изменения некоторых показателей поведенческих реакций были менее выражены и на вторые сутки не восстанавливались до исходных. После длительного акустического воздействия показатели времени двигательной активности, времени обследования территории, времени груминга были достоверно выше, а время фризингов ниже, чем у крыс при однократном акустическом воздействии, что свидетельствует о некотором привыкании к акустическому воздействию, но при этом показатели теста были достоверно изменены относительно фоновых показателей и не восстанавливались до исходных на вторые сутки после прекращения воздействия, что свидетельствует о нервно-эмоциональном напряжении у крыс.

Тест «Крестообразный приподнятый лабиринт» является одной из наиболее чувствительных моделей для исследования тревожности животного. Согласно полученным экспериментальным данным, животные, перенёвшие как длительное, так и однократное акустическое воздействие, проводили в открытом рукаве лабиринта достоверно меньшее время по сравнению с фоновыми значениями, при этом время нахождения животных на центральной площадке также было достоверно меньше. На вторые сутки после однократного акустического воздействия время нахождения в открытом и закрытом рукавах, на центральной площадке практически возвращалось к исходным значениям. При длительном многократном воздействии время нахождения в закрытом рукаве на вторые сутки после окончания воздействия оставалось выше фонового значения и досто-

верно выше по сравнению с аналогичным периодом однократного акустического воздействия, что свидетельствует о тревожности животного.

Тест Порсолта основан на предположении, что при помешении животного в прозрачную ёмкость с водой оно начинает прилагать усилия к избеганию стрессирующего фактора путём активных движений, но в конечном итоге проявляет неподвижность, считающуюся отражением отчаяния. В тесте оценивают время различных слагаемых плавания: продолжительность активного (энергичные движения всеми лапами), пассивного (слабые гребки задними лапами, наиболее экономичные в предложенной ситуации) плавания и иммобилизации (неподвижности). Увеличение длительности иммобилизации и изменение биоритмологической структуры плавания характеризовалось как «поведенческое отчаяние» и отражало депрессивный компонент поведения.

Анализ данных, полученных в тесте Порсолта, подтвердил развитие депрессивноподобных состояний в результате перенесённого акустического воздействия. На это указывало достоверное увеличение времени иммобилизации как при однократном, так и при многократном акустическом воздействии. На вторые сутки после однократного акустического воздействия все показатели теста возвращались к исходным значениям. Показатели, полученные сразу после окончания многократного акустического воздействия, в меньшей степени изменялись относительно фонового периода, но на вторые сутки оставались изменёнными.

Уровни адреналина, норадреналина и кортизола как после однократного, так и после многократного виброакустического воздействия достоверно увеличивались относительно фоновых значений. Через сутки после окончания однократного воздействия все показатели восстанавливались до уровня исходных. В группе, которая перенесла многократное акустическое воздействие, на вторые сутки после прекращения воздействия уровни гормонов не восстанавливались до исходных значений и оставались достоверно выше как относительно фоновых значений, так и по сравнению с аналогичным периодом после окончания однократного виброакустического воздействия.

Исследование было ограничено изучением изменений уровней трёх основных стресс-индуцирующих гормонов, а также показателей поведенческой активности животных по трём методикам, имеющим значение для оценки факторов стресса.

Заключение

Экспериментальная модель виброакустического воздействия на животных с эквивалентным уровнем звука 88,4–89,5 дБА и уровнем вибрации 100 дБ по виброускорению на частоте 40 Гц подтвердила возникновение изменений уровней гормонов стресса и показателей поведенческой активности животных. При этом на вторые сутки после окончания однократного виброакустического воздействия анализируемые показатели возвращались к исходным значениям, а после окончания длительного виброакустического воздействия практически все анализируемые показатели не восстанавливались до исходных значений и были достоверно изменены как относительно фонового периода, так и в сравнении с аналогичным периодом однократного виброакустического воздействия. Тест «Открытое поле» показал достоверное снижение исследовательской и двигательной активности животных как после однократного, так и после многократного виброакустического воздействия. Тест «Крестообразный приподнятый лабиринт» показал достоверное увеличение времени нахождения животного в «закрытом рукаве» как после однократного, так и после многократного виброакустического воздействия, при этом время нахождения в «открытом рукаве» и время нахождения на «центральной площадке» достоверно снижалось, что свидетельствует о тревожности животного. Тест Порсолта показал достоверное увеличение длительности иммобилизации и изменение биоритмологической структуры плавания как после однократного, так и после многократного виброакустического воздействия, что характеризуется как «поведенческое отчаяние» и отражает депрессивный компонент поведения. Полученные данные могут быть применены при изучении отдалённых последствий воздействия шума и вибрации на организм человека.

Литература

- Пакулев М.В., Федотов Я.О., Рыбин В.А. Влияние шума и вибраций на человека и окружающую среду. *Наука и безопасность*. 2015; (3): 2–7.
- Абдрахманов Н.Х., Федосов А.В., Хамитова А.Н., Бадрутдинова И.И., Матузов Г.Л. Основные аспекты оценки виброакустических факторов. *Безопасность техногенных и природных систем*. 2021; (3): 13–22. <https://doi.org/10.23947/2541-9129-2021-3-13-22>
- Васильев А.В. Проблемы оценки сочетанного влияния шума и других физических факторов на здоровье человека. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2012; 14(6-1): 158–65.
- Аполлонский С.М. Особенности сочетанного воздействия на техносферу физических факторов волновой природы на электрифицированном железнодорожном транспорте. *Транспортные системы и технологии*. 2017; 3(1): 69–90.
- Авалиани Т.В., Ключева Н.Н., Апраксина Н.К., Цикунов С.Г. Гендерные особенности поведения и липидного спектра у крыс в отдаленном периоде после вибрационного шума. *Журнал эволюционной биохимии и физиологии*. 2018; 54(2): 109–15.
- Ляшенко В.Н. Оценка адаптационной реактивности организма крыс при действии вибрации. *Новая наука: Стратегии и векторы развития*. 2016; (118-3): 11–4.
- Панков В.А., Кулешова М.В., Катаманова Е.В., Картапольцева Н.В. Влияние вибрации на функциональную активность нервной системы у животных в эксперименте. *Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук*. 2013; (3-2): 113–9.
- Тенетилова Л.А. Вредные факторы среды обитания в современных условиях. *Вестник Орловского государственного аграрного университета*. 2016; (5): 100–10.
- Саматова И.М., Склянов Ю.И., Дубинина Н.Н., Попп Е.А., Саломейна Н.В. Структурная характеристика коры надпочечников беременных крыс при вибрационном воздействии (разной продолжительности). *Медицина и образование в Сибири*. 2014; (3): 8.
- Якимова Н.Л., Панков В.А., Лизарев А.В., Рукавишников В.С., Кулешова М.В., Катаманова Е.В. и др. Нейрофизиологические и морфологические эффекты воздействия вибрации в динамике постконтактного периода при экспериментальном моделировании. *Медицина труда и промышленная экология*. 2019; (5): 284–90. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-5-284-290>
- Шафран Л.М., Нехорошкова Ю.В. Комплексная гигиеническая оценка условий труда и трудового процесса пожарных-спасателей. *Гигиена и санитария*. 2015; 94(1): 77–82.
- Рукавишников В.С., Кольчева И.В., Дорогова В.Б., Бударина Л.А. Некоторые подходы к мониторингу условий труда и состояния здоровья пожарных. *Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук*. 2005; (2): 7–14.
- Рукавишников В.С., Кольчева И.В. Медицина труда пожарных: итоги и перспективы исследований. *Медицина труда и промышленная экология*. 2007; (6): 1–5.
- Абдулкина Н.Г., Зайцев К.В., Жукова О.Б., Гастюхина А.А., Воробьев В.А., Зайцев А.А. Ориентировочно-исследовательское поведение у крыс при вибрационно-шумовом воздействии. *Медицина и образование в Сибири*. 2015; (6): 52.
- Кольчева И.В. Актуальные вопросы медицины труда пожарных (обзор литературы). *Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук*. 2005; (8): 133–8.
- Дьякович М.П., Шевченко О.И. Медикопсихологические последствия воздействия факторов пожара на ОАО «Иркутсккабель» на пожарных ликвидаторов. *Медицина труда и промышленная экология*. 2008; (1): 29–35.
- Смиловенко О.О., Курлович И.Г. Повышение безопасности труда пожарного-спасателя. *Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси*. 2017; 1(4): 459–67.
- Валитова Н.Э., Хайретдинов И.А. Влияние стресс-факторов на производительность труда сотрудников подразделений пожарной охраны. *Нефтегазовое дело*. 2014; 12(1): 168–71.
- Кошаров В.С., Трошунин А.В. Влияние стресс-факторов на психику пожарных. В кн.: «Актуальные вопросы современной психологии»: материалы I международной научной конференции. Челябинск; 2011: 53–5.

Original article

20. Самохвалов И.М., Зачиняев Г.В., Андрияков Б.Г., Головки К.П., Апчел В.Я. Динамика эндокринного ответа при стресс-реакциях в хирургическом лечении калькулезного холецистита. *Вестник Российской военно-медицинской академии*. 2013; (3): 38–42.
21. Ковалев Г.И., Васильева Е.В., Салимов Р.М. Сравнение поведения мышей в тестах открытого поля, закрытого и приподнятого крестообразных лабиринтов с помощью факторного анализа. *Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова*. 2019; 69(1): 123–30. <https://doi.org/10.1134/S0044467719010064>
22. Анфилова М.Г., Додонова С.А., Алферова М.Е., Тенькова А.Н., Ворвуль А.О., Музалева Ю.А. и др. Изучение особенностей проведения теста Порсолта и его модификаций при доклинических исследованиях антидепрессантных и адаптогенных средств. В кн.: *Материалы девятой международной дистанционной научной конференции, посвященной 83-летию Курского государственного медицинского университета «Инновации в медицине»*. Курск; 2018: 7–12.
23. Чайка А.В., Коношенко Е.В., Хусаинов Д.Р., Шахматова В.И., Можаровская И.А., Черетаев И.В. Тест Порсолта как лонгитюдный метод оценки динамики эмоционального состояния крыс в модели хронического непредсказуемого умеренного стресса. *Ученые записки Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. Биология. Химия*. 2018; 4(2): 133–47.
24. Горлова А.В., Павлов Д.А., Ушакова В.М., Зубков Е.А., Морозова А.Ю., Иноземцев А.Н. и др. Динамика развития депрессивно-подобного состояния у крыс, стрессированных хроническим воздействием ультразвука переменных частот. *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины*. 2017; 163(3): 271–4.

References

1. Pakulev M.V., Fedotov Ya.O., Rybin V.A. Impact of noise and vibration on humans and the environment. *Nauka i bezopasnost'*. 2015; (3): 2–7. (in Russian)
2. Abdrakhmanov N.Kh., Fedosov A.V., Khamitova A.N., Badrtidinova I.I., Matuzov G.L. Main aspects of vibroacoustic factors assessment. *Bezopasnost' tekhnogennykh i prirodnykh sistem*. 2021; (3): 13–22. <https://doi.org/10.23947/2541-9129-2021-3-13-22> (in Russian)
3. Vasil'ev A.V. Problems of estimation of joint influence of noise and other physical factors on the human's health. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. 2012; 14(6-1): 158–65. (in Russian)
4. Apollonskiy S.M. Features of combined effects of physical factors of wave nature on electrified railway transport on technosphere. *Transportnye sistemy i tekhnologii*. 2017; 3(1): 69–90. (in Russian)
5. Avaliani T.V., Klyueva N.N., Apraksina N.K., Tsikunov S.G. Gender-dependent features of behavior and lipid spectrum in rats at a remote period after exposure to vibrational noise. *Zhurnal evolyutsionnoy biokhimi i fiziologii*. 2018; 54(2): 109–15. (in Russian)
6. Lyashenko V.N. Assessment of the adaptive reactivity of the rat organism under the action of vibration. *Novaya nauka: Strategii i vektory razvitiya*. 2016; (118–3): 11–4. (in Russian)
7. Pankov V.A., Kuleshova M.V., Katamanova E.V., Kartapol'tseva N.V. Vibration influence on functional activity of nervous system in experimental animals. *Byulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo tsentra Sibirskogo otdeleniya Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk*. 2013; (3–2): 113–9. (in Russian)
8. Tenetilova L.A. Harmful factors of the environment in modern conditions. *Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2016; (5): 100–10. (in Russian)
9. Samatova I.M., Sklyanov Yu.I., Dubinina N.N., Popp E.A., Salomeina N.V. Structural characteristic of adrenal cortex at pregnant rats at vibratory influence of different duration. *Meditsina i obrazovanie v Sibiri*. 2014; (3): 8. (in Russian)
10. Yakimova N.L., Pankov V.A., Lizarev A.V., Rukavishnikov V.S., Kuleshova M.V., Katamanova E.V., et al. Neurophysiological and morphological effects in the post-exposure vibration period during experimental modeling. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2019; (5): 284–90. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-59-5-284-290> (in Russian)
11. Shafran L.M., Nekhoroshkova Yu.V. Hygienic evaluation of working conditions and working process of fire rescue employees. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2015; 94(1): 77–82. (in Russian)
12. Rukavishnikov V.S., Kolycheva I.V., Dorogova V.B., Budarina L.A. Some approaches to monitoring of work conditions and health state in the fire fighters. *Byulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo tsentra Sibirskogo otdeleniya Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk*. 2005; (2): 7–14. (in Russian)
13. Rukavishnikov V.S., Kolycheva I.V. Industrial hygiene for firemen: results and prospects of research. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2007; (6): 1–5. (in Russian)
14. Abdulkina N.G., Zaytsev K.V., Zhukova O.B., Gastyukhina A.A., Vorobev V.A., Zaytsev A.A. Approximate and research behaviour at rats at vibratory and noise impact. *Meditsina i obrazovanie v Sibiri*. 2015; (6): 52. (in Russian)
15. Kolycheva I.V. Urgent issues of labour medicine in the fire fighters (literature survey). *Byulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo tsentra Sibirskogo otdeleniya Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk*. 2005; (8): 133–8. (in Russian)
16. Dyakovich M.P., Shevchenko O.I. Medical-psychological consequences of exposure to fire factors among the fire fighters-liquidators at the company «Irkutskcable». *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2008; (1): 29–35. (in Russian)
17. Smilovenko O.O., Kurlovich I.G. Increasing of the occupational safety of firefighter-rescuer. *Vestnik Universiteta grazhdanskoy zashchity MChS Belarusi*. 2017; 1(4): 459–67. (in Russian)
18. Valitova N.E., Khayretdinov I.A. The influence of stress factors on fire protection employees' job performance. *Neftegazovoe delo*. 2014; 12(1): 168–71. (in Russian)
19. Koshkarov V.S., Troshunin A.V. The influence of stress factors on the psyche of firefighters. In: «*Topical Issues of Modern Psychology: Materials of the 1 International Scientific Conference [Aktual'nye voprosy sovremennoy psikhologii: materialy I mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii]*». Chelyabinsk; 2011: 53–5. (in Russian)
20. Samokhvalov I.M., Zachinyaev G.V., Andryukov B.G., Golovko K.P., Apchel V.Ya. Endocrine stress response dynamics in the surgery for calculous cholecystitis. *Vestnik Rossiyskoy voenno-meditsinskoy akademii*. 2013; (3): 38–42. (in Russian)
21. Kovalev G.I., Vasil'eva E.V., Salimov R.M. Comparison of mouse behavior in the open field, closed and elevated cross-maze tests by the use of factor analysis. *Zhurnal vysshey nervnoy deyatel'nosti im. I.P. Pavlova*. 2019; 69(1): 123–30. <https://doi.org/10.1134/S0044467719010064> (in Russian)
22. Anfilova M.G., Dodonova S.A., Alferova M.E., Tenkova A.N., Vorvul A.O., Muzaleva Yu.A., et al. Studying the features of the Porsolt test and its modifications in preclinical studies of antidepressant and adaptogenic agents. In: *Materials of the Ninth International Remote Scientific Conference Dedicated to the 83rd Anniversary of Kursk State Medical University «Innovations in Medicine» [Materialy devyatoy mezhdunarodnoy distantsionnoy nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy 83-letiyu Kurskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta «Innovatsii v meditsine»]*. Kursk; 2018: 7–12. (in Russian)
23. Chayka A.V., Konoshenko E.V., Khusainov D.R., Shakhmatova V.I., Mozharovskaya I.A., Cheretaev I.V. Forced swim test as a longitude method of assessment the dynamics of the emotional state of rats in the model of chronic unpredictable mild stress. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta im. V.I. Vernadskogo. Biologiya. Khimiya*. 2018; 4(2): 133–47. (in Russian)
24. Gorlova A.V., Pavlov D.A., Ushakova V.M., Zubkov E.A., Morozova A.Yu., Inozemtsev A.N., et al. Dynamics of the development of depressive-like state in rats stressed by chronic exposure of ultrasound of variable frequency. *Byulleten' eksperimental'noy biologii i meditsiny*. 2017; 163(3): 296–8. (in Russian)