

Крийт В.Е.<sup>1</sup>, Сладкова Ю.Н.<sup>1</sup>, Санников М.В.<sup>2</sup>, Пятибрат А.О.<sup>3</sup>

## Основные показатели гомеостаза у млекопитающих после гипертермического воздействия

<sup>1</sup>ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья», 191036, Санкт-Петербург, Россия;<sup>2</sup>ФГБУ «Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины имени А.М. Никифорова» Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 194044, Санкт-Петербург, Россия;<sup>3</sup>ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет», 194100, Санкт-Петербург, Россия

**Введение.** Профессия пожарных характеризуется воздействием как опасных факторов пожара, так и комплекса вредных и опасных факторов различной природы, многократно превышающих нормативные значения. Высокая температура воздуха характерна практически для всех видов пожара и является одним из основных неблагоприятных физических факторов, оказывающих воздействие на организм пожарных. Ведущее значение в изучении экстремальных факторов пожара, к которым относится гипертермическое воздействие, имеют экспериментальные модели на животных. **Материалы и методы.** Исследование выполнено на 124 беспородных белых крысах-самцах 3-месячного возраста массой 250–300 г, разделённых произвольно на 2 группы: первая группа (62 крысы) подвергалась однократной гипертермической нагрузке, вторая группа (62 крысы) подвергалась ежедневной гипертермической нагрузке в течение 14 дней. Изучение основных показателей кислотно-основного состояния и водно-электролитного баланса, биохимического и клинического анализов крови, клеточного и гуморального иммунитета проводилось до и после гипертермического воздействия.

**Результаты.** Полученные данные свидетельствуют, что высокая температура окружающей среды вызывает изменение показателей гомеостаза у лабораторных животных. При этом наблюдаются изменения показателей водно-электролитного баланса, кислотно-основного состояния, клинического и биохимического анализов крови, а также имеются лабораторные признаки изменений системы иммунитета.

**Заключение.** Экспериментальная модель экстремального теплового воздействия на животных показала возникновение и сохранение изменений основных показателей гомеостаза. Отмечено, что в группе однократной гипертермии эти показатели через сутки восстанавливались до фоновых, а в группе многократной гипертермии оставались изменёнными.

**Ключевые слова:** пожарные; опасные факторы пожара; гипертермия; крысы; кровь; показатели гомеостаза

**Для цитирования:** Крийт В.Е., Сладкова Ю.Н., Санников М.В., Пятибрат А.О. Основные показатели гомеостаза у млекопитающих после гипертермического воздействия. *Гигиена и санитария*. 2021; 100(12): 1397–1403. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-12-1397-1403>

**Для корреспонденции:** Крийт Владимир Евгеньевич, канд. хим. наук, рук. отд. комплексной гигиенической оценки физических факторов ФБУН «СЗНЦ гигиены и общественного здоровья», 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; Санников М.В. — 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.

**Заключение комитета по биомедицинской этике:** 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, использующихся для научных целей.

Поступила: 01.07.2021 / Принята к печати: 25.11.2021 / Опубликована: 30.12.2021

Vladimir E. Kriyt<sup>1</sup>, Yuliya N. Sladkova<sup>1</sup>, Maksim V. Sannikov<sup>2</sup>, Aleksandr O. Pyatibrat<sup>3</sup>

## Assessment of changes in the main homeostasis indicators in mammals after hyperthermic exposure

<sup>1</sup>North-West Public Health Research Center, Saint-Petersburg, 191036, Russian Federation;<sup>2</sup>Nikiforov Russian Center for Emergency and Radiation Medicine, Saint-Petersburg, 194044, Russian Federation;<sup>3</sup>St. Petersburg State Pediatric Medical University, Saint-Petersburg, 194100, Russian Federation

**Introduction.** The occupation of firefighters is characterized by the impact of both hazardous fire factors and a complex of harmful and dangerous characteristics of various natures, often exceeding the expected values. High air temperature is typical for almost all types of fire and is one of the main adverse physical factors affecting the body of firefighters. Experimental models on animals are of leading importance in studying extreme fire factors, including hyperthermic exposure.

**Material and methods.** The study was carried out on 124 outbred white male rats of 3 months of age weighing 250–300 g, divided randomly into two groups. The first group (62 rats) was subjected to a single hyperthermic load. The second group (62 rats) was subjected to daily hyperthermic load during 14 days. The study of the leading indicators of the acid-base state and water-electrolyte balance, biochemical and clinical blood tests, cellular and humoral immunity was carried out before and after hyperthermic exposure.

**Results.** The obtained data indicate high ambient temperatures cause changes in homeostasis indices in laboratory animals. At the same time, there are alterations in the indicators of water-electrolyte balance, acid-base state, clinical and biochemical blood tests and the immune system.

**Conclusion.** An experimental model of extreme heat exposure on animals showed the emergence and persistence of changes in the leading indicators of homeostasis. In the group of single hyperthermia, these parameters were restored to the background levels in a day. In the group of multiple hyperthermia, they remained altered.

**Keywords:** firefighters; hazardous factors of fire; hyperthermia; rats; blood; homeostasis indicators

**For citation:** Kriyt V.E., Sladkova Yu.N., Sannikov M.V., Pyatibrat A.O. Assessment of changes in the main homeostasis indicators in mammals after hyperthermic exposure (in a rat model). *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100(12): 1397–1403. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-12-1397-1403> (In Russ.)

**For correspondence:** *Vladimir E. Kriyt*, MD, PhD, head of the Department of Complex Hygienic Assessment of Physical Factors, North-West Public Health Research Center, Saint-Petersburg, 191036, Russian Federation. E-mail: [v.kriit@s-znc.ru](mailto:v.kriit@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>  
Sannikov M.V., <https://orcid.org/0000-0003-3969-9501> 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; *Sannikov M.V.* — 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.

**The conclusion of the committee on biomedical ethics:** 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 N 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.

Received: October 19, 2021 / Accepted: November 25, 2021 / Published: December 30, 2021

## Введение

Специфика профессиональной деятельности пожарных определяется воздействием как опасных факторов пожара, так и комплекса вредных и опасных факторов различной природы, многократно превышающих нормативные значения и обладающих комбинированным и сочетанным действием [1–5]. Считается, что профессия пожарных относится к экстремальным, в которой отмечаются высокие риски расстройств здоровья, травматизма и даже смерти [6–8]. Согласно данным Международной ассоциации пожарных, данная профессия занимает одно из ведущих мест в мире по степени опасности [9].

В соответствии с Федеральным законом от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ<sup>1</sup> к опасным факторам пожара относятся пламя и искры, тепловой поток, повышенная температура окружающей среды, повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения, пониженная концентрация кислорода, а также снижение видимости в дыму, критерием оценки для которых является предельно допустимое значение в течение нормативно установленного времени<sup>2</sup>. По каждому из опасных факторов пожара критическое время определяется временем достижения предельно допустимого значения на путях эвакуации на высоте 1,7 м. Предельно допустимые значения установлены для каждого из опасных факторов пожара и по ведущим факторам составляют<sup>3</sup>: по повышенной температуре воздуха — 70 °С, по тепловому потоку — 1400 Вт/м<sup>2</sup>, по пониженному содержанию кислорода — 0,226 кг/м<sup>3</sup>, по токсичным газообразным продуктам горения — для CO<sub>2</sub> — 0,11 кг/м<sup>3</sup>, для CO — 1,16 · 10<sup>-3</sup> кг/м<sup>3</sup>, для HCl — 23 · 10<sup>-6</sup> кг/м<sup>3</sup>. Также экстремальные условия деятельности пожарных характеризуют стресс-факторы, к основным из которых относятся повышенная температура окружающей среды, высокая плотность дыма, новизна раздражителей, выполнение боевых задач в ограниченном пространстве, интоксикация химическими веществами и шум [10, 11].

Параметры окружающей среды на пожаре всегда различны и обусловлены множеством факторов [12]. Если для большинства экстремальных профессий идентифицируется 1–2 опасных и 2–3 вредных фактора<sup>4</sup>, то для пожарных этот список составляет не менее 20–30 факторов [13]. Однако высокая температура воздуха характерна практически для всех видов пожара и является одним из основных неблагоприятных физических факторов, оказывающих воздействие на организм человека [14–17]. Известно, что даже кратковременное пре-

бывание в условиях гипертермии приводит на молекулярном, клеточном и тканевом уровнях к метаболическим и функциональным изменениям, имеющим комплексный характер и отражающим развитие стресс-реакции [18, 19].

Под влиянием высокой температуры окружающей среды в организме включаются экстренные адаптивные механизмы, представленные поведенческой реакцией, увеличением теплоотдачи и снижением теплопродукции, стрессом. Первые два механизма характеризуют стадию компенсации, направленную на сохранение температуры в пределах верхней границы нормального диапазона. На стадии компенсации нередко развивается тепловой неврастенический синдром, который характеризуется падением физической активности, вялостью, слабостью и апатией, сонливостью, гиподинамией, раздражительностью, головными болями. Третий механизм стрессовой реакции представляет стадию декомпенсации, характеризующуюся нарушением температурного гомеостаза организма. Декомпенсация характеризуется уменьшением потоотделения, нарастанием гипогидратации, изменением реологических свойств крови, нарастанием ацидоза, потерей ионов, в том числе Cl<sup>-</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> и появлением белков теплового шока [20]. Основные звенья патогенеза при хроническом перегревании определяются сложными вегетативно-эндокринными нарушениями и проявляются в нарушениях водно-электролитного баланса и метаболизма с образованием токсичных продуктов. Ключевым звеном патогенеза является увеличение концентрации в плазме крови молекул средней массы, представленных олигосахаридами, полиаминами, пептидами, нуклеотидами и нуклеопротеинами. Образование в плазме крови продуктов тепловой денатурации белков, нарастание гипохлоремии и недоокисленных субстратов тканевого дыхания приводят к увеличению метаболического ацидоза и снижению ферментативной активности дыхательной цепи. Под влиянием афферентации с терморепцепторов и повышения концентрации токсических продуктов неполного метаболизма происходит угнетение нервной системы во всех отделах и превалирование тормозных процессов, обусловленное на фоне активации перекисного окисления липидов значительным повышением концентрации диеновых конъюгатов и гидроперекисей липидов в мозговой, лёгочной и мышечной тканях. Эти процессы в свою очередь приводят к угнетению функции дыхания и кровообращения [20]. Длительная гипертермия сопровождается снижением биосинтеза белка, увеличением его катаболизма, что приводит к ферментативной недостаточности, замыкая порочный круг патогенеза. Однако данные о содержании белка в крови у пожарных непосредственно после пожаротушения свидетельствуют о гиперпротеинемии, которая кратковременна и необходима для поддержания эффективной онкотической всасывающей силы крови.

Система крови играет существенную роль в формировании адаптивного ответа при действии на организм различных по своей природе чрезвычайных факторов. При экстремальных воздействиях, к которым относится и перегревание

<sup>1</sup> Федеральный закон от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

<sup>2</sup> ГОСТ 12.1.004-91 «Пожарная безопасность. Общие требования».

<sup>3</sup> Приказ МЧС РФ от 30.06.2009 г. № 382 «Об утверждении методики определения расчётных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности».

<sup>4</sup> ГОСТ 12.0.003-74 «Опасные и вредные производственные факторы».

Таблица 1 / Table 1

**Показатели кислотно-основного состояния и водно-электролитного баланса крыс после гипертермического воздействия в сравнении с фоновым периодом в динамике,  $M \pm m$** **Indicators of acid-base state and water-electrolyte balance in rats after hyperthermic exposure in comparison with the background period, in dynamics,  $M \pm m$** 

Показатель Indicator	После однократной гипертермии After a single hyperthermia	На 2-е сутки после однократной гипертермии On the second day after a single hyperthermia	После продолжительной гипертермии After prolonged hyperthermia	На 2-е сутки после продолжительной гипертермии On the second day after prolonged hyperthermia	Фон (контроль) Background (the control)
pH крови, ед. Blood pH, units	6.56 ± 0.14*	7.24 ± 0.11	6.52 ± 0.17*	7.61 ± 0.12	7.32 ± 0.16
Натрий, ммоль/л Sodium, mmol/L	136.5 ± 0.7*	143.5 ± 0.5	132.5 ± 0.8*	138.5 ± 0.7*	147.2 ± 2.4
Калий, ммоль/л Potassium, mmol/L	6.4 ± 0.5*	6.2 ± 0.3	6.6 ± 0.6*	6.5 ± 0.4*	6.1 ± 0.3
Кальций, ммоль/л Calcium, mmol/L	2.8 ± 0.4*	3.6 ± 0.3	2.9 ± 0.2*	3.2 ± 0.3	3.8 ± 0.1
Магний, ммоль/л Magnesium, mmol/L	1.4 ± 0.1*	0.7 ± 0.2	1.5 ± 0.2*	0.9 ± 0.1	0.6 ± 0.1
Хлориды, ммоль/л Chlorides, mmol/L	87.4 ± 1.5*	104.6 ± 1.2	79.6 ± 1.8*	93.7 ± 2.3*	112.6 ± 1.4
Бикарбонаты, ммоль/л Bicarbonates, mmol/L	21.3 ± 0.7*	24.2 ± 0.5	19.8 ± 1.2*	23.5 ± 0.6	28.1 ± 0.6
НСО <sub>3</sub> , ммоль/л НСО <sub>3</sub> , mmol/L	7.5 ± 1.3*	2.5 ± 0.7	7.7 ± 1.4*	3.7 ± 0.9	2.3 ± 0.5
pCO <sub>2</sub> , мм рт. ст. pCO <sub>2</sub> , mm Hg	41.2 ± 1.9*	37.2 ± 2.1	43.4 ± 2.3*	36.9 ± 2.7	35.9 ± 2.1
pO <sub>2</sub> , ммоль/л pO <sub>2</sub> , mmol/L	42.7 ± 1.4*	47.5 ± 1.3	41.2 ± 1.2*	46.4 ± 1.5	48.7 ± 1.8
ВЕ, ммоль/л Base excess, mmol/L	12.2 ± 0.5*	14.8 ± 0.6	12.1 ± 0.8*	13.6 ± 0.7	15.2 ± 0.6
СО <sub>2</sub> , ммоль/л СО <sub>2</sub> , mmol/L	14.1 ± 0.6	13.1 ± 0.7	14.8 ± 0.5	13.6 ± 0.4	12.9 ± 0.8

Примечание. Здесь и в табл. 2–5: \* – различия по сравнению с фоновыми значениями (контроль);  $p < 0,05$ .

Note. Here and tables 2–5: \* – differences compared to background values (control),  $p < 0.05$ .

организма, происходят изменения гомеостатических констант, прежде всего относящихся к системе крови [21]. Любой патологический процесс отражается на количественных и качественных особенностях состава циркулирующей крови, что и определяет значение необходимости изучения крови в условиях гипертермии и выявления изменений различных показателей [22].

Анализ литературы показал, что при исследованиях крови наиболее востребованной биологической тест-системой являются лабораторные крысы, что обусловлено схожестью системы крови крыс и человека [22–24]. Однако при рассмотрении результатов исследований необходимо учитывать видовые различия показателей крови крыс и человека, которые демонстрирует сравнительный анализ межиндивидуальной вариабельности биохимических показателей крови [25].

## Материалы и методы

Исследование выполнено на 124 беспородных белых крысах-самцах 3-месячного возраста массой 250–300 г, содержащихся в стандартных условиях вивария со свободным доступом к воде и находящимся на обычном пищевом рационе. Крысы были произвольно разделены на 2 группы: первая группа (62 крысы) подвергалась однократной гипертермической нагрузке, вторая группа (62 крысы) подвергалась ежедневной гипертермической нагрузке в течение 14 дней. До гипертермического воздействия достоверных различий в исследуемых показателях не наблюдалось, и фоновые результаты представлены для объединенной группы. Экспериментальное моделирование воздушной гипертермии проводили в термокамере с внутренними габаритными размерами 1 × 1 × 1,5 м, с принудительной вентиляцией, со стеклянным окном для наблюдения за животными. Процедуру экстремального термического воздействия выполняли при температуре воздуха +42 °С по 45 мин в день. До и после гипертермических воздействий проводили оценку изменений показателей кислотно-основного состояния и водно-электролитного баланса, биохимического и клинического анализов крови, клеточного и гуморального иммунитета, регистрировали поведенческие показатели, а также

показатели физической работоспособности. В данной статье представлены результаты исследования основных показателей гомеостаза у лабораторных животных. Забор крови для исследований проводился перед, непосредственно после и на вторые сутки после окончания однократной и многократной гипертермического воздействия. Забор крови осуществляли с использованием кратковременной эфирной анестезии из боковой хвостовой вены с помощью вакуумной пробирки производства Sarstedt AG&Co (Германия), однократно забиралось не более 200 мкл крови. Предварительно перед взятием крови хвост обматывали смоченным в воде теплым (+35 °С) куском материи. Все процедуры с животными выполнялись с соблюдением принципов Европейской конвенции по защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных и других научных целей (Страсбург, 18 марта 1986 г.)<sup>5</sup> и Директивы Европейского парламента и Совета Европейского союза<sup>6</sup>.

Экспериментальные материалы, полученные в ходе исследования, подвергали статистической обработке по стандартным программам для персональных компьютеров (Excel, Statistica 6, SPSS 11.5). Отдельные группы предварительно сравнивали с помощью непараметрического теста Крускала–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

Результаты исследований основных показателей гомеостаза у крыс до и после перенесённой гипертермии в динамике представлены в табл. 1–5.

<sup>5</sup> European convention for the protection of vertebrate animals used for experimental and scientific purposes. Strasbourg, 18.III.1986. European Treaty Series. № 123 (Европейская конвенция о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях (ETS N 123)).

<sup>6</sup> Директива Европейского парламента и Совета Европейского союза 2010/63/ЕС от 22.09.2010 г. о защите животных, используемых для научных целей.

Таблица 2 / Table 2

Показатели биохимического анализа крови крыс после гипертермического воздействия в сравнении с фоновым периодом в динамике,  $M \pm m$

Indicators of biochemical blood analysis in rats after hyperthermic exposure in comparison with the background period in dynamics,  $M \pm m$

Показатель Indicator	После однократной гипертермии After a single hyperthermia	На 2-е сутки после однократной гипертермии On the second day after a single hyperthermia	После продолжительной гипертермии After prolonged hyperthermia	На 2-е сутки после продолжительной гипертермии On the second day after prolonged hyperthermia	Фон (контроль) Background (the control)
Креатинин, мкмоль/л Creatinine, $\mu\text{mol/L}$	44.2 $\pm$ 0.3*	41.2 $\pm$ 0.4	54.7 $\pm$ 0.5*	48.5 $\pm$ 0.3*	39.5 $\pm$ 0.2
Мочевина, ммоль/л Urea, mmol/L	14.2 $\pm$ 1.1*	8.6 $\pm$ 0.5	17.8 $\pm$ 0.6*	12.4 $\pm$ 0.3*	9.2 $\pm$ 0.2
Аспаратаминотрансфераза (АСТ), Ед/л Aspartate aminotransferase (AST), U/L	74.2 $\pm$ 1.3*	49.5 $\pm$ 0.7	81.2 $\pm$ 1.1*	59.3 $\pm$ 0.9*	51.4 $\pm$ 1.6
Аланинаминотрансфераза (АЛТ), Ед/л Alanine transaminase (ALT), U/L	87.4 $\pm$ 1.2*	68.9 $\pm$ 1.4	98.7 $\pm$ 2.3*	78.6 $\pm$ 2.1*	72.3 $\pm$ 1.7
Щелочная фосфатаза, Ед/л Alkaline phosphatase (ALP), U/L	171.4 $\pm$ 3.9*	138.6 $\pm$ 7.4	187.4 $\pm$ 4.2*	162.3 $\pm$ 3.7*	158.4 $\pm$ 6.5
Холестерин, ммоль/л Cholesterol, mmol/L	3.1 $\pm$ 0.4*	2.3 $\pm$ 0.1	3.4 $\pm$ 0.3*	2.7 $\pm$ 0.2*	1.8 $\pm$ 0.1
Триглицериды, ммоль/л Triglycerides (TG), mmol/L	0.64 $\pm$ 0.02*	0.79 $\pm$ 0.03	0.58 $\pm$ 0.02*	0.72 $\pm$ 0.5	0.86 $\pm$ 0.12
Общий белок, г/л Protein total, g/L	34.3 $\pm$ 0.2*	69.7 $\pm$ 0.3	26.8 $\pm$ 0.4*	32.5 $\pm$ 0.5*	67.4 $\pm$ 0.4
Альбумин, г/л ALB, g/L	14.2 $\pm$ 0.3*	31.2 $\pm$ 0.4	12.8 $\pm$ 0.1*	16.2 $\pm$ 0.2*	28.4 $\pm$ 0.4
Глюкоза, ммоль/л Glucose, mmol/L	6.5 $\pm$ 0.2*	9.2 $\pm$ 0.6	6.4 $\pm$ 0.4*	7.4 $\pm$ 0.3*	8.9 $\pm$ 0.2
Лактат, ммоль/л Lactate, mmol/L	3.9 $\pm$ 0.4*	1.2 $\pm$ 0.5	4.2 $\pm$ 0.3*	1.8 $\pm$ 0.2	0.9 $\pm$ 0.1
Лактатдегидрогеназа (ЛДГ) общая, Ед/л Lactate dehydrogenase, Total (LDH), U/L	964.3 $\pm$ 31.5*	407.9 $\pm$ 24.2	983.3 $\pm$ 28.7*	398.4 $\pm$ 36.2	418.6 $\pm$ 19.8
Общий билирубин, мкмоль/л Total bilirubin (TBIL), $\mu\text{mol/L}$	43.7 $\pm$ 3.4*	34.8 $\pm$ 3.1	52.6 $\pm$ 4.2*	29.8 $\pm$ 2.6*	35.1 $\pm$ 2.9

Таблица 3 / Table 3

Показатели клинического анализа крови крыс после гипертермического воздействия в сравнении с фоновым периодом в динамике,  $M \pm m$

Indicators of clinical blood test in rats after hyperthermic exposure in comparison with the background period in dynamics,  $M \pm m$

Показатель Indicator	После однократной гипертермии After a single hyperthermia	На 2-е сутки после однократной гипертермии On the second day after a single hyperthermia	После продолжительной гипертермии After prolonged hyperthermia	На 2-е сутки после продолжительной гипертермии On the second day after prolonged hyperthermia	Фон (контроль) Background (the control)
Эритроциты, $10^{12}/\text{л}$ / RBC, $10^{12}/\text{L}$	6.5 $\pm$ 0.2*	8.1 $\pm$ 0.1	7.9 $\pm$ 0.3	8.7 $\pm$ 0.3	8.3 $\pm$ 0.4
Гемоглобин, г/л / Hb, g/L	133.7 $\pm$ 2.7*	251.8 $\pm$ 5.6	125.6 $\pm$ 5.3*	184.9 $\pm$ 4.6*	228.2 $\pm$ 2.6
Гематокрит, % / Hct, %	46.3 $\pm$ 0.7*	39.2 $\pm$ 1.2	49.1 $\pm$ 1.4*	41.2 $\pm$ 0.9*	37.1 $\pm$ 1.2
Лейкоциты, $10^9/\text{л}$ / Leucocytes, WBC, $10^9/\text{L}$	8.3 $\pm$ 0.4*	6.3 $\pm$ 0.3	8.7 $\pm$ 0.4*	6.9 $\pm$ 0.3	6.2 $\pm$ 0.1
Лимфоциты, % / Lymphocytes, LYMP, %	42.7 $\pm$ 0.8*	56.4 $\pm$ 1.4	31.4 $\pm$ 1.6*	34.3 $\pm$ 1.2*	58.4 $\pm$ 1.5
Моноциты, % / Monocytes, MONO, %	3.6 $\pm$ 0.4*	5.2 $\pm$ 0.6	3.4 $\pm$ 0.8*	4.5 $\pm$ 0.3*	5.9 $\pm$ 0.4
Палочкоядерные макрофилы, % Stab macrofils, NEU, %	6.2 $\pm$ 0.5*	2.4 $\pm$ 0.3	1.2 $\pm$ 0.4*	1.4 $\pm$ 0.2*	2.2 $\pm$ 0.6
Сегментоядерные нейтрофилы, % Segmentonuclear neutrofils, %	9.6 $\pm$ 0.3*	12.8 $\pm$ 1.2	24.2 $\pm$ 1.5*	19.1 $\pm$ 0.8*	16.5 $\pm$ 1.4
Эозинофилы, % / Eosinofils, EOS, %	1.4 $\pm$ 0.1*	1.9 $\pm$ 0.3	1.2 $\pm$ 0.1*	2.1 $\pm$ 0.2	2.3 $\pm$ 0.2
Базофилы, % / Basofils, BAS, %	0.1 $\pm$ 0.1	0.2 $\pm$ 0.2	0.3 $\pm$ 0.1*	0.3 $\pm$ 0.2*	0.1 $\pm$ 0.1
СОЭ, мм/ч / ESR, mm/h	2.6 $\pm$ 0.5*	1.9 $\pm$ 0.3	2.8 $\pm$ 0.6*	2.1 $\pm$ 0.3	1.8 $\pm$ 0.4



Таблица 4 / Table 4

Показатели клеточного иммунитета крыс после гипертермического воздействия в сравнении с фоновым периодом в динамике,  $M \pm m$   
Parameters of cellular immunity in rats after hyperthermic exposure in comparison with the background period in dynamics,  $M \pm m$

Показатель Indicator	После однократной гипертермии After a single hyperthermia	На 2-е сутки после однократной гипертермии On the second day after a single hyperthermia	После продолжительной гипертермии After prolonged hyperthermia	На 2-е сутки после продолжительной гипертермии On the second day after prolonged hyperthermia	Фон (контроль) Background (the control)
Лимфоциты, % / LYMP, %	42.7 ± 0.8*	56.4 ± 1.4	31.4 ± 1.6*	49.3 ± 1.2*	58.4 ± 1.5
Лимфоциты, абс. / LYMP, abs.	1708.3 ± 84.6	2256.4 ± 72.3	1256.2 ± 116.5	1985.6 ± 98.2	2352.1 ± 47.3
CD3, %	49.3 ± 2.2*	72.3 ± 2.5	46.1 ± 1.2*	45.1 ± 0.6*	59.9 ± 2.6
CD3, абс. (abs.)	987.4 ± 47.5*	1449.0 ± 52.6*	918.2 ± 32.4*	893.5 ± 48.7	1211.8 ± 34.3
CD4, % (хелперные лимфоциты (helper lymphocytes))	27.5 ± 1.3*	24.5 ± 0.9*	36.2 ± 2.5*	34.7 ± 0.8	31.7 ± 2.6
CD4, абс. (хелперные лимфоциты) CD4, abs. (helper lymphocytes)	553.6 ± 19.7*	492.3 ± 18.4*	722.5 ± 27.3*	694.3 ± 21.2	642.4 ± 22.8
CD8, % (CTL)	17.8 ± 1.5	16.2 ± 1.2*	14.3 ± 0.5*	15.1 ± 0.7*	19.6 ± 1.3
CD8, абс. (abs.) (CTL)	372.4 ± 21.3	341.2 ± 16.7*	302.0 ± 18.4*	317.6 ± 23.2*	412.3 ± 19.8
Иммунорегуляторный индекс (ИРИ) Immunoregulatory index (IRI)	1.5 ± 0.2	1.5 ± 0.2	2.5 ± 0.1	2.2 ± 0.2	1.6 ± 0.1
CD20, % (В-лимфоциты (B-lymphocytes))	14.8 ± 1.5*	19.3 ± 1.3	23.8 ± 1.1*	21.4 ± 0.8*	17.2 ± 1.4
CD20, абс. (abs.) (В-лимфоциты (B-lymphocytes))	227.2 ± 12.4	292.4 ± 15.6*	378.5 ± 19.8*	332.3 ± 16.9	264.7 ± 21.3
CD16, % (NK-клетки (NK-cells))	7.2 ± 0.8*	8.5 ± 1.1*	8.3 ± 1.4*	8.5 ± 0.9*	9.8 ± 1.2
CD16, абс. (abs.) (NK-клетки (NK-cells))	123.4 ± 9.7*	136.8 ± 18.4*	141.2 ± 11.8*	147.4 ± 12.4*	168.4 ± 8.9
Фагоцитарная активность нейтрофилов (ФАН), % Phagocytic activity of neutrophils, %	34.5 ± 1.2*	48.3 ± 1.6*	72.2 ± 2.2*	69.2 ± 1.5	56.2 ± 1.4

Таблица 5 / Table 5

Показатели гуморального иммунитета крыс после гипертермического воздействия в сравнении с фоновым периодом в динамике,  $M \pm m$   
Indicators of humoral immunity in rats after hyperthermic exposure in comparison with the background period in dynamics,  $M \pm m$

Показатель Indicator	После однократной гипертермии After a single hyperthermia	На 2-е сутки после однократной гипертермии On the second day after a single hyperthermia	После продолжительной гипертермии After prolonged hyperthermia	На 2-е сутки после продолжительной гипертермии On the second day after prolonged hyperthermia	Фон (контроль) Background (the control)
IgA, мкг/мл (µg/ml)	392.2 ± 31.5	416.4 ± 43.7	537.5 ± 38.4*	562.3 ± 29.3*	435.6 ± 21.6
IgM, мкг/мл (µg/ml)	862.3 ± 49.7	821.5 ± 42.4*	952.3 ± 39.5*	974.8 ± 48.2*	769.5 ± 52.4
IgG, мкг/мл (µg/ml)	4218.3 ± 356.4*	5426.5 ± 378.5*	7214.2 ± 532.6*	8546.4 ± 429.2*	5312.3 ± 284.3
Циркулирующие иммунные комплексы (ЦИК), у.е. Circulating immune Complexes (CIC), cond. un.	21.3 ± 1.5	23.8 ± 1.4*	28.6 ± 2.1*	29.3 ± 1.9*	19.7 ± 1.4

## Обсуждение

При перегревании наиболее быстро формируется биологический отклик со стороны водно-электролитного баланса как наиболее чувствительного к изменению и регуляции температуры теплокровных животных. Показатели водно-электролитного баланса крыс после перенесённой как однократной, так и многократной гипертермии достоверно изменялись относительно фоновых показателей (контроль). Так, например, содержание натрия, кальция и хлоридов достоверно снижалось относительно фонового периода. При этом для калия и магния были характерны противоположные изменения, их концентрации достоверно повышались относительно контроля. На вторые сутки после однократной гипертермии все проанализированные показатели восстанавливались до исходных значений. При этом у крыс, подвергавшихся многократной гипертермии, досто-

верные изменения содержания натрия, калия и хлоридов сохранялись и через сутки после окончания последнего сеанса гипертермии.

Показатели кислотно-основного состояния крыс после перенесённой однократной и многократной гипертермии также достоверно изменялись относительно контроля. Водородный показатель pH, сдвиг буферных оснований BE, а также показатели бикарбонатов и сатурации, характеризующие буферные свойства крови, после однократной и многократной гипертермии достоверно снижались относительно фонового периода. При этом концентрация гидрокарбоната и парциальное давление диоксида углерода компенсаторно возрастали как после однократной, так и после многократной гипертермии, что свидетельствует как об угнетении дыхания, так и о нарастании некомпенсированного газового ацидоза. На вторые сутки после окончания гипертермического воздействия все проанализированные показатели возвращались к исходным величинам.

Показатели биохимического анализа крови крыс после перенесённой гипертермии (как однократной, так и многократной) достоверно изменялись относительно фонового периода. Показатели креатинина и мочевины, характеризующие уровень белкового обмена, достоверно повышались после однократной гипертермии, но на следующие сутки возвращались до уровня исходных показателей. В то же время у крыс при многократной гипертермии эти показатели достоверно повышались и оставались достоверно повышенными и через сутки после последнего перегревания. Также повышались показатели холестерина, лактата, общего билирубина, активность ферментов аспарагиновой, аланиновой трансаминазы, щелочной фосфатазы и лактатдегидрогеназы, причём если через сутки после однократной гипертермии эти показатели снижались до исходных, то после многократной гипертермии практически все показатели оставались повышенными, что свидетельствует о декомпенсации при хроническом перегревании. Данные изменения характерны для превалирования катаболических процессов. В то же время показатели триглицеридов, общего белка, альбуминов и глюкозы, наоборот, достоверно снижались как после однократной, так и после многократной гипертермии. При этом через сутки после окончания последнего сеанса многократной гипертермии такие показатели, как общий белок, альбумин и глюкоза, оставались достоверно более низкими относительно фонового периода.

Показатели клинического анализа крови крыс, перенесших гипертермию, изменялись неравномерно и разнонаправленно в зависимости от того, была это многократная или однократная гипертермия. Снижение количества эритроцитов отмечалось после однократной гипертермии, но на вторые сутки возвращалось к исходным позициям. Гемоглобин достоверно снижался как после однократной, так и после многократной гипертермии, при этом на вторые сутки после однократной гипертермии восстанавливался до фоновых уровней, после многократной — оставался достоверно более низким. Гематокрит достоверно повышался после однократной и многократной гипертермии, при этом на вторые сутки после многократной гипертермии оставался достоверно более высоким. Лейкоциты достоверно повышались как после однократной, так и после многократной гипертермии в основном за счёт нейтрофилов, количество лимфоцитов и моноцитов достоверно снижалось. Лейкоцитарная формула приобретала сдвиг вправо, демонстрировала превалирование зрелых форм лейкоцитов, что может свидетельствовать о нарушении лимфопоза. Скорость оседания эритроцитов достоверно повышалась в обеих группах и спустя сутки после окончания гипертермического воздействия практически возвращалась к исходным значениям.

Показатели клеточного иммунитета у крыс изменялись в зависимости от продолжительности гипертермии. Общее количество лимфоцитов снижалось после гипертермии, при

этом после однократной гипотермии показатели на следующий день восстанавливались до уровня исходных, при многократной — оставались достоверно ниже фоновых значений. Иммунорегуляторный индекс достоверно не изменялся в обеих группах.

Обращает на себя внимание изменение показателей системы иммунитета после воздействия однократной гипертермии, где выявлено снижение относительного и абсолютного количества иммунокомпетентных клеток. Через сутки после теплового воздействия относительное и абсолютное количество CD3<sup>+</sup> и CD20<sup>+</sup> лимфоцитов восстанавливалось и даже имело тенденцию к увеличению, CD4<sup>+</sup> — снижалось и оставалось достоверно изменённым. При этом относительное и абсолютное содержание CD8<sup>+</sup>- и CD16<sup>+</sup>-лимфоцитов в течение первых суток после однократной гипертермии полностью не восстанавливалось. В отличие от однократной гипертермии после многократного воздействия отмечалось достоверное увеличение количества лимфоцитов хелперов CD4<sup>+</sup> как в абсолютных значениях, так и в процентном соотношении, количество В-лимфоцитов возрастало, а далее снижалось как в абсолютных значениях, так и в процентном соотношении, при этом полученные значения оставались выше фоновых.

Показатели гуморального иммунитета демонстрировали достоверное повышение концентрации после длительной гипертермии, данная тенденция сохранялась и на вторые сутки после окончания воздействия. Аналогичные изменения наблюдались и относительно циркулирующих иммунных комплексов. После однократной гипертермии отмечалось достоверное снижение только концентрации IgG, на вторые сутки после окончания воздействия его концентрация возрастала и достоверно превышала фоновые значения.

## Заключение

Полученные данные свидетельствуют, что высокая температура окружающей среды вызывает изменение показателей гомеостаза у лабораторных животных: водно-электролитного баланса, кислотно-основного состояния, клинического и биохимического анализов крови, а также имеются лабораторные признаки изменений системы иммунитета. Экспериментальная модель экстремального теплового воздействия на животных показала возникновение и сохранение изменений по основным показателям гомеостаза. Отмечено, что в группе однократной гипертермии показатели через сутки восстанавливались до фоновых, а в группе многократной гипертермии по отдельным показателям оставались изменёнными.

Полученные в эксперименте на биологической тест-системе данные дополняют представления о воздействии высокой температуры окружающей среды на изменение показателей гомеостаза лабораторных животных и могут быть применены при изучении влияния гипертермии на организм человека.

## ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Рукавишников В.С., Колычева И.В. Медицина труда пожарных: итоги и перспективы исследований. *Медицина труда и промышленная экология*. 2007; (6): 1–5.
3. Рукавишников В.С., Колычева 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.
4. Шафран Л.М., Нехорошкова Ю.В. Комплексная гигиеническая оценка условий труда и трудового процесса пожарных-спасателей. *Гигиена и санитария*. 2015; 94(1): 77–82.
5. Смиленко О.О., Курлович И.Г. Повышение безопасности труда пожарного-спасателя. *Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси*. 2017; 1(4): 459–67.
6. Мешков Н.А., Бухтияров И.В., Вальцева Е.А. Оценка факторов риска профессиональной деятельности и состояние здоровья сотрудников противопожарной службы. *Медицина труда и промышленная экология*. 2020; 60(10): 658–73. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-10-658-673>
7. Алексанин С.С., Бобринев Е.В., Евдокимов В.И., Кондашов А.А., Сибирко В.И., Харин В.В. Показатели профессионального травматизма и смертности у сотрудников государственной противопожарной службы России (1996–2015 гг.). *Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях*. 2018; (3): 5–25. <https://doi.org/10.25016/2541-7487-2018-0-3-05-25>
8. Матюшин А.В., Порошин А.А., Харин Ю.И., Путин В.С., Удавцова Е.Ю. Профессиональный риск пожарных. *Пожарная безопасность*. 2009; (3): 112–8.
9. Колычева И.В. Актуальные вопросы медицины труда пожарных (обзор литературы). *Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук*. 2005; (8): 133–8.
10. Кошкароев 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

- Валитова Н.Э., Хайретдинов И.А. Влияние стресс-факторов на производительность труда сотрудников подразделений пожарной охраны. *Нефтегазовое дело*. 2014; 12(1): 168–71.
- Сорокин Д.В., Никифоров А.Л., Шарабанова И.Ю., Животыгина С.Н., Стрижак Е.В. К вопросу защиты пожарных от опасных тепловых воздействий. В кн.: «Современные пожаробезопасные материалы и технологии». Сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвященной Году гражданской обороны. Иваново; 2017: 346–53.
- Быкова В.Ю., Домрачев А.А., Домрачева О.А. Актуальность обеспечения безопасности профессиональной деятельности сотрудников оперативных подразделений МЧС России. *Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций*. 2015; (1–1): 16–8.
- Колычева И.В., Несмеянова Н.Н., Соседова Л.М., Тараненко Н.А. Оценка профессионального риска развития болезней органов дыхания и кожи у пожарных. *Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук*. 2005; (2): 50–3.
- Рева И.А., Соснин М.И. Состояние антиоксидантной системы у крыс, подвергнутых чрезмерным физическим нагрузкам в сочетании с гипертермией. В кн.: «Актуальные проблемы теоретической, экспериментальной, клинической медицины и фармации». *Материалы 52-й ежегодной Всероссийской конференции студентов и молодых учёных, посвященной 90-летию доктора медицинских наук, профессора, заслуженного деятеля науки РФ П.В. Дуняева*. Тюмень; 2018: 49.
- Павлова Т.В., Марковская В.А. Влияние теплового стресса на физическую и психическую работоспособность в экстремальных ситуациях. *Проблемы правоохранительной деятельности*. 2017; (4): 34–8.
- Дигурова И.И. Влияние гипертермии и иммобилизации на деформируемость эритроцитов у крыс. *Актуальные вопросы биологической физики и химии*. 2017; 2(1): 47–50.
- Генералова К.Р., Лапина Н.В. Влияние интенсивной физической нагрузки и гипертермии на биохимические маркеры стресс-реакции плазмы крови у крыс. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2015; (10–3): 87–8. <https://doi.org/10.18454/IRJ.2015.41.039>
- Кривошапкин И.А., Ефремов А.В., Самсонова Е.Н., Пустоветова М.Г. Особенности иммунного ответа после воздействия общей гипертермии на экспериментальных животных. *Медицинский вестник Башкортостана*. 2014; 9(5): 159–62.
- Литвицкий П.Ф. Нарушения теплового баланса организма: гипертермия, гипертермические реакции, тепловой удар, солнечный удар. *Вопросы современной педиатрии*. 2010; 9(1): 96–102.
- Долотина Н.В., Самсонова Е.Н., Матхеев Ц.С., Логачева О.Н., Алексеенко С.Н., Кривошапкин И.А. и соавт. Состояние костномозгового кровообращения крыс при воздействии общей гипертермии. *Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Биология, клиническая медицина*. 2014; 12(2): 12–7.
- Ажикова А.К., Журавлева Г.Ф. Исследования гематологических показателей крыс в норме и в условиях термического воздействия. *Современные проблемы науки и образования*. 2016; (2): 284–92.
- Привалова И.Л., Горпинич А.Б., Озерова И.Ю., Глотова И.В., Богданова Е.И. Анализ функциональной значимости изменений ионного состава плазмы крови в экспериментальных исследованиях с использованием крыс в качестве биологических тест-систем. *Современные проблемы науки и образования*. 2018; (4): 195.
- Кинзерский А.А., Долгих В.Т., Коржук М.С., Кинзерская Д.А., Зайцева В.Е. Особенности системы гемостаза крысы линии Wistar, важные для экспериментальной хирургии. *Вестник экспериментальной и клинической хирургии*. 2018; 11(2): 126–33. <https://doi.org/10.18499/2070-478X-2018-11-2-126-133>
- Войтенко Н.Г., Макарова М.Н., Зуева А.А. Вариабельность биохимических показателей крови и установление референсных интервалов в доклинических исследованиях. Сообщение 1: крысы. *Лабораторные животные для научных исследований*. 2020; (1): 47–53. <https://doi.org/10.29296/2618723X-2020-01-06>

## References

- Vasilev 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)
- 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).
- 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)
- 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)
- Smilovenko O.O., Kurlovich I.G. Increasing of the occupational safety of firefighter-rescuer. *Vestnik Universiteta grazhdanskoj zashchity MChS Belarusi*. 2017; 1(4): 459–67. (in Russian)
- Meshkov N.A., Bukhtiyarov I.V., Val'tseva E.A. Occupational risk factors and physical condition of firefighters. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2020; 60(10): 658–73. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-10-658-673> (in Russian)
- Aleksanin S.S., Bobrinev E.V., Evdokimov V.I., Kondashov A.A., Sibirko V.I., Kharin V.V. Indicators of occupational traumatism and mortality in employees of Russian state fire service (1996–2015). *Mediko-biologicheskie i sotsial'no-psikhologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh*. 2018; (3): 5–25. <https://doi.org/10.25016/2541-7487-2018-0-3-05-25> (in Russian)
- Matyushin A.V., Poroshin A.A., Kharin Yu.I., Putin V.S., Udavtsova E.Yu. Professional risk of firemen. *Pozharnaya bezopasnost*. 2009; (3): 112–8. (in Russian)
- 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)
- 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 I International Scientific Conference [Aktual'nye voprosy sovremennoy psikhologii: Materialy I mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii]*. Chelyabinsk; 2011: 53–5. (in Russian)
- Valitova N.E., Khayretdinov I.A. The influence of stress factors on fire protection employees' job performance. *Neftgazovoe delo*. 2014; 12(1): 168–71. (in Russian)
- Sorokin D.V., Nikiforov A.L., Sharabanova I.Yu., Zhivotyagina S.N., Strizhak E.V. The protection of firefighters from dangerous heat exposures. In: *Modern Fireproof Materials and Technologies: Collection of Materials of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the Year of Civil Defense [Sovremennye požarobezopasnye materialy i tekhnologii]. Sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy Godu grazhdanskoj oborony*. Ivanovo; 2017: 346–53. (in Russian)
- Bykova V.Yu., Domrachev A.A., Domracheva O.A. The relevance of ensuring the safety of professional activities of employees of operational divisions of the Emergencies Ministry of Russia. *Sovremennye tekhnologii obespecheniya grazhdanskoj oborony i likvidatsii posledstviy chrezvychaynykh situatsiy*. 2015; (1–1): 16–8. (in Russian)
- Kolycheva I.V., Nesmeyanova N.N., Sosedova L.M., Taranenko N.A. Occupational risk assessment of respiratory and cutaneous disease development in the fire fighters. *Byulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo tsentra Sibirskogo otdeleniya Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk*. 2005; (2): 50–3. (in Russian)
- Reva I.A., Sosnin M.I. The state of the antioxidant system in rats subjected to excessive physical exertion in combination with hyperthermia. In: *Actual problems of theoretical, experimental, clinical medicine and pharmacy». Materials of the 52<sup>nd</sup> Annual All-Russian Conference of Students and Young Scientists dedicated to the 90<sup>th</sup> anniversary of the Doctor of Medical Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation P.V. Dunaev [Aktual'nye problemy teoreticheskoy, eksperimental'noy, klinicheskoy meditsiny i farmatsii]. Materialy 52-y ezhegodnoy Vserossiyskoy konferentsii studentov i molodykh uchennykh, posvyashchennoy 90-letiyu doktora meditsinskikh nauk, professora, zaslužennogo deyatelya nauki RF P.V. Dunaeva*. Tyumen'; 2018: 49. (in Russian)
- Pavlova T.V., Markovskaya V.A. Influence of thermal stress on physical and psychic working efficiency in extreme situations. *Problemy pravookhranitel'noy deyatel'nosti*. 2017; (4): 34–8. (in Russian)
- Digurova I.I. An influence hyperthermia and immobilization on erythrocyte deformability at rats. *Aktual'nye voprosy biologicheskoy fiziki i khimii*. 2017; 2(1): 47–50. (in Russian)
- Generalova K.R., Lapina N.V. Influence of intensity of physical activity and biochemical markers hyperthermia on stress reaction of blood plasma in rats. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*. 2015; (10–3): 87–8. <https://doi.org/10.18454/IRJ.2015.41.039> (In Russian)
- Krivoschapkin I.A., Efremov A.V., Samsonova E.N., Pustovetova M.G. Features of immune response after general hyperthermia on experimental animals. *Meditsinskiy vestnik Bashkortostana*. 2014; 9(5): 159–62. (in Russian)
- Litvitskiy P.F. Alteration of thermal balance: hyperthermia, hyperthermic reactions, heat stroke, and sunstroke. *Voprosy sovremennoy pediatrii*. 2010; 9(1): 96–102. (in Russian)
- Dolotina N.V., Samsonova E.N., Matkheev Ts.S., Logacheva O.N., Alekseenko S.N., Krivoschapkin I.A., et al. State blood's marrowy rats under the influence of general hyperthermia. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Biologiya, klinicheskaya meditsina*. 2014; 12(2): 12–7. (in Russian)
- Azhikova A.K., Zhuravleva G.F. Research of hematologic indicators of rats is normal and in the conditions of thermal influence. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2016; (2): 284–92. (in Russian)
- Privalova I.L., Gorpinich A.B., Ozerova I.Yu., Glotova I.V., Bogdanova E.I. Analysis of functional significance of changes in the ion composition of blood plasma in experimental research with the use of rats as biological test systems. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2018; (4): 195. (in Russian)
- Kinzerkiy A.A., Dolgikh V.T., Korzhuk M.S., Kinzerkiy D.A., Zaytseva V.E. The Wistar rat line hemostatic system characteristics to be important for experimental surgery. *Vestnik eksperimental'noy i klinicheskoy khirurgii*. 2018; 11(2): 126–33. <https://doi.org/10.18499/2070-478X-2018-11-2-126-133> (in Russian)
- Voytenko N.G., Makarova M.N., Zueva A.A. Variability of blood biochemical parameters and establishing of reference ranges in nonclinical studies. Part 1: Rats. *Laboratornye zhivotnye dlya nauchnykh issledovaniy*. 2020; (1): 47–53. <https://doi.org/10.29296/2618723X-2020-01-06> (in Russian)