

ПАТОЛОГИЯ ЖИВОТНЫХ, МОРФОЛОГИЯ, ФИЗИОЛОГИЯ, ФАРМАКОЛОГИЯ И ТОКСИКОЛОГИЯ

ANIMAL PATHOLOGY, MORPHOLOGY, PHYSIOLOGY, PHARMACOLOGY AND TOXICOLOGY



УДК: 616-092.9:59.085

<https://doi.org/10.23947/2949-4826-2025-24-4-63-73>

Оригинальное эмпирическое исследование

**Эффективность моделирования окислительного стресса у крыс
воздействием шума в сравнении с гипертермией и магнитным полем**
Н.В. Симонова¹ , И.Ю. Саяпина² , М.А. Штарберг² , А.П. Лашин³ ,
Н.М. Мандро³, З.А. Литвинова³

¹ Калужский государственный университет имени К.Э. Циолковского, г. Калуга, Российская Федерация

² Амурская государственная медицинская академия, г. Благовещенск, Российская Федерация

³ Дальневосточный государственный аграрный университет, г. Благовещенск, Российская Федерация

✉ simonova.agma@yandex.ru



EDN: TLSDXJ

Аннотация

Введение. Экспериментальная модель создания необходимых патологических процессов в условиях *in vivo* является важным элементом при планировании научных исследований. Многочисленными сериями экспериментов была показана состоятельность моделирования окислительного стресса воздействием гипертермии, магнитного поля, шума на лабораторных крыс. Вопрос о преимуществах моделирования стресс-реакции конкретным прооксидантным фактором стал основанием для проведения настоящего эксперимента ввиду необходимости формирования надежной ответной реакции в различные временные интервалы со статистически значимым изменением параметров прооксидантной/антиоксидантной системы. Цель исследования — сравнительная оценка влияния шума, гипертермии и магнитного поля на интенсивность процессов липопероксидации у крыс.

Материалы и методы. Исследование проведено в научно-исследовательской лаборатории Амурской медакадемии в 2023–2024 гг. В эксперименте участвовало 120 белых крыс, которых разделили на четыре равные по численности группы. В первой группе (интактная) животных не подвергали каким-либо воздействиям; во второй группе (подопытная 1) животных подвергали гипертермии; в третьей группе (подопытная 2) — воздействию магнитного поля; в четвертой группе (подопытная 3) – воздействию шума. На 7, 14, 21-й дни эксперимента крыс декапитировали (по 10 голов из каждой группы) и производили забор крови для анализа. Определение маркеров окислительного стресса проводили по общепринятым методикам, результаты анализировали с применением критерия Манна-Уитни и Краскела-Уоллиса. Во всех процедурах оценки критический уровень значимости принимался равным 0,05.

Результаты исследования. Статистически значимые преимущества по влиянию на степень накопления диеновых конъюгатов зарегистрированы у модели шумового влияния над магнитным полем ($p=0,000005$, 14-й и 21-й дни) и гипертермией ($p=0,002039$, 14-й день; $p=0,001837$, 21-й день). Что касается малонового диальдегида, шумовое воздействие превзошло гипертермию к концу опыта ($p=0,000561$).

Обозначены преимущества шумовой модели в отношении церулоплазмина над гипертермией ($p=0,0167980$, 7-й день; $p=0,004813$, 21-й день) и магнитным полем ($p=0,000005$ во все контрольные точки); в отношении витамина Е – над магнитным полем ($p=0,000006$, 21-й день).

Обсуждение и заключение. Установлены значимые преимущества модели шумового воздействия над гипертермией и магнитным полем в плане моделирования окислительного стресса и характерных изменений компонентов прооксидантной/антиоксидантной системы. В отличие от температурного воздействия и магнитной нагрузки, под влиянием шума у лабораторных животных формируются статистически значимые отклонения маркеров окислительного стресса к концу первой, второй и третьей недель экспериментального воздействия. В дальнейшем предполагается изучение влияния акустической нагрузки на адаптационный потенциал теплокровного организма с целью апробации потенциальных фармакокорректоров негативного воздействия шума.

Ключевые слова: моделирование, окислительный стресс, шумовое воздействие, гипертермия, магнитное поле, перекисное окисление липидов, антиоксидантный статус, крысы

Декларация о соблюдении принципов Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов и других научных целей: авторы заявляют, что все проведенные исследования соответствовали принципам конвенции и правилам надлежащей лабораторной практики.

Для цитирования. Симонова Н.В., Саяпина И.Ю., Штарберг М.А., Лашин А.П., Мандро Н.М., Литвинова З.А. Эффективность моделирования окислительного стресса у крыс воздействием шума в сравнении с гипертермией и магнитным полем. *Ветеринарная патология*. 2025;24(4):64–73. <https://doi.org/10.23947/2949-4826-2025-24-4-63-73>

Original Empirical Research

The Efficiency of Modeling Oxidative Stress in Rats by Exposure to Noise Compared to Exposure to Hyperthermia or Magnetic Field

Natalya V. Simonova¹  , Irina Yu. Sayapina²  , Mikhail A. Shtarberg²  , Anton P. Lashin³  ,

Nikolay M. Mandro³, Zoya A. Litvinova³

¹ Kaluga State University Named after K.E. Tsiolkovski, Kaluga, Russian Federation

²Amur State Medical Academy, Blagoveshchensk, Russian Federation

³Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk, Russian Federation

 simonova.agma@yandex.ru

Abstract

Introduction. *In vivo* model for experimental creation of the necessary pathological processes is an important element of scientific research planning. Numerous series of experiments have demonstrated the relevance of modeling oxidative stress in laboratory rats by exposure to hyperthermia, magnetic field and noise. The problem of finding the advantages of each particular prooxidant factor in modeling stress response underlies the current experiment, and its expediency is induced by the need to generate a robust response of the prooxidant/antioxidant system, with statistically significant changes of its parameters, at various periods of time. The study aims at conducting a comparative assessment of the effect of noise, hyperthermia, and magnetic field on the intensity of lipid peroxidation processes in rats.

Materials and Methods. The study was conducted at the Research Laboratory of Amur Medical Academy in 2023–2024. The experiment involved 120 white rats divided into four equal in number groups. The animals in the first group (intact) were not subjected to any impacts; the animals in the second group (experimental group 1) were subjected to hyperthermia; the animals in the third group (experimental group 2) were exposed to magnetic field; and the animals in the fourth group (experimental group 3) were exposed to noise. On 7th, 14th, and 21st days of the experiment the rats were decapitated (10 animals from each group) and their blood was sampled for analysis. Oxidative stress markers were determined using the standard techniques; the results were analysed using the Mann-Whitney and Kruskal-Wallis tests. The critical significance level was set to 0.05 for all assessment procedures.

Results. With regard to the influence on the accumulation degree of conjugated dienes, statistically significant advantages of noise model over the magnetic field model were recorded ($p=0.000005$ on 14th and 21st days) and over hyperthermia model ($p=0.002039$ on 14th day; $p=0.001837$ on 21st day). With regard to malondialdehyde, noise exposure surpassed hyperthermia by the end of the experiment ($p=0.000561$). With regard to ceruloplasmin, the advantages of the noise model over hyperthermia model were established ($p=0.0167980$ on 7th day; $p=0.004813$ on 21st day), as well as over the magnetic field model ($p=0.000005$ at all control points). In relation to vitamin E, the noise model advantages over the magnetic field ($p=0.000006$ on 21st day) were revealed.

Discussion and Conclusions. Significant advantages of the noise-exposure model over the hyperthermia- and magnetic-field-exposure ones in modeling the oxidative stress were established, along with the respective changes in prooxidant/antioxidant system components. By the end of the first, second, and third weeks of the experiment, the statistically significant deviation of oxidative stress markers in laboratory animals occurred under exposure to noise, unlike exposure to temperature and magnetic field. In future, studies on the acoustic load influence on the adaptive potential of warm-blooded organisms are planned to probe possible pharmacological medications to negative influence of noise.

Keywords: modeling, oxidative stress, exposure to noise, hyperthermia, magnetic field, lipid peroxidation, antioxidant status, rats

Declaration on Compliance with the Principles of the European Convention for the Protection of Vertebrate Animals Used for Experimental and Other Scientific Purposes: the authors declare that all research was conducted in compliance with the principles of Good Laboratory Practice.

For Citation. Simonova NV, Sayapina IYu, Shtarberg MA, Lashin AP, Mandro NM, Litvinova ZA. The Efficiency of Modeling Oxidative Stress in Rats by Exposure to Noise Compared to Exposure to Hyperthermia or Magnetic Field. *Russian Journal of Veterinary Pathology*. 2025;24(4):64–73. <https://doi.org/10.23947/2949-4826-2025-24-4-64-73>

Введение. При проведении фармакологических и патофизиологических доклинических исследований перед начинающим специалистом зачастую встает вопрос, связанный с выбором экспериментальной модели индукции необходимых для изучения процессов [1–7]. Инициирование процессов перекисного окисления липидов (ПОЛ) клеточных мембран и последующее формирование окислительного стресса возможно воздействием гипертермии, магнитного поля, шума: данные модели апробировались и отрабатывались в отношении дозы и длительности экспозиции (суточной, курсовой) на кафедре фармакологии Амурской медакадемии на протяжении многих лет [8–10]. Особую актуальность приобретают исследования, посвященные шумовому воздействию на теплокровный организм ввиду ежегодного увеличения интенсивности акустической нагрузки на человека и животных [11–16]. Безусловно, все вышеперечисленные факторы воздействия способны запускать свободнорадикальные реакции, но хотелось бы выяснить сравнительную эффективность различных моделей в проекции конкретных маркеров окислительного стресса и временного диапазона, в течение которого реагируют параметры прооксидантной/антиоксидантной системы на воздействие стресс-факторов. На наш взгляд, надежность в максимально возможных изменениях показателей системы «перекисное окисление липидов/антиоксидантная защита» и наибольший процент вероятности формирования окислительного стресса укажут на преимущества экспериментальной модели и её востребованность на доклиническом этапе исследований.

Цель работы — проанализировать в сравнительном аспекте влияние шума, гипертермии и магнитного поля на интенсивность процессов перекисного окисления липидов биомембран в эксперименте с лабораторными крысами.

Материалы и методы. Эксперимент проведен в 2023–2024 гг. в научно-исследовательской лаборатории Амурской медакадемии (г. Благовещенск) в соответствии с требованиями, предъявляемыми к доклиническим исследованиям, и одобрен локальным этическим комитетом (выписка из протокола № 9 от 07 декабря 2022). Для осуществления опыта использовали 120 белых беспородных крыс-самцов 2–3 месячного возраста массой 200–250 г. Крысы были разделены на четыре равные по численности группы: в первой группе (интактная) животных не подвергали каким-либо воздействиям; во второй группе (подопытная 1)

животных подвергали гипертермии ($+40\pm2^{\circ}\text{C}$ 45 мин/день ежедневно в течение 7, 14, 21 дней); в третьей группе (подопытная 2) животных подвергали воздействию магнитного поля (0,4 миллитесла 180 мин/день ежедневно в течение 7, 14, 21 дней); в четвертой группе (подопытная 3) животных подвергали воздействию шума (95–105 дБ 60 мин/день ежедневно в течение 7, 14, 21 дней). В процессе экспериментальных воздействий летальных случаев зарегистрировано не было.

Крыс декапитировали на 7, 14, 21-й дни эксперимента (по 10 голов из каждой группы), кровь животных собирали в охлажденные пробирки с гепарином, центрифугировали при 3000 об/мин в течение 15 мин, полученную сыворотку крови хранили при температуре -20°C до момента исследования. Интенсивность процессов перекисного окисления липидов оценивали, исследуя содержание в крови крыс: диеновых коньюгатов (по методике И.Д. Стальной), малонового диальдегида (по цветной реакции с тиобарбитуровой кислотой) и основных компонентов антиоксидантной системы (АОС) — церулоплазмина (по методике В.Г. Колба), витамина Е (по методике Р.Ж. Киселевич). В работе использовали спектрофотометр КФК-2МП (Загорский оптико-механический завод, Россия), спектрофотометр UNICO (United Products & Instruments, США), фотоэлектроколориметр Solar PV 1251 С (ЗАО «СОЛАР», Беларусь).

Статистическую обработку результатов проводили с помощью программы Microsoft Excel 2016 (Microsoft) и пакета прикладных программ Statisticav.10.0 (Statsoft Inc., США). Количественные показатели были проанализированы на предмет соответствия нормальному распределению с помощью критерия Шапиро-Уилка (количество животных в группах $n < 50$). На основе выполненного количественного анализа и графического изображения гистограмм частот было установлено, что преобладающая часть количественных данных не соответствовала нормальному типу распределения, поэтому результаты описывались с помощью расчета медианы (Мe), нижнего и верхнего квартиля ($Q_1; Q_3$). Межгрупповое сравнение по количественному показателю проводили с помощью U-критерия Манна-Уитни; статистическую значимость внутригрупповых изменений показателей в динамике — с помощью критерия Вилкоксона; для сравнения значений более чем в двух выборках и с учетом ненормального типа распределения количественных данных использовали не-

параметрическую альтернативу одномерному (межгрупповому) дисперсионному анализу — критерий Краскела-Уоллиса. Во всех процедурах оценки критический уровень значимости принимался равным 0,05.

Результаты исследования. Установлено, что воздействие шума, магнитного поля и гипертермии запускает в организме однонаправленные неспецифические процессы, связанные с повышением интенсивности свободнорадикального (перекисного) окисления липидов биомембран и формированием окислительного стресса, на что указывает накопление продуктов ПОЛ в плазме крови подопытных крыс. В частности, концентрация диеновых конъюгатов (таблица 1) на фоне экспериментальных воздействий статистически значимо выросла относительно интактных животных: к концу первой недели опыта на 23 % (гипертермия, $p < 0,05$) и 39 % (шум, $p < 0,05$) на фоне тенденции к увеличению показателя под влиянием магнитного поля (на 13 %); к концу второй недели уровень первичного продукта пероксидации достоверно увеличился

на 27 % (гипертермия), 16 % (магнитное поле), 49 % (шум, $p < 0,05$); к концу третьей недели — на 31, 17 и 58 % соответственно ($p < 0,05$). В целом, по влиянию на индукцию диеновой конъюгации липидов экспериментальные воздействия можно расположить в следующей убывающей последовательности: шум > гипертермия > магнитное поле.

Вторичный продукт липопероксидации — малоновый диальдегид (МДА) — реагировал на воздействия изучаемых факторов статистически значимым повышением в сравнении с интактной группой во все контрольные временные точки (таблица 2): на 7-й день опыта МДА вырос на 37 % (гипертермия), 45 % (магнитное поле), 53 % (шум) ($p < 0,05$); на 14-й день — на 40, 49 и 47 % соответственно ($p < 0,05$); на 21-й — на 29, 44 и 61 % ($p < 0,05$). Это позволяет расположить экспериментальные воздействия по эффективности модели следующим образом: шум > магнитное поле > гипертермия.

Таблица 1

Влияние шума, магнитного поля и высоких температур на концентрацию диеновых конъюгатов в плазме крови подопытных и интактных крыс (нмоль/мл, Me [Q₁; Q₃])

Группы животных	Дни опыта		
	7-й	14-й	21-й
Интактная, n = 30	36,0 [35,5; 36,2]	35,6 [35,0; 35,9]	36,0 [35,8; 36,2]
Высокие температуры, n = 30	44,2 * [44,0; 44,6]	45,1 * [44,0; 45,5]	47,1 * [46,9; 47,5]
Магнитное поле, n = 30	40,6 * [40,2; 41,0]	41,4 * [40,9; 42,0]	42,1 * [41,8; 42,7]
Шумовое воздействие, n = 30	49,9 * [49,5; 50,3]	53,2 * [53,0; 53,5]	57,0 **/*** [56,6; 57,8]

Примечание: здесь и в таблицах 2, 4, 5:

* $p < 0,05$, по сравнению с интактными животными в аналогичный день опыта (по критерию Манна-Уитни);

** $p < 0,05$, по сравнению с животными на 7-й день опыта (по критерию Вилкоксона)

Таблица 2

Влияние шума, магнитного поля и высоких температур на концентрацию малонового диальдегида в плазме крови подопытных и интактных крыс (нмоль/мл, Me [Q₁; Q₃])

Группы животных	Дни опыта		
	7-й	14-й	21-й
Интактная, n = 30	3,8 [3,7; 4,0]	4,3 [4,2; 4,5]	4,1 [3,9; 4,4]
Высокие температуры, n = 30	5,2 * [5,0; 5,5]	6,0 **/*** [5,9; 6,1]	5,3 * [5,0; 5,5]
Магнитное поле, n = 30	5,5 * [5,3; 5,8]	6,4 **/*** [6,2; 6,6]	5,9 * [5,7; 6,0]
Шумовое воздействие, n = 30	5,8 * [5,7; 6,0]	6,3 **/*** [6,0; 6,5]	6,6 **/*** [6,4; 7,0]

Таким образом, все апробируемые экспериментальные воздействия являются рабочими в плане повышения уровня маркеров окислительного стресса. При этом магнитное поле более выраженно способствует накоплению вторичного продукта ПОЛ, гипертермия — первичного, на фоне стабильной более выраженной эффективности моделирования стресса воздействием шума, что было подтверждено результатами рангового дисперсионного анализа Краскела-Уоллиса (таблица 3): во все контрольные точки

получены статистически значимые изменения дисеновых коньюгатов и малонового диальдегида у крыс, подвергнутых шумовой нагрузке, в сравнении с интактными животными. При этом зарегистрированы статистически значимые преимущества модели шумового влияния над магнитным полем ($p=0,000005$, 14-й и 21-й дни) и гипертермией ($p=0,002039$, 14-й день; $p=0,001837$, 21-й день) по уровню дисеновых коньюгатов; по МДА шумовое воздействие превзошло гипертермию к концу опыта ($p=0,000561$).

Таблица 3

Результаты рангового дисперсионного анализа Краскела-Уоллиса и двусторонние значения p для множественных сравнений концентрации продуктов липопероксидации в плазме крови крыс при воздействии гипертермии, магнитного поля, шума

Дни опыта	Группы	Ранг (среднее)	Интактная	Гипертермия	Магнитное поле	Шум
			р (двусторонние)			
Дисеновые коньюгаты						
<u>7-й</u>	<u>Интактная</u>	5,5000		0,156675	1,000000	0,000645
	<u>Гипертермия</u>	25,500	0,156675		1,000000	1,000000
	<u>Магнитное поле</u>	15,500	1,000000	1,000000		0,074218
	<u>Шум</u>	37,450	0,000645	1,000000	0,074218	
<u>14-й</u>	<u>Интактная</u>	5,5000		0,156675	1,000000	0,000000
	<u>Гипертермия</u>	25,500	0,156675		1,000000	0,002039
	<u>Магнитное поле</u>	15,500	1,000000	1,000000		0,000005
	<u>Шум</u>	55,300	0,000000	0,002039	0,000005	
<u>21-й</u>	<u>Интактная</u>	5,5000		0,156675	1,000000	0,000000
	<u>Гипертермия</u>	25,500	0,156675		1,000000	0,001837
	<u>Магнитное поле</u>	15,500	1,000000	1,000000		0,000005
	<u>Шум</u>	55,500	0,000000	0,001837	0,000005	
Малоновый диальдегид						
<u>7-й</u>	<u>Интактная</u>	5,5000		1,000000	0,054836	0,000531
	<u>Гипертермия</u>	18,350	1,000000		1,000000	0,191444
	<u>Магнитное поле</u>	28,200	0,054836	1,000000		1,000000
	<u>Шум</u>	37,800	0,000531	0,191444	1,000000	
<u>14-й</u>	<u>Интактная</u>	5,5000		0,598197	0,004150	0,016423
	<u>Гипертермия</u>	21,550	0,598197		1,000000	1,000000
	<u>Магнитное поле</u>	33,900	0,004150	1,000000		1,000000
	<u>Шум</u>	31,000	0,016423	1,000000	1,000000	
<u>21-й</u>	<u>Интактная</u>	5,5000		1,000000	0,009442	0,000000
	<u>Гипертермия</u>	18,100	1,000000		1,000000	0,000561
	<u>Магнитное поле</u>	32,200	0,009442	1,000000		0,307174
	<u>Шум</u>	50,300	0,000000	0,000561	0,307174	

Антиоксидантная система снизила свою активность в ответ на воздействие прооксидантных факторов, в частности, уровень церулоплазмина в плазме крови подопытных крыс (таблица 4) достоверно уменьшился на 31 % (гипертермия), 16 % (магнитное поле), 39 % (шум) к концу первой недели экспериментальных воздействий ($p < 0,05$); на 33, 15 и 42 % соответственно — к концу второй недели ($p < 0,05$); на 27, 16 и 50 % — к концу третьей ($p < 0,05$).

На этом фоне концентрация витамина Е (таблица 5) под влиянием магнитного поля была статистически значимо ниже лишь к концу эксперимента; шума — на 14-й (17 %, $p < 0,05$) и 21-й день (31 %, $p < 0,05$);

гипертермии — на 7-й (28 %, $p < 0,05$), 14-й (30 %, $p < 0,05$) и 21-й день (29 %, $p < 0,05$).

Таким образом, церулоплазмин более выраженно реагирует при моделировании окислительного стресса акустической нагрузкой (шум > гипертермия > магнитное поле), витамин Е — температурной (гипертермия > шум > магнитное поле). Это отразилось в целом на результатах рангового дисперсионного анализа (таблица 6), которые подтвердили преимущества в отношении церулоплазмина шумовой модели над гипертермией ($p=0,0167980$, 7-й день; $p=0,004813$, 21-й день) и магнитным полем ($p=0,000005$ во все контрольные точки), в отношении витамина Е — над магнитным полем ($p=0,000006$, 21-й день).

Таблица 4

Влияние шума, магнитного поля и высоких температур на концентрацию церулоплазмина в плазме крови подопытных и интактных крыс (мкг/мл, Me [Q₁;Q₃])

Группы животных	Дни опыта		
	7-й	14-й	21-й
Интактная, n = 30	25,9 [25,8; 26,2]	26,0 [25,8; 26,5]	26,0 [25,6; 26,4]
Высокие температуры, n = 30	18,0 * [17,8; 18,2]	17,3 * [16,9; 18,0]	19,0 * [18,8; 19,1]
Магнитное поле, n = 30	21,8 * [21,5; 22,1]	22,1 * [21,5; 22,4]	21,9 * [21,4; 22,0]
Шумовое воздействие, n = 30	15,7 * [15,5; 16,0]	15,0 * [14,6; 15,3]	13,0 * [12,9; 13,4]

Таблица 5

Влияние шума, магнитного поля и высоких температур на концентрацию витамина Е в плазме крови подопытных и интактных крыс (мкг/мл, Me [Q₁;Q₃])

Группы животных	Дни опыта		
	7-й	14-й	21-й
Интактная, n = 30	45,9 [45,5; 46,2]	45,8 [45,3; 46,2]	45,8 [45,4; 46,3]
Высокие температуры, n = 30	33,2 * [32,8; 33,9]	32,2 * [31,8; 32,6]	32,9 * [32,8; 33,8]
Магнитное поле, n = 30	42,1 [42,0; 42,6]	43,4 [43,1; 43,8]	41,1 * [40,8; 41,3]
Шумовое воздействие, n = 30	41,2 * [40,8; 41,5]	38,0 * [37,5; 38,2]	31,6 ** [31,2; 32,0]

Таблица 6

Результаты рангового дисперсионного анализа Краскела-Уоллиса и двусторонние значения р для множественных сравнений концентрации компонентов антиоксидантной системы в плазме крови крыс при воздействии гипертермии, магнитного поля, шума

Дни опыта	Группы	Ранг (среднее)	Интактная	Гипертермия	Магнитное поле	Шум
			р (двусторонние)			
Церулоплазмин						
<u>7-й</u>	Интактная	55,500		0,025058	1,000000	0,000000
	Гипертермия	30,950	0,025058		0,937068	0,016798
	Магнитное поле	45,500	1,000000	0,937068		0,000005
	Шум	5,5000	0,000000	0,016798	0,000005	
<u>14-й</u>	Интактная	55,500		0,007813	1,000000	0,000000
	Гипертермия	28,400	0,007813		0,428483	0,050511
	Магнитное поле	45,500	1,000000	0,428483		0,000005
	Шум	5,5000	0,000000	0,050511	0,000005	
<u>21-й</u>	Интактная	55,500		0,075708	1,000000	0,000000
	Гипертермия	33,600	0,075708		1,000000	0,004813
	Магнитное поле	45,500	1,000000	1,000000		0,000005
	Шум	5,5000	0,000000	0,004813	0,000005	
Витамин Е						
<u>7-й</u>	Интактная	55,500		0,000005	1,000000	0,162544
	Гипертермия	15,500	0,000005		0,001935	0,150995
	Магнитное поле	45,400	1,000000	0,001935		1,000000
	Шум	35,600	0,162544	0,150995	1,000000	
<u>14-й</u>	Интактная	55,500		0,000000	1,000000	0,103517
	Гипертермия	11,800	0,000000		0,000240	0,057122
	Магнитное поле	45,500	1,000000	0,000240		1,000000
	Шум	34,400	0,103517	0,057122	1,000000	
<u>21-й</u>	Интактная	55,500		0,000379	1,000000	0,000000
	Гипертермия	22,600	0,000379		0,050511	0,503283
	Магнитное поле	45,500	1,000000	0,050511		0,000006
	Шум	6,0000	0,000000	0,503283	0,000006	

Обсуждение и заключение. Учитывая совокупность фактов, включающих изменения компонентов прооксидантной/антиоксидантной системы при воздействии различных стресс-факторов, значимые преимущества в плане моделирования окислительного стресса установлены в модели шумового воздействия, превосходящие по степени индукции процессов ПОЛ модели гипертермии и магнитной нагрузки. Важно, что во все контрольные временные точки модель акустической нагрузки запускала в теплокровном организме каскад реакций, направленных на повышение интенсивности процессов пероксидации. Объяснением данному факту может служить определение мишенией для шумового воздействия: в единичных публикациях указано, что на

биологические мембранны, и в частности на белки клеточных мембран, нацелено действие звуковых волн [17]. В результате воздействия шума меняются конформационно-функциональные свойства интегральных и поверхностных белков, что прежде всего сказывается на клеточной проницаемости и катионно-анионном дисбалансе со всеми вытекающими последствиями [18]. Важно учитывать в данных условиях развитие мембранный энзимопатии, сопутствующей увеличению интенсивности процессов свободнорадикального (перекисного) окисления липидов, являющихся ключевой структурой белково-липидного кластера биомембран. Как камень, падающий с вершины горы, повышение интенсивности вышеперечисленных реакций тянет за собой це-

лый каскад процессов, связанных с перегрузкой эндогенных антиоксидантов. Именно поэтому истощается резерв эндогенной антиоксидантной системы, снижение активности основных компонентов которой было подтверждено настоящим исследованием.

Таким образом, моделирование окислительного стресса в организме лабораторных животных влиянием шума подтвердило свою эффективность, базиру-

ющуюся на выраженных изменениях параметров антиоксидантного статуса к концу первой, второй и третьей недель экспериментального воздействия. Проведенное исследование предполагает дальнейшее изучение влияния акустической нагрузки на адаптационный потенциал теплокровного организма с целью апробации потенциальных фармакокорректоров негативного воздействия шума.

Список литературы/References

1. Косолапов В.А., Трегубова И.А. Моделирование стресса в эксперименте. *Лекарственный вестник*. 2022;23(2(86)):17–19.
Kosolapov VA, Tregubova IA. Modeling Stress in an Experiment. *Lekarstvennyi vestnik (Medicinal Bulletin)*. 2022;23(2(86)):17–19. (In Russ.)
2. Ганапольский В.П., Агафонов П.В., Матыцын В.О. Моделирование холода-стрессовой дезадаптации у крыс с целью разработки методов ее фармакологической коррекции. *Российские биомедицинские исследования*. 2022;7(1):3–15. <https://doi.org/10.56871/2489.2022.64.64.001>
Ganapolsky VP, Agafonov PV, Matytsyn VO. Modeling of Cold-Stress Disadaptation in Rats to Develop Methods for Its Pharmacological Correction. *Russian Biomedical Research*. 2022;7(1):3–15. (In Russ.) <https://doi.org/10.56871/2489.2022.64.64.001>
3. Pirotta E, Thomas L, Costa DP, Hall AJ, Harris CM, Harwood J. Understanding the Combined Effects of Multiple Stressors: A New Perspective on a Longstanding Challenge. *Science of the Total Environment*. 2022;821:153322. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153322>
4. Деев Р.В., Билялов А.И., Жампесов Т.М. Современные представления о клеточной гибели. *Гены и клетки*. 2018;1(13):6–19. <https://doi.org/10.23868/201805001>
Deev RV, Bilyalov AI, Zhampesov T.M. Modern ideas about cell death. *Genes and Cells*. 2018;1(13):6–19. (In Russ.) <https://doi.org/10.23868/201805001>
5. Semenza GL. Pharmacologic Targeting of Hypoxia-Inducible Factors. *Annual Review of Pharmacology and Toxicology*. 2019;1(59):379–403. <https://doi.org/10.1146/annurev-pharmtox-010818-021637>
6. Foster J, Hodder SG, Lloyd AB, Havenith G. Individual Responses to Heat Stress: Implications for Hyperthermia and Physical Work Capacity. *Frontiers in Physiology*. 2020;11:541483. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.541483>
7. Рапиев Р.А., Маннапова Р.Т. Биохимический статус организма животных как компенсаторно-регуляторная реакция на фоне действия стресса. *Фундаментальные исследования*. 2013;(10–12):2663–2666.
Rapiev R.A., Mannanova R.T. Biochemical status of the animal body as a compensatory-regulatory reaction against the background of stress. *Basic research*. 2013;10–12:2663–2666. (In Russ.)
8. Симонова Н.В., Доровских В.А., Ли О.Н. и др. Коррекция окислительного стресса природными антиоксидантами. *Бюллетень физиологии и патологии дыхания*. 2014;(53):84–88.
Simonova NV, Dorovskikh VA, Lee ON, Anokhina RA, Shtarberg MA., Simonova NP. Correction of Oxidative Stress by Natural Antioxidants. *Bulletin of Physiology and Pathology of Respiration*. 2014;53:84–88. (In Russ.)
9. Лашин А.П., Симонова Н.В. Фитопрепараты в коррекции окислительного стресса у телят. *Дальневосточный аграрный вестник*. 2017;(4(44)):131–135.
Lashin AP, Simonova NV. Phytopreparations in Correction of Oxidative Stress in Calves. *Far Eastern Agrarian Journal*. 2017;4(44):131–135. (In Russ.)
10. Затворницкий В.А., Симонова Н.В., Штарберг М.А., Терещенко Т.А., Гуляева А.С. Защитные эффекты реамберина при шумовом воздействии в эксперименте. *Экспериментальная и клиническая фармакология*. 2024;87(1):25–30. <https://doi.org/10.30906/0869-2092-2024-87-01-25-30>
Zatvornitsky VA., Simonova NV, Shtarberg MA, Tereshchenko TA, Gulyaeva AS. Protective Effects of Reamberin under Noise Exposure in the Experiment. *Ehksperimentalnaya i klinicheskaya farmakologiya (Experimental and Clinical Pharmacology)*. 2024;87(1):25–30. (In Russ.) <https://doi.org/10.30906/0869-2092-2024-87-01-25-30>
11. Зайнуллина А.З., Нестерова О.В., Бирюкова Н.В. Факторы риска и профилактика шумового воздействия на организм человека. *Тенденции развития науки и образования*. 2021;(74–1):69–74. <https://doi.org/10.18411/lj-06-2021-14>
Zainullina AZ, Nesterova OV, Biryukova NV. Risk Factors and Prevention of Noise Exposure on the Human Body. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya (Trends in the development of science and education)*. 2021;(74–1):69–74. (In Russ.) <https://doi.org/10.18411/lj-06-2021-14>

12. Рахимгулова Р.И. Воздействие шума на организм человека. В: *Сборник материалов XII Международной научно-практической конференции «Экология и природопользование»*; 2022. С. 221–225.
- Rakhimgulova RI. The Impact of Noise on the Human Body. In: Proceedings of the XII International Scientific and Practical Conference "Ecology and Nature Management". 2022; P. 221–225. (In Russ.)
13. Lim J, Kweon K, Kim HW, Cho SW, Park J, Sim CS. Negative Impact of Noise and Noise Sensitivity on Mental Health in Childhood. *Noise Health*. 2018;20(96):199–211. https://doi.org/10.4103/nah.NAH_9_18
14. Liu Y, Yan Sh, Zou L, Wen J, Fu W. Noise Exposure and Risk of Myocardial Infarction Incidence and Mortality: A Dose-Response Meta-Analysis. *Environmental Science and Pollution Research*. 2022;29(31):46458–46470. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-20377-w>
15. Radosz J. Effects of Tonal Noise on Workers' Annoyance and Performance. *Noise and Health*. 2021;23(111):117–127. https://doi.org/10.4103/nah.NAH_28_20
16. Zaman M, Muslim M, Jehangir A. Environmental Noise-Induced Cardiovascular, Metabolic and Mental Health Disorders: A Brief Review. *Environmental Science and Pollution Research Int.* 2022;29:76485–76500. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22351-y>
17. Адибаев Б.М., Алмабаева Н.М., Ахсанова О. Влияние звуковых волн на организм. *Вестник Казахского национального медицинского университета*. 2018;(1):262–263.
- Adibaev BM, Almabayeva NM, Akhsanova O. Influence of Sound-Waves on an Organism. *Vestnik KAZNMU (Bulletin of the Kazakh National Medical University)*. 2018;(1):262–263. (In Russ.)
18. Торкунова О.В. Холинергическая регуляция нарушений функций центральной нервной системы вследствие воздействия низкочастотных акустических колебаний. Диссертация кандидата биологических наук. Санкт-Петербург; 2019.
- Torkunova OV. Cholinergic Regulation of Central Nervous System Dysfunctions due to Exposure to Low-Frequency Acoustic Vibrations. Cand.Sci. (Biology) Dissertation. St. Petersburg; 2019. (In Russ.)

Об авторах:

Наталья Владимировна Симонова, доктор биологических наук, профессор кафедры медико-биологических дисциплин Калужского государственного университета им. К.Э. Циолковского (248023, Российская Федерация, г. Калуга, ул. Степана Разина, д. 26), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [Scopus ID](#), simonova.agma@yandex.ru

Ирина Юрьевна Саяпина, доктор биологических наук, зав. кафедрой гистологии и биологии Амурской государственной медицинской академии (675006, Российская Федерация, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Горького, д. 95), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [Researcher ID](#), [Scopus ID](#), sayapina_agma@mail.ru

Михаил Анатольевич Штарберг, кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник центральной научно-исследовательской лаборатории Амурской государственной медицинской академии (675006, Российская Федерация, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Горького, д. 95), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [Scopus ID](#), shtarberg@mail.ru

Антон Павлович Лашин, доктор биологических наук, профессор кафедры патологии, морфологии и физиологии Дальневосточного государственного аграрного университета (675005, Российская Федерация, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Кузнецкая, д. 91), [SPIN-код](#), [ORCID](#), [Scopus ID](#), ant.lashin@yandex.ru

Николай Михайлович Мандро, доктор ветеринарных наук, профессор кафедры ветеринарно-санитарной экспертизы, эпизоотологии и микробиологии Дальневосточного государственного аграрного университета (675005, Российская Федерация, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Кузнецкая, д. 91), [SPIN-код](#), [Scopus ID](#), vseeim@dalgau.ru

Зоя Александровна Литвинова, доктор ветеринарных наук, профессор кафедры ветеринарно-санитарной экспертизы, эпизоотологии и микробиологии Дальневосточного государственного аграрного университета (675005, Российская Федерация, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Кузнецкая, д. 91), [SPIN-код](#), [Researcher ID](#), [Scopus ID](#), vseeim@dalgau.ru

Заявленный вклад авторов:

Н.В. Симонова: научное руководство, формирование основной концепции, цели исследования, анализ результатов исследований, формирование выводов, подготовка и доработка текста.

И.Ю. Саяпина: помочь в доработке текста.

М.А. Штарберг: сбор и обработка материала.

А.П. Лашин: анализ результатов исследований, подготовка текста.

Н.М. Мандро: помочь в доработке текста.

З.А. Литвинова: помочь в доработке текста.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Natalya V. Simonova, Dr.Sci. (Biology), Professor of the Medical and Biological Disciplines Department, Kaluga State University Named after K.E. Tsiolkovski (26, Stepana Razina Str. 248023, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), [Scopus ID](#), simonova.agma@yandex.ru

Irina Yu. Sayapina, Dr.Sci. (Biology), Head of the Histology and Biology Department, Amur State Medical Academy (95, Gorky Str., Blagoveshchensk, Amur Region, 675006, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), [Researcher ID](#), [Scopus ID](#), sayapina_agma@mail.ru

Mikhail A. Shtarberg, Cand.Sci. (Medicine), Senior Research Associate at the Central Research Laboratory, Amur State Medical Academy (95, Gorky Str., Blagoveshchensk, Amur Region, 675006, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), [Scopus ID](#), shtarberg@mail.ru

Anton P. Lashin, Dr.Sci. (Biology), Professor of the Pathology, Morphology and Physiology Department, Far Eastern State Agrarian University (91, Kuznechnaya Str., Blagoveshchensk, Amur Region, 675005, Russian Federation), [SPIN-code](#), [ORCID](#), [Scopus ID](#), ant.lashin@yandex.ru

Nikolay M. Mandro, Dr.Sci. (Veterinary), Professor of the Veterinary and Sanitary Expertise, Epizootiology and Microbiology Department, Far Eastern State Agrarian University (91, Kuznechnaya Str., Blagoveshchensk, Amur Region, 675005, Russian Federation), [SPIN-code](#), [Scopus ID](#), vseeim@dalgau.ru

Zoya A. Litvinova, Dr.Sci. (Veterinary), Professor of the Veterinary and Sanitary Expertise, Epizootiology and Microbiology Department, Far Eastern State Agrarian University (91, Kuznechnaya Str., Blagoveshchensk, Amur Region, 675005, Russian Federation), [SPIN-code](#), [Researcher ID](#), [Scopus ID](#), vseeim@dalgau.ru

Claimed Contributorship:

NV Simonova: scientific supervision, formulating the main concept, aim and objectives of the research, analysis of research results, formulating the conclusions, preparing and refining the text

IYu Sayapina: assistance in text refining.

MA Shtarberg: collecting and processing the materials.

AP Lashin: analysis of research results, preparing the text

NM Mandro: assistance in text refining.

ZA Litvinova: assistance in text refining.

Conflict of Interest Statement: the authors declare no conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.

Поступила в редакцию / Received 21.10.2025

Поступила после рецензирования / Reviewed 20.11.2025

Принята к публикации / Accepted 24.11.2025