



DOI 10.22363/2313-0245-2022-26-3-274-288

ОРИГИНАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ORIGINAL RESEARCH

Интенсивность окислительно-восстановительных процессов и психоэмоционального статуса крыс при ожоговом повреждении кожи

А.К. Ажикова  , М.А. Самотруева 

Астраханский государственный медицинский университет, г. Астрахань, Российская Федерация
 alfia-imacheva@mail.ru

Аннотация. *Актуальность.* В настоящее время актуальной остается проблема регенерации поврежденной кожи, в том числе ожогового характера. В работе описаны результаты исследования интенсивности окислительно-восстановительных процессов и психоэмоционального статуса крыс при термической травме кожи. *Цель исследования* — экспериментальное изучение интенсивности окислительно-восстановительных процессов и психоэмоционального статуса крыс при ожоговом повреждении кожи. *Материалы и методы.* Исследование проводили на нелинейных крысах-самцах средней массы 250 гр. 6—8 месяцев. Для оценки психоэмоционального статуса были проведены исследования с использованием стандартных психофизиологических методов: «Открытое поле», «Приподнятый крестообразный лабиринт», «Суок-тест» и «Порсолт». Интенсивность окислительно-восстановительных процессов в гипоталамической и префронтальной областях головного мозга оценивали посредством определения интенсивности перекисного окисления липидов и активности каталазы. Об активности перекисного окисления липидов судили по исходному содержанию малонового диальдегида, а также по скорости спонтанного и аскорбатзависимого перекисного окисления липидов. *Результаты и обсуждение.* В ходе исследования установлено, что ожоговое повреждение кожи сопровождалось увеличением в гипоталамической и префронтальной областях головного мозга крыс концентрации ТБК-активных продуктов перекисного окисления липидов, результатом чего явилось развитие окислительного стресса. Ожоговая травма инициировала в изучаемых зонах головного мозга процессы перекисидации, наиболее выраженные в ранний период ожогового процесса (на 2—4 сутки), с разной степенью снижающиеся в последующие сроки (на 7, 10 сутки). Результаты оценки психоэмоционального статуса животных при ожоговом повреждении кожи в стандартных поведенческих тестах подтверждают вовлеченность нервной системы в ответ на стресс, рефлекторная деятельность которой в стрессовых условиях проявляется в изменении поведенческих реакций. В условиях ожогового повреждения кожи было отмечены признаки тревожно-депрессивного состояния, в частности дезориентации в пространстве, подавления психоэмоционального состояния, изменение характера поведенческих реакций. *Выводы.* Таким образом, выявленные изменения интенсивности окислительно-восстановительных

© Ажикова А.К., Самотруева М.А., 2022



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

процессов и особенности психоэмоционального статуса крыс при ожоговом повреждении кожи являются следствием биохимических и функциональных нарушений отделов головного мозга, активизировавшихся в ходе защитно-адаптационных реакций при ожоговой травме.

Ключевые слова: психоэмоциональный статус, поведение, ожог, перекисное окисление липидов, каталаза, Открытое поле, Приподнятый крестообразный лабиринт, Суок-тест, Порсолт

Информация о финансировании. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования.

Вклад авторов. Ажикова А.К.— сбор и обработка материалов, анализ полученных данных, написание текста; Самотруева М.А.— концепция и дизайн исследования, коррекция текста. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Этическое утверждение. При работе с животными придерживались гуманного отношения согласно положениям Хельсинкской декларации (1964—2013), положениям Комиссии по проблеме этики отношения к животным Российского национального Комитета по биоэтике при Российской академии наук и рекомендациям Этического комитета ФГБОУ ВО Астраханский ГМУ Минздрава России.

Благодарности. Участники исследования выражают благодарность персоналу, осуществлявшему уход за животными.

Информированное согласие на публикацию— неприменимо.

Поступила 07.08.2022. Принята 07.09.2022.

Для цитирования: Ажикова А.К., Самотруева М.А. Интенсивность окислительно-восстановительных процессов и психоэмоционального статуса крыс при ожоговом повреждении кожи // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина. 2022. Т. 26. № 3. С. 274—288. doi: 10.22363/2313-0245-2022-26-3-274-288

Redox intensity and psychoemotional status of rats in burn skin injury

Alfiya K. Azhikova  , Marina A. Samotrueva 

Astrakhan State Medical University, Astrakhan, Russian Federation
 alfia-imacheva@mail.ru

Abstract. Relevance. Currently, the problem of regeneration of damaged skin, including of a burn nature, remains relevant. The work describes the results of the study of the redox intensity and of the psychoemotional status of rats in thermal skin injury. *The aim of the study* is an experimental study of the redox intensity and of the psychoemotional status of rats in burn skin injury. *Materials and Methods.* The study was conducted on nonlinear male rats of average weight 250 grams for 6—8 months. To assess psychoemotional status, studies were carried out using standard psychophysiological methods: «Open Field», «Elevated cruciform maze», «Suok Test» and «Porsolt.» The intensity of redox processes in the hypothalamic and prefrontal regions of the brain was assessed by determining the intensity of lipid peroxidation and catalase activity. The activity of lipid peroxidation was determined by the initial content of malonic dialdehyde, as well as by the rate of spontaneous and ascorbic peroxidation

of lipids. *Results and Discussion.* During the study, it was found that burn damage to the skin was accompanied by an increase in the concentration of TBC-active products of lipid peroxidation in the hypothalamic and prefrontal regions of the brain of rats, which resulted in the development of oxidative stress. Burn injury initiated peroxidation processes in the studied areas of the brain, the most pronounced in the early period of the burn process (on days 2—4), with varying degrees decreasing in the following periods (on days 7, 10). The results of the assessment of the psychoemotional status of animals in burn skin injury in standard behavioral tests confirm the involvement of the nervous system in response to stress, the reflex activity of which under stressful conditions manifests itself in a change in behavioral reactions. In the conditions of burn damage to the skin, signs of an alarming-depressive state, in particular disorientation in space, suppression of the psychoemotional state, and a change in the nature of behavioral reactions were noted. *Conclusion.* Thus, the revealed changes in the intensity of redox processes and the peculiarities of the psychoemotional status of rats in burn skin damage are the result of biochemical and functional disorders of the brain, activated during protective and adaptation reactions in burn injury.

Key words: psychoemotional status, behavior, burn injury, lipid peroxidation, catalase, Open field, Elevated cruciform maze, Bitch test, Porsolt

Funding. The authors received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

Author contributions. Azhikova A.K.—collection and processing of materials, analysis of the received data, writing the text. Samotrueva M.A.—concept and design of the study; text correction. All authors have made significant contributions to the development concepts, research and manuscript preparation, read and approved final version before publication.

Conflicts of interest statement. The authors declare no conflict of interest.

Ethics approval. When working with animals, they adhered to a humane attitude in accordance with the provisions of the Declaration of Helsinki (1964—2013), the provisions the Commission on Ethics of Attitudes towards Animals of the Russian National Committee on Bioethics at the Russian Academy of Sciences and the recommendations of the Ethics Committee of Astrakhan State Medical University.

Acknowledgements. Participants in the study express their gratitude to the staff cared for the animals.

Consent for publication—not applicable.

Received 07.08.2022. Accepted 07.09.2022.

For citation: Azhikova AK, Samotrueva MA. Redox intensity and psychoemotional status of rats in burn skin injury. *RUDN Journal of Medicine.* 2022;26(3):274—288. doi: 10.22363/2313-0245-2022-26-3-274-288

Введение

В настоящее время на фоне сложившейся ситуации в мире актуальной остается проблема повреждения кожи, в том числе ожогового характера. Поражая кожу, ожоговая травма запускает каскад последовательных реакций на уровне целого организма [1]. Это провоцирует дезорганизацию структурно-функциональных связей между иммунной, нервной и эндокринной системами, координирующих физиологические и патофизиологические процессы в коже [2].

Доказано, что любой стресс, в том числе и ожогового характера, способствует срыву процессов адаптации, затрагивая центральные механизмы врожденных и приобретенных программ поведения, что может приводить к необратимым нарушениям со стороны функциональных систем организма [3]. Учитывая тот факт, что стресс представляет собой комплекс физиологических и эмоциональных реакций, затрагивающих все уровни организации организма, важное значение имеет понимание нейрорегуляторных регуляторных механизмов, лежащих

в основе адаптивно-восстановительных процессов организма [4, 5].

Исходя из представлений о важной роли центральной нервной системы в формировании стрессорной реакции при различных воздействиях, представляет интерес изучение функциональных особенностей отделов головного мозга в условиях стресса ожогового характера [6]. Несмотря на достаточную изученность морфофункциональных изменений внутренних органов при стрессе ожогового характера, недостаточно изучено психоэмоциональное состояние организма [6—9]. Поскольку двигательная активность является функциональной производной мозга, результаты исследований в этом направлении имеют важное значение при постожоговых состояниях и поиске комплексных системных средств коррекции. Кроме того, не исследованы биохимические ожог-опосредованные нарушения на уровне головного мозга. Учитывая тот факт, что на фоне ожоговой травмы инициируются стресс-адаптационные механизмы, в которых важную роль играет перекисное окисление липидов (ПОЛ), интерес представляет исследование состояния антиоксидантной системы организма. Изменение процессов ПОЛ является проявлением любого патологического состояния на клеточном и биохимическом уровнях [10, 11]. Выбор префронтальной и гипоталамической зон головного мозга для исследования ПОЛ обусловлен их прямой вовлеченностью в управляющие функции, которые обеспечивают многие виды деятельности (движение, мышление, внимание, поведение, регуляция физиологических и патофизиологических процессов, процессов адаптации и дезадаптации). Кроме того, известно, что одним из промежуточных продуктов ПОЛ является малоновый диальдегид (МДА) и по его количеству можно судить о скорости реакций перекисного окисления липидов. Антиоксидантный фермент каталаза предупреждает инициацию свободно-радикального окисления, играя основную роль в разложении перекиси водорода, которая наиболее опасна для клеток.

Принимая во внимание вышесказанное, считаем актуальным изучение окислительно-восста-

новительной реакции организма на стрессогенное воздействие, а также возможных постстрессовых поведенческих и тревожно-депрессивных расстройств в условиях ожоговой травмы.

Цель исследования — изучение интенсивности окислительно-восстановительных процессов и психоэмоционального статуса животных при ожоговом повреждении кожи.

Материалы и методы

Исследование проводили на белых беспородных крысах-самцах (6—8 мес, вес 250—270 г). Животные были разделены на 5 групп (n=7): 1 группа «контроль» — интактные особи, 4 опытные группы — «Ожог 2 сутки», «Ожог 4 сутки», «Ожог 7 сутки», «Ожог 10 сутки» — особи, подвергшиеся термическому ожоговому воздействию. У животных опытных групп моделировали контактную термическую травму в межлопаточной области спины в условиях эфирной наркотизации. На депилированный участок кожи накладывали медный предмет диаметром 1,5 см, нагретый в кипящей воде до 100 °С, с экспозицией 5 с. Животных выводили из эксперимента на 2, 4, 7, 10 сутки после ожогового воздействия. Декапитацию проводили в условиях эфирной наркотизации.

При работе с животными придерживались гуманного отношения согласно положениям Хельсинкской декларации (1964—2013), Приказа Минздрава России № 199н от 01.04.2016 г. «Об утверждении правил надлежащей лабораторной практики» (GLP). Содержание животных соответствовало требованиям комиссии Российского национального комитета по биоэтике при Российской академии наук и рекомендациям Этического комитета ФГБОУ ВО Астраханский ГМУ Минздрава России (протокол № 4 от 21.11.2016 г.).

Для оценки психоэмоционального статуса были проведены исследования с использованием стандартных психофизиологических методов: «Открытое поле», «Приподнятый крестообразный лабиринт», «Суок-тест» и «Порсолт» [12].

В тесте «Открытое поле» (ОП) изучаются особенности ориентировочно-исследовательского поведения, уровень скрытого эмоционального напряжения и резистентности к стрессу. Он является классической моделью конфликта двух мотиваций, двух врожденных реакций — стремление к исследованию нового окружения и реакцией избегания освещенных мест. Значимыми критериями являются латентное время первого движения с центрального квадрата, число пересеченных квадратов, время и число вставаний на задние лапы (стойки), стойки с опорой, время грумингов, число фризингов и болюсов.

Тест «Приподнятый крестообразный лабиринт» (ПКЛ) является одним из наиболее общепринятых тестов для оценки тревожного состояния. Регистрируются следующие показатели — время нахождения в открытых частях лабиринта — открытых рукавах (ОР), центре и закрытых частях лабиринта — закрытых рукавах (ЗР) лабиринта; число выходов в ОР, центр и ЗР; общее число входов/выходов в рукава и центр; число переходов из одного ЗР в другой; число заглядываний под лабиринт.

«Суок-тест» (СТ) описывает поведение животных в условиях новизны. Большую роль играет баланс мотиваций — стремление исследовать новую обстановку (неофилия) и страх перед ней (неофобия, тревога) — в формировании поведения животного в данных условиях. В ходе наблюдения определяются следующие показатели: количество пересеченных сегментов (горизонтальная активность), в том числе и центральных, количество заглядываний вниз, число соскальзываний задних лап, продолжительность периодов неподвижности (замирания).

Тест поведенческого отчаяния (принудительное плавание, тест Порсолта) является моделью оценки депрессивноподобного состояния. Суть метода в том, что животные, попадая в воду, начинают активное движение, направленное на поиск выхода из неприятной ситуации. Затем животные оставляют попытки выбраться из сосуда и зависают в воде в характерной позе, оставаясь полностью неподвижными или совершая незначительные движения, которые необходимы для поддержания «мордочки»

над поверхностью воды. Показателем выраженности депрессивного состояния по данному тесту является длительность неподвижности животных. В тесте поведенческого отчаяния после активных попыток избавления из аверсивной ситуации у животных наступает стадия иммобилизации, которая отражает депрессивное состояние.

Интенсивность окислительно-восстановительных процессов в гомогенатах гипоталамической и префронтальной долей головного мозга оценивали по интенсивности перекисного окисления липидов и активности фермента каталазы. Об активности перекисного окисления липидов судили по исходному содержанию малонового диальдегида и по скорости спонтанного и аскорбатзависимого перекисного окисления липидов [13].

Результаты исследования обрабатывали методами вариационной статистики с использованием программы Microsoft Office Excel 2007 (Microsoft, США) (определение t-критерия Стьюдента). Достоверность различий в экспериментальных группах оценивали при уровне достоверности $p \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение

В условиях физиологической нормы животные из контрольной группы в тесте «Открытое поле» показывали признаки нормального состояния, передвигались умеренным темпом. Проявляли исследовательско-познавательный интерес к отверстиям установки, активно изменяли горизонтальное положение тела на вертикальное, без опоры о стенку установки и с опорой, спокойно пересекали центральный квадрат установки. В единичных случаях отмечали кратковременный груминг. Наблюдали нечастые фекальные болюсы.

В тесте ОП у животных с ожоговой травмой на 2—4 сутки после ожога отмечали изменения поведения в виде состояния тревожности, безразличия, депрессивного настроения, снижения локомоторной (количество пересеченных квадратов) и исследовательско-познавательной активности (исследование отверстий, вертикальные стойки с опорой, переходы через центр), сопряженные со снижением показате-

лей более чем на 50 % по сравнению с интактными особями ($p < 0,001$). При этом регистрировали моменты кратковременного груминга и акт дефекации на 50 % ($p < 0,01$), в отличие от интактных животных. В единичных случаях отмечали фризинг, не более 10 % ($p < 0,001$) (Табл. 1).

Таблица 1

Влияние ожоговой травмы на поведение животных в тесте «Открытое поле»

Поведенческие показатели ($M \pm m$)	Контроль (интактные)	Ожог 2 сутки	Ожог 4 сутки	Ожог 7 сутки	Ожог 10 сутки
Горизонтальная двигательная активность – Количество пересеченных квадратов	30,4 ± 2,9	19,0 ± 2,8*	16,3±0,8***	21,6±1,28***	25,1±1,4**#
Вертикальная двигательная активность – «стойки»	13,1 ± 0,9	7,4 ± 0,8**	6,2±0,3***	9,3±0,4**	11,4±0,9*#
Время в центре, с	5,1 ± 0,1	3,2± 0,02*	7,4±0,5*	5,1±0,1	3,7±0,2**
Исследование «норок»	2,3 ± 0,2	1,9 ± 0,2*	1,5±0,1*	1,9±0,2*	3,6±0,2**
Переходы через центр	0,4 ± 0,1	0,2 ± 0,02*	0,2±0,1*	0,4±0,1	0,5±0,1*##
Кратковременный груминг	3,0 ± 0,4	6,7 ± 0,1***	6,9±0,3***	2,1±0,1**	1,5±0,3***###
Фекальные болюсы	0,6 ± 0,1	1,8 ± 0,4**	1,5±0,6**	0,7±0,1*	0,4±0,2*
Фризинг	0,08± 0,01	0,2± 0,1***	0,1±0,01*	0	0

Примечание: * — $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$; *** — $p < 0,001$ — относительно контроля; # — $p < 0,05$; ## — $p < 0,01$; ### — $p < 0,001$ — относительно группы «Ожог, 2 сутки» (t-критерий Стьюдента с поправкой Бонферрони)

Table 1

Effect of burn injury on animal behavior in the test «Open field»

Indicators of behavior ($M \pm m$)	Intact animals not exposed to burns (control)	On the 2nd day after the burn	On the 4nd day after the burn	On the 7nd day after the burn	10 days after the burn
Horizontal Motor Activity – Number of Intersected Squares	30.4 ± 2.9	19.0 ± 2.8*	16.3±0.8***	21.6 ± 1.28***	25.1 ± 1.4**#
Vertical motor activity	13.1 ± 0.9	7.4 ± 0.8**	6.2±0.3***	9.3 ± 0.4**	11.4 ± 0.9*#
Time in the center. s	5.1 ± 0.1	3.2± 0.02*	7.4±0.5*	5.1 ± 0.1	3.7 ± 0.2**
Examination of holes	2.3 ± 0.2	1.9 ± 0.2*	1.5±0.1*	1.9 ± 0.2*	3.6 ± 0.2**
Transitions through the center	0.4 ± 0.1	0.2 ± 0.02*	0.2±0.1*	0.4 ± 0.1	0.5 ± 0.1*##
Short-term grooming	3.0 ± 0.4	6.7 ± 0.1***	6.9±0.3***	2.1 ± 0.1**	1.5±0.3***###
Fecal boluses	0.6 ± 0.1	1.8 ± 0.4**	1.5±0.6**	0.7 ± 0.1*	0.4 ± 0.2*
Friezing	0.08± 0.01	0.2± 0.1***	0.1±0.01*	0	0

Note: * — $p < 0.05$; ** — $p < 0.01$; *** — $p < 0.001$ — relative to control; # — $p < 0.05$; ## — $p < 0.01$; ### — $p < 0.001$ — relative to the group «Burn, 2 days» (Student's Bonferroni-adjusted t-test)

К концу первой недели наблюдали достоверное увеличение исследуемых показателей активности животных. К середине второй недели отмечали уменьшение времени, проведенного в центре установки, увеличение исследовательской, горизонтальной и вертикальной двигательной активности, по сравнению с группой «Ожог, 2 сутки», что

приближалось к значениям группы «Контроль», при этом явления фризинга не выявлено.

В условиях физиологической нормы животные из контрольной группы показывали в тесте «Приподнятый крестообразный лабиринт» (ПКЛ) признаки нормального состояния, проявляли исследовательско-познавательный интерес, передви-

гались в открытые и закрытые части лабиринта. Спокойно изменяли горизонтальное положение тела на вертикальное, без опоры о стенку установки и с опорой, пересекали центральную зону установки. В единичных случаях наблюдали фекальные болюсы.

Особенности поведения животных с ожоговой травмой в тесте ПКЛ подтверждают формирование физического истощения, эмоционального напряжения в ранний период ожогового процесса (Табл. 2). Это проявлялось заметным уменьшением на 2—4 сутки числа выходов в открытые части лабиринта и длительностью пребывания на них ($p < 0,001$); угнетением двигательной активности (пребывание в темных закрытых отделах лабиринта, пересечение центральной зоны) ($p < 0,05$). Кроме того, угнеталась и познавательная активность (вертикальные положения тела, «выглядывания» из закрытых отделов лабиринта, «свешивания» с открытых отделов лабиринта) ($p < 0,001$) по сравнению с интактными особями.

Однако увеличивались показатели кратковременного груминга ($p < 0,01$), ЛП выхода в открытые отделы лабиринта ($p < 0,05$) и продолжительность фризинга ($p < 0,001$). Повышенная тревожность сохранялась в течение первой недели (7 сутки), что проявлялось в виде снижения пребывания в открытых и увеличения — в закрытых частях лабиринта ($p < 0,001$); уменьшения центральных переходов ($p < 0,05$). Кроме того, угнеталась и познавательная активность. К середине второй недели (10 сутки), увеличилось время проведенное в открытых рукавах, более чем на 40 % ($p < 0,05$) в сравнении с группой крыс «2 сутки». Также было выявлено повышение количества стоек, переходов через центр, «свешиваний» с открытых рукавов, «выглядываний» из закрытых рукавов, груминга в сравнении с животными «Ожог 2 сутки».

Таким образом, результаты исследования в тесте ПКЛ указывают на развитие на фоне ожогового стресса состояния повышенной ситуативной подавленности и тревожности.

Таблица 2

Влияние ожоговой травмы на поведение животных в тесте «Приподнятый крестообразный лабиринт» (ПКЛ)

Поведенческие показатели ($M \pm m$)	Контроль (интактные)	Ожог 2 сутки	Ожог 4 сутки	Ожог 7 сутки	Ожог 10 сутки
Пребывание в открытых рукавах, с	151,5 ± 3,6	98,7 ± 4,2***	117,8 ± 7,9**	123,7 ± 2,7***	162,3 ± 5,1##
ЛП выхода в открытые рукава, с	1,6 ± 0,1	13,8 ± 0,7*	10,5 ± 0,6*	6,8 ± 0,3*	3,5 ± 0,3##
Пребывание в закрытых рукавах, с	145,2 ± 3,3	199,1 ± 4,7**	179,6 ± 4,7**	173,5 ± 3,7*	134,8 ± 3,3##
Выходы в центр	1,9 ± 0,2	1,1 ± 0,1**	1,5 ± 0,4**	1,8 ± 0,1**	2,2 ± 0,5#
Время, проведенное в центре, с	3,3 ± 1,0	2,2 ± 0,5*	2,6 ± 0,1*	2,8 ± 0,3*	2,9 ± 0,5##
Переходы через центр	4,4 ± 0,5	3,2 ± 0,3**	3,8 ± 0,1**	4,1 ± 0,1**	4,7 ± 0,1#
Стойки	4,1 ± 0,2	1,7 ± 0,1***	2,1 ± 0,4***	3,4 ± 0,1***	4,5 ± 0,2##
«Свешивания» с открытых рукавов	1,1 ± 0,2	0,8 ± 0,1***	0,6 ± 0,1***	0,7 ± 0,2**	1,3 ± 0,1##
«Выглядывания» из закрытых рукавов	2,0 ± 0,4	0,8 ± 0,1***	0,9 ± 0,1***	1,2 ± 0,1**	1,4 ± 0,1##
Фекальные болюсы	1,3 ± 0,2	1,9 ± 0,3**	2,3 ± 0,3**	1,5 ± 0,2**	1,1 ± 0,1#
Фризинг	1,1 ± 0,4	9,1 ± 0,1***	4,5 ± 0,1***	2,5 ± 0,1**	0,7 ± 0,2##
Груминг	4,1 ± 0,4	7,2 ± 0,1**	6,7 ± 0,4**	6,2 ± 0,1*	5,7 ± 0,1#

Примечание: * — $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$; *** — $p < 0,001$ — относительно контроля; # — $p < 0,05$; ## — $p < 0,01$; ### — $p < 0,001$ — относительно группы «Ожог, 2 сутки» (t-критерий Стьюдента с поправкой Бонферрони)

Table 2

Effect of burn injury on animal behavior in the test «Elevated cruciform maze» (ECM)

Indicators of behavior (M ± m)	Intact animals not exposed to burns (control)	On the 2nd day after the burn	On the 4th day after the burn	On the 7th day after the burn	10 days after the burn
Staying in open sleeves, s	151.5±3.6	98.7±4.2***	117.8±7.9**	123.7±2.7***	162.3±5.1##
Latent period of exit into open sleeves, s	1.6±0.1	13.8±0.7*	10.5±0.6*	6.8±0.3*	3.5±0.3##
Staying in closed sleeves, s	145.2±3.3	199.1±4.7**	179.6±4.7**	173.5±3.7*	134.8±3.3##
Exits to the center	1.9±0.2	1.1±0.1**	1.5±0.4**	1.8±0.1**	2.2±0.5#
Time spent at the centre, s	3.3±1.0	2.2±0.5*	2.6±0.1*	2.8±0.3*	2.9±0.5##
Transitions through the center	4.4±0.5	3.2±0.3**	3.8±0.1**	4.1±0.1**	4.7±0.1#
vertical stand	4.1±0.2	1.7±0.1***	2.1±0.4***	3.4±0.1***	4.5±0.2##
«Hanging» from open sleeves	1.1±0.2	0.8±0.1***	0.6±0.1***	0.7±0.2**	1.3±0.1##
«Peeking out» of closed sleeves	2.0±0.4	0.8±0.1***	0.9±0.1***	1.2±0.1**	1.4±0.1##
Fecal boluses	1.3±0.2	1.9±0.3**	2.3±0.3**	1.5±0.2**	1.1±0.1#
Friezing	1.1±0.4	9.1±0.1***	4.5±0.1***	2.5±0.1**	0.7±0.2##
Grooming	4.1±0.4	7.2±0.1**	6.7±0.4**	6.2±0.1*	5.7±0.1#

Note: * — $p < 0.05$; ** — $p < 0.01$; *** — $p < 0.001$ — relative to control; # — $p < 0.05$; ## — $p < 0.01$; ### — $p < 0.001$ — relative to the group «Burn, 2 days» (Student's Bonferroni-adjusted t-test)

В условиях физиологической нормы животные из контрольной группы показывали в тесте «Суок-тест» признаки нормального состояния, латентный период выхода из центра был не длительным. Время, проведенное в светлом отсеке, соответствовало времени, проведенному в темном отсеке. Темп движения был умеренным. Животные спокойно изменяли горизонтальное положение тела на вертикальное, без опоры о стенку установки и с опорой, пересекали центральную зону установки. В единичных случаях наблюдали фекальные болюсы.

В гибридной модели СТ животные с ожоговой травмой показывали общие признаки опасения и тревожности, причем как в светлом, так и темном отсеках планки (Табл. 3). На 2—4 сутки эксперимента в светлой половине шеста угнетение горизонтальной двигательной активности сопровождалось достоверным снижением темпа движения ($p < 0,001$), количества посещенных сегментов ($p < 0,01$), переходов через центр ($p < 0,001$). Латентный период выхода из центра также увеличивался в эти сроки ($p < 0,01$). При этом также подавлялась ориентировочно-познавательская активность (направленные движения головой, «заглядывания» вниз) ($p < 0,01$). В этот период наблюдали увеличение времени пребывания в светлой половине СТ ($p < 0,001$), учащение

соскальзываний задних лап ($p < 0,01$), увеличение актов дефекации ($p < 0,05$) и актов кратковременного груминга ($p < 0,01$).

Наряду с этим в темном отсеке СТ на 2—4 сутки было отмечено уменьшение времени пребывания в темном отсеке ($p < 0,001$) и снижение посещенных сегментов ($p < 0,01$), подавление исследовательского поведения, проявляющееся достоверным снижением «заглядываний вниз» ($p < 0,001$) и числа направленных движений головой ($p < 0,05$). В эти сроки наблюдали учащение соскальзываний задних лап на 50 % ($p < 0,01$), увеличение актов дефекации и показателей кратковременного груминга ($p < 0,01$) по сравнению с контрольными значениями (Табл. 3).

При анализе поведения животных на 7 и 10 сутки послеожогового периода регистрировали постепенное увеличение времени ($p < 0,001$), проведенного в темном отсеке, а также числа посещенных сегментов в темном отсеке ($p < 0,01$) по сравнению с 2 и 4 сутками, показатели приравнивались к контрольным значениям. К концу первой недели эксперимента выявляли изменение исследовательского поведения ($p < 0,001$), а к середине второй недели отмечали увеличение темпа движения и груминга ($p < 0,01$), уменьшение актов дефекации ($p < 0,05$) как в светлой, так и в темной стороне установки.

Таблица 3

Влияние ожоговой травмы на поведение животных в тесте «Суок-тест»

Поведенческие показатели (M ± m)	Контроль (интактные)	Ожог 2 сутки	Ожог 4 сутки	Ожог 7 сутки	Ожог 10 сутки
Латентный период выхода из центра, с	5,1±1,2	12,4 ± 1,4**	10,2±0,6**	7,9±0,4*	3,4±0,4*
Светлый отсек СТ					
Время, проведенное в отсеке, с	144,0±8,2	200,4± 2,5***	189,5±3,7***	150,4±3,1*	123,5±2,2**
Число посещенных сегментов	8,0 ± 1,3	3,2±0,2**	5,3±0,4**	8,5±0,4*	12,3±0,1**
Число остановок в отсеке	2,3±0,03	0,4±0,01**	0,6±0,01**	1,8±0,03*	5,6±0,08*
«Заглядывания» вниз	5,3±0,3	2,0±0,3**	3,8±0,3**	4,6±0,3*	5,9±0,4
Направленные движения головой	0,5±0,1	0,7±0,4*	0,6±0,1*	0,8±0,1*	1,2±0,1***
Соскальзывания задних лап	1,6±0,1	3,0±0,4**	2,8±0,3**	2,6±0,2***	1,9±0,1*
Среднее расстояние между остановками	1,7±0,3	0,9±0,05**	1,4±0,2*	1,5±0,2*	1,6±0,1
Темп движения, посещенные сегменты/300 с	0,1±0,02	0,06 ± 0,01***	0,07±0,01***	0,1±0,02*	0,3±0,02**
Грумминг	2,7 ± 0,5	8,5±0,1**	6,4±0,1**	3,4±0,8**	1,5±0,4**
Число фекальных болюсов	0,2±0,1	1,5±0,1*	1,3±0,1*	0,8±0,02*	0,4±0,01*
Темный отсек СТ					
Время, проведенное в отсеке, с	149,0±2,2	87,2±3,6***	95,8±3,0***	103,6±3,5***	117,9±1,5***
Число посещенных сегментов	14,2±1,4	9,2±0,4**	12,3±0,7**	14,8±0,7	18,3±0,4*
Число остановок в отсеке	6,1±0,4	4,8±0,1**	4,9±0,1**	5,1±0,2*	5,3±0,2*
«Заглядывания» вниз	6,3±0,2	4,2±0,3***	4,8±0,1***	5,2±0,1***	5,7±0,3*
Направленные движения головой	7,8±1,2	3,8 ± 0,3*	4,6±0,2*	4,8±0,3*	5,3±0,1**
Соскальзывания задних лап	2,1±0,3	4,7±0,3**	4,2±0,2**	3,7±0,1**	3,2±0,2**
Среднее расстояние между остановками	2,6±0,4	2,9±0,3*	2,8±0,7	2,4±0,4*	2,3±0,3*
Темп движения, посещенные сегменты/300 с	0,18±0,02	0,15±0,01*	0,2±0,01*	0,2±0,01*	0,3±0,02*
Грумминг	2,1±0,4	5,4±0,1**	4,8±0,1**	4,2±0,6**	3,1±0,4**
Число фекальных болюсов	0,3±0,1	1,1±0,2*	1,1±0,2*	0,8±0,1*	0,2±0,2*

Примечание: * — $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$; *** — $p < 0,001$ — относительно контроля; (t-критерий Стьюдента с поправкой Бонферрони)

Table 3

Effect of burn injury on animal behavior in the test «Bitch test»

Indicators of behavior (M ± m)	Intact animals not exposed to burns (control)	On the 2nd day after the burn	On the 4th day after the burn	On the 7th day after the burn	10 days after the burn
Latent period of exit into open sleeves, s	5.1±1.2	12.4 ± 1.4**	10.2±0.6**	7.9±0.4*	3.4±0.4*
Light compartment					
Time spent in the compartment, s	144.0±8.2	200.4± 2.5***	189.5±3.7***	150.4±3.1*	123.5±2.2**
Number of segments visited	8.0 ± 1.3	3.2±0.2**	5.3±0.4**	8.5±0.4*	12.3±0.1**
Number of stops in the compartment	2.3±0.03	0.4±0.01**	0.6±0.01**	1.8±0.03*	5.6±0.08*
«Looking Down»	5.3±0.3	2.0±0.3**	3.8±0.3**	4.6±0.3*	5.9±0.4
Directional head movements	0.5±0.1	0.7±0.4*	0.6±0.1*	0.8±0.1*	1.2±0.1***
Hind foot slips	1.6±0.1	3.0±0.4**	2.8±0.3**	2.6±0.2***	1.9±0.1*
Average distance between stops	1.7±0.3	0.9±0.05**	1.4±0.2*	1.5±0.2*	1.6±0.1
Pace of movement, visited segments /300 s	0.1±0.02	0.06 ± 0.01***	0.07±0.01***	0.1±0.02*	0.3±0.02**

End table 3

Indicators of behavior (M ± m)	Intact animals not exposed to burns (control)	On the 2nd day after the burn	On the 4th day after the burn	On the 7th day after the burn	10 days after the burn
Grooming	2.7 ± 0.5	8.5±0.1**	6.4±0.1**	3.4±0.8**	1.5±0.4**
Number of faecal boluses	0.2±0.1	1.5±0.1*	1.3±0.1*	0.8±0.02*	0.4±0.01*
Dark compartment					
Time spent in the compartment, s	149.0±2.2	87.2±3.6***	95.8±3.0***	103.6±3.5***	117.9±1.5***
Number of segments visited	14.2±1.4	9.2±0.4**	12.3±0.7**	14.8±0.7	18.3±0.4*
Number of stops in the compartment	6.1±0.4	4.8±0.1**	4.9±0.1**	5.1±0.2*	5.3±0.2*
«Looking Down»	6.3±0.2	4.2±0.3***	4.8±0.1***	5.2±0.1***	5.7±0.3*
Directional head movements	7.8±1.2	3.8 ± 0.3*	4.6±0.2*	4.8±0.3*	5.3±0.1**
Hind foot slips	2.1±0.3	4.7±0.3**	4.2±0.2**	3.7±0.1**	3.2±0.2**
Average distance between stops	2.6±0.4	2.9±0.3*	2.8±0.7	2.4±0.4*	2.3±0.3*
Pace of movement, visited segments /300 s	0.18±0.02	0.15±0.01*	0.2±0.01*	0.2±0.01*	0.3±0.02*
Grooming	2.1±0.4	5.4±0.1**	4.8±0.1**	4.2±0.6**	3.1±0.4**
Number of fecal boluses	0.3±0.1	1.1±0.2*	1.1±0.2*	0.8±0.1*	0.2±0.2*

Note: * — $p < 0.05$; ** — $p < 0.01$; *** — $p < 0.001$ — relative to control; (Student's Bonferroni-adjusted t-test)

В условиях физиологической нормы животные из контрольной группы показывали в тесте «Порсолт» признаки нормального состояния, начинали двигаться с момента опускания в воду. Животные активно двигались в воде, иногда ныряли. Показатели иммобильности и латентного периода до первой иммобильности были высокими. Длительность активного плавания превышала пассивное плавание. В единичных случаях наблюдали фекальные болюсы.

В условиях ожоговой травмы в тесте «Порсолт» животные в ранний период 2—4 сутки также проявляли признаки угнетенного и депрессивноподобного состояния (Табл. 4). Было отмечено достоверное увеличение ЛП начального проявления двигательной активности ($p < 0,001$), длительности иммобильности, а также снижение ЛП по сравнению с интактными особями ($p < 0,001$). В большей степени было отмечено пассивное плавание ($p < 0,001$), при этом время активного плавания сократилось ($p < 0,05$).

Таблица 4

Влияние ожоговой травмы на поведение животных в тесте «Порсолт»

Поведенческие показатели (M±m)	Контроль (интактные)	Ожог 2 сутки	Ожог 4 сутки	Ожог 7 сутки	Ожог 10 сутки
ЛП до 1-го движения, с	1,5 ± 0,1	3,1 ± 0,3***	2,7±0,3***	2,6±0,6***	2,3±0,4**
ЛП до 1-й иммобильности, с	254,7±17,6	71,5 ± 7, 2***	124,5±4,8	154,5±9,8***	198,6±12,3**
Иммобильность, с	30,3 ± 1,2	60,6 ± 2,4***	51,7±2,4**	38,2±0,9*	23,4±1,1**
Пассивное плавание, с	80,8 ± 7,1	130,2 ± 2,7***	124,7±2,7***	101,6±2,7*	70,2±2,7*
Активное плавание, с	188,9 ± 6,5	109,2 ± 5,2**	124,6±4,3**	160,2±6,8**	206,4±6,2*
Фекальные болюсы	1,2 ± 0,1	3,4± 1,2**	3,1±0,8**	1,9±0,2**	1,4±0,1*

Примечание: * — $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$; *** — $p < 0,001$ — относительно контроля (t-критерий Стьюдента с поправкой Бонферрони)

Table 4

Effect of burn injury on animal behavior in test «Porsolt»

indicators of behavior (M±m)	Intact animals not exposed to burns (control)	On the 2nd day after the burn	On the 4nd day after the burn	On the 7nd day after the burn	10 days after the burn
Latent period before the first movement, s	1.5 ± 0.1	3.1 ± 0.3***	2.7±0.3***	2.6±0.6***	2.3±0.4**
Latent period to first immobility, s	254.7±17.6	71.5 ± 7. 2***	124.5±4.8	154.5±9.8***	198.6±12.3**
Immobility, s	30.3 ± 1.2	60.6 ± 2.4***	51.7±2.4**	38.2±0.9*	23.4±1.1**
Passive swimming, s	80.8 ± 7.1	130.2 ± 2.7***	124.7±2.7***	101.6±2.7*	70.2±2.7*
Active swimming, s	188.9 ± 6.5	109.2 ± 5.2**	124.6±4.3**	160.2±6.8**	206.4±6.2*
Number of fecal boluses	1.2 ± 0.1	3.4± 1.2**	3.1±0.8**	1.9±0.2**	1.4±0.1*

Note: * — p < 0.05; ** — p < 0.01; *** — p < 0.001 — relative to control (Student’s Bonferroni-adjusted t-test)

К 7 суткам также наблюдали достоверное увеличение латентного периода (p<0,001) до первого движения и до первой иммобильности, относительно контроля. Сравнивая межсуточные показатели бездвиженности, определили сокращение времени на 7 сутки (p<0,001), также сокращалась продолжительность пассивного плавания. К 10 суткам отмечали уменьшение времени, проведенного в пассивном

состоянии, увеличение двигательной активности, по сравнению с группой «Ожог, 2 сутки».

Активность перекисного окисления липидов в гомогенате гипоталамуса и префронтальной доли головного мозга оценивали по показателям, отражающим исходный уровень малонового диальдегида, скорости спонтанного и аскорбатзависимого перекисного окисления липидов и активность фермента каталазы (табл. 5, 6).

Таблица 5

Показатели ПОЛ гипоталамической области головного мозга крыс в условиях ожоговой травмы

Биохимические показатели (M ± m)	Уровень ПОЛ			Активность каталазы, %
	Исходный уровень МДА, M±m, нмоль/г ткани	Скорость спонтанного ПОЛ, M±m, нмоль/г-ч	Скорость аскорбатзависимого ПОЛ, M±m, нмоль/г-ч	
Контроль	25,7±1,3	2,4±0,2	14,3±0,7	5,4±0,1
«Ожог, 2 сутки»	42,4±0,7***	6,5±0,2***	21,4±0,5***	8,9±0,1***
«Ожог, 4 сутки»	37,1±0,4*	4,5±0,2***	18,3±0,2***	8,1±0,07***
«Ожог, 7 сутки»	33,9±0,1***	3,7±0,1***	17,8±0,2***	6,8±0,13***
«Ожог, 10 сутки»	28,9±0,4*, ###	2,8±0,1*, ###	16,4±0,4**, ###	5,8±0,3*

Примечание: * — p<0,05; ** — p<0,01; *** — p<0,001 — относительно группы «Контроль», # — p<0,05; ## — p<0,01; ### — p<0,001 — относительно группы «Ожог, 2 сутки» (t-критерий Стьюдента с поправкой Бонферрони)

Table 5

Rat hypothalamic brain lipid peroxidation in burn injury

Biochemical parameters (M ± m)	Lipid peroxidation level			Catalase activity, %
	Initial level of malonic dialdehyde, M±m, nanomol /grams of tissue	Spontaneous rate lipid peroxidation, M±m, nanomol /g-h	Ascorbic-dependent speed lipid peroxidation, M±m, nanomol /g-h	
Intact animals not exposed to burns (control)	25.7 ± 1.3	2.4 ± 0.2	14.3 ± 0.7	5.4 ± 0.1
On the 2nd day after the burn	42.4 ± 0.7***	6.5 ± 0.2***	21.4 ± 0.5***	8.9 ± 0.1***

End table 3

Biochemical parameters (M ± m)	Lipid peroxidation level			Catalase activity, %
	Initial level of malonic dialdehyde, M±m, nanomol /grams of tissue	Spontaneous rate lipid peroxidation, M±m, nanomol /g-h	Ascorbic-dependent speed lipid peroxidation, M±m, nanomol /g-h	
On the 4nd day after the burn	37.1±0.4*	4.5±0.2***	18.3±0.2***	8.1±0.07***
On the 7nd day after the burn	33.9±0.1***	3.7±0.1***	17.8±0.2***	6.8±0.13***
10 days after the burn	28.9±0.4*, ###	2.8±0.1*, ###	16.4±0.4*, ###	5.8±0.3*

Note: * — $p < 0.05$; ** — $p < 0.01$; *** — $p < 0.001$ — relative to control; # — $p < 0.05$; ## — $p < 0.01$; ### — $p < 0.001$ — relative to the group «Burn, 2 days» (Student's Bonferroni-adjusted t-test)

В физиологических условиях у животных контрольной группы чрезмерного накопления гидроперекисей не происходит, так как процессы ПОЛ находятся под контролем системы антиоксидантной защиты. Уровень каталазы в гипоталамической области головного мозга крыс в условиях ожоговой травмы находится в пределах нормальных значений.

При изучении интенсивности ПОЛ гипоталамической области головного мозга крыс было установлено, что термическая травма приводила к увеличению продуктов перекисного окисления по сравнению с контрольными значениями. Так, на 2 сутки после ожога уровень МДА поднимался на 58,7 % по сравнению с группой «Контроль», скорость спонтанного ПОЛ увеличивалась в 2,5 раза, а скорость аскорбатзависимого ПОЛ — в 1,5 раза. На 10 сутки отмечали восстановление в гомоген-

нате ткани гипоталамуса исходного уровня МДА, скоростей спонтанного и аскорбатзависимого ПОЛ по сравнению с группой «Контроль». Наряду с этим исходный уровень МДА в через 1,5 недели снижался на 30 % ($p < 0,001$) относительно группы «Ожог, 2 сутки». Отмечали также достоверное снижение спонтанного ПОЛ на 57 % ($p < 0,001$) и аскорбатзависимого ПОЛ на 23,3 % ($p < 0,001$) относительно животных группы «Ожог, 2 сутки».

Следует отметить увеличение активности каталазы в гипоталамической области головного мозга животных на 2 сутки «ожогового» стресса на 65 % ($p < 0,001$) и на 50 % ($p < 0,001$) на 4 сутки, на 26 % ($p < 0,01$) на 7 сутки, по сравнению с группой «Контроль». Однако к 10 суткам наблюдали постепенное восстановление активности каталазы до нормальных значений ($p < 0,05$).

Таблица 6

Показатели ПОЛ префронтальной области головного мозга крыс в условиях ожоговой травмы

Биохимические показатели (M ± m)	Уровень ПОЛ			Активность каталазы, %
	Исходный уровень МДА, M±m, нмоль/г ткани	Скорость спонтанного ПОЛ, M±m, нмоль/г-ч	Скорость аскорбатзависимого ПОЛ, M±m, нмоль/г-ч	
Контроль	17,8±0,7	4,1±0,2	13,8±0,9	6,9±0,7
«Ожог, 2 сутки»	29,4±0,5**	8,3±0,4**	21,7±0,8**	12,4±0,8***
«Ожог, 4 сутки»	32,3±2,3***	7,9±0,7**	19,3±1,5**	11,7±0,9**
«Ожог, 7 сутки»	25,3±2,7*, #	6,8±0,5***, #	17,4±0,9*, #	10,6±1,0**
«Ожог, 10 сутки»	19,1±0,5*, ###	4,8±0,4*, ###	15,8±0,5*, ###	8,4±1,03*

Примечание: * — $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$; *** — $p < 0,001$ — относительно группы «Контроль», # — $p < 0,05$; ## — $p < 0,01$; ### — $p < 0,001$ — относительно группы «Ожог, 2 сутки» (t-критерий Стьюдента с поправкой Бонферрони)

Table 6

Rat prefrontal brain lipid peroxidation in burn injury

Biochemical parameters (M ± m)	Lipid Peroxidation level			Catalase activity, %
	Initial level of malonic dialdehyde, M±m, nanomol / grams of tissue	Spontaneous rate Lipid Peroxidation, M±m, nanomol /g-h	Ascorbic-dependent speed Lipid Peroxidation, M±m, nanomol /g-h	
Intact animals not exposed to burns (control)	17.8±0.7	4.1±0.2	13.8±0.9	6.9±0.7
On the 2nd day after the burn	29.4±0.5**	8.3±0.4**	21.7±0.8**	12.4±0.8***
On the 4nd day after the burn	32.3±2.3***	7.9±0.7**	19.3±1.5**	11.7±0.9**
On the 7nd day after the burn	25.3±2.7*,#	6.8±0.5***,#	17.4±0.9*,#	10.6±1.0**
10 days after the burn	19.1±0.5*,###	4.8±0.4*,###	15.8±0.5*,###	8.4±1.03*

Note: * — $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$; *** — $p < 0,001$ — relative to control; # — $p < 0,05$; ## — $p < 0,01$; ### — $p < 0,001$ — relative to the group «Burn, 2 days» (Student's Bonferroni-adjusted t-test)

При изучении интенсивности ПОЛ префронтальной области головного мозга у интактных животных из группы «Контроль» показатели были в пределах нормальных значений. Активность антиоксидантного фермента каталазы соответствовала физиологическим показателям, что свидетельствовало о низком уровне пероксидации.

На фоне ожогового воздействия установлено увеличение исходного уровня МДА, скоростей спонтанного и аскорбатзависимого ПОЛ в ранние периоды ожоговой травмы (на 2 и 4 сутки) в среднем в 2 раза ($p < 0,01$) по сравнению с контрольными значениями. Максимальное увеличение уровня МДА на 65 % ($p < 0,001$) наблюдали на 4-е сутки после ожоговой травмы. К концу первой недели постожогового периода (7 сутки) уровень МДА начинает снижаться на 14 % ($p < 0,05$) по сравнению с группой «2 сутки». На 7 сутки в гомогенате ткани префронтальной области отмечали увеличение скорости спонтанного ПОЛ на 65,8 % ($p < 0,001$) и аскорбатзависимого ПОЛ на 26 % ($p < 0,05$) по сравнению с показателями группы «Контроль». К середине второй недели (10 суткам) наблюдали восстановление исходного уровня МДА ($p < 0,05$), а также скоростей ферментативного и неферментативного ПОЛ ($p < 0,05$) по сравнению с контрольными значениями. Также в этот период наблюдали снижение на 35 % ($p < 0,001$) исходного уровня МДА, а также скоростей ферментативного и неферментативного ПОЛ на 42 % ($p < 0,001$) и на 27 % ($p < 0,001$) соответственно относительно группы «2 сутки».

Активность каталазы в префронтальной доле головного мозга у животных на 2 и 4 сутки эксперимента на фоне «ожогового» стресса увеличилась в среднем более чем на 60 % ($p < 0,05$), а на 7 сутки — на 50 % ($p < 0,05$). На 10 сутки эксперимента наблюдали повышение активности каталазы лишь на 20 % ($p < 0,05$) по сравнению с контрольными значениями.

Выводы

Результаты оценки психоэмоционального статуса животных при ожоговом повреждении кожи в стандартных поведенческих тестах подтверждают вовлеченность нервной системы в ответ на стресс, рефлекторная деятельность которой в стрессовых условиях проявляется в изменении поведенческих реакций.

В ходе исследования было выявлено, что в изученных зонах головного мозга на фоне термической травмы происходили изменения, сопровождающие ожоговый процесс. При воздействии термического ожогового фактора у крыс развивались признаки стрессорной реакции — тревоги (1—2 сутки), резистентности (4—7 сутки) и истощения (10 сутки). Было показано, что в ранние сроки (2—4 сутки) послеожогового периода происходило развитие тревожно-фобического состояния, как следствие — формирование сенсомоторной дезактивации, депрессивно-подобной реакции и эмоционального истощения. К 10 суткам после термической травмы

отмечена тенденция к восстановлению нарушенных функций, проявляющаяся в ускорении темпа движения, увеличении горизонтальной и вертикальной двигательной активности, инициации исследовательских навыков.

В ходе исследования также установлено, что ожоговое повреждение кожи сопровождалось увеличением в гипоталамической и префронтальной областях головного мозга крыс концентрации ТБК-активных продуктов перекисного окисления липидов, результатом чего явилось развитие окислительного стресса. Ожоговая травма инициировала в изучаемых зонах головного мозга процессы перекисидации, наиболее выраженные в ранний период ожогового процесса (на 2—4 сутки), с разной степенью снижающиеся в последующие сроки (на 7, 10 сутки).

Таким образом, сопровождающие ожоговые повреждения кожи изменения интенсивности окислительно-восстановительных процессов и психоэмоционального статуса крыс являлись, на наш взгляд, следствием биохимических и функциональных нарушений отделов головного мозга, активизировавшихся в ходе защитно-адаптационных реакций при ожоговой травме.

Библиографический список

1. Belokhvostova D., Berzanskyte I., Cujba A.M., Jowett G., Marshall L., Prueller J., Watt F.M. Homeostasis, regeneration and tumour formation in the mammalian epidermis // *Int J. Dev Biol.* 2018. V. 62. № 6—7—8. P. 571—582.
2. Voisin T., Bouvier A., Chiu I.M. Neuro-immune interactions in allergic diseases: novel targets for therapeutics // *Int Immunol.* 2017. V. 29. № 6. P. 247—261. doi: <https://doi.org/10.1093/intimm/dxx040>
3. Cohen S., Gianaros P.J., Manuck S.B. A Stage Model of Stress and Disease. *Perspect Psychol Sci.* 2016. V. 11. № 4. P. 456—463. doi: [10.1177/1745691616646305](https://doi.org/10.1177/1745691616646305)
4. Doeselaar L., Yang H., Bordes J., Brix L., Engelhardt C., Tang F., Schmidt M.V. Chronic social defeat stress in female mice leads to sex-specific behavioral and neuroendocrine effects // *Stress.* 2021. V. 24. № 2. P. 168—180. doi: [10.1080/10253890.2020.1864319](https://doi.org/10.1080/10253890.2020.1864319)
5. Koolhaas J.M., Boer S.F., Buwalda B., Meerlo P. Social stress models in rodents: Towards enhanced validity // *Neurobiol. stress.* 2017. № 6. C. 104—112. doi: [10.1016/j.ynstr.2016.09.003](https://doi.org/10.1016/j.ynstr.2016.09.003)
6. Мурталиева В.Х., Цибизова А.А., Сергалиева М.У., Самотруева М.А. Влияние экстракта Астралага вздутого (*Astragalus physodes*) на поведенческие реакции животных в условиях «со-

циального» стресса // *Сибирский научный медицинский журнал.* 2022. Т. 42. № 3. С. 52—57.

7. Розанов В.А. Стресс и психическое здоровье (нейробиологические аспекты) // *Социальная и клиническая психиатрия.* 2013. Т. 23. № 1. С. 79—86.

8. Цибизова А.А., Сергалиева М.У., Орусханова Д.А., Самотруева М.А. Влияние меланокортиновых нейропептидов на поведенческие реакции белых крыс в условиях экспериментального сахарного диабета // *Астраханский медицинский журнал.* 2022. Т. 17. № 1. С. 72—78.

9. Ясеняевская А.Л., Самотруева М.А., Цибизова А.А., Мясоедов Н.Ф., Андреева Л.А. Влияние нейропептидов на психоэмоциональное состояние в условиях «социального» стресса // *Курский научно-практический вестник Человек и его здоровье.* 2020. № 3. С. 37—45.

10. Panda S., Dash Manoj K., Thatoi Pravat K., Dandapat J., Rath B. Oxidative stress correlates well with markers of metabolic syndrome in clinically hypothyroid cases: a hospital based case-control study in a remote tribal district // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина.* 2021. Т. 25. № 1. С. 55—65. doi: [10.22363/2313-0245-2021-25-1-55-65](https://doi.org/10.22363/2313-0245-2021-25-1-55-65)

11. Дурнова Н.А., Шереметьева А.С., Каретникова А.Ю. Анализ воздействия кофеина и диоксида на биохимические показатели крови мышей // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина.* 2021. Т. 25. № 1. С. 73—79. doi: [10.22363/2313-0245-2021-25-1-73-79](https://doi.org/10.22363/2313-0245-2021-25-1-73-79)

12. Самотруева М.А., Теплый Д.Л., Тюренков И.Н. Экспериментальные модели поведения // *Естеств. науки.* 2009. № 2. С. 140—152.

13. Мохаммед З.Д. Антиоксидантный статус организма при ожоговой травме легкой степени // *Межрегиональный сборник научных работ «Физиология и психофизиология мотиваций»*, Воронеж. 2001, Вып. 5. С. 35—38.

References

1. Belokhvostova D, Berzanskyte I, Cujba AM, Jowett G, Marshall L, Prueller J, Watt FM. Homeostasis, regeneration and tumour formation in the mammalian epidermis. *Int J. Dev Biol.* 2018;62(6—7—8):571—582.
2. Voisin T, Bouvier A, Chiu IM. Neuro-immune interactions in allergic diseases: novel targets for therapeutics. *Int Immunol.* 2017;29(6):247—261. doi: <https://doi.org/10.1093/intimm/dxx040>
3. Cohen S, Gianaros PJ, Manuck SB. A Stage Model of Stress and Disease. *Perspect Psychol Sci.* 2016;1(4):456—463. doi: [10.1177/1745691616646305](https://doi.org/10.1177/1745691616646305)
4. Doeselaar L, Yang H, Bordes J, Brix L, Engelhardt C, Tang F, Schmidt MV. Chronic social defeat stress in female mice leads to sex-specific behavioral and neuroendocrine effects. *Stress.* 2021;24(2):168—180. doi: [10.1080/10253890.2020.1864319](https://doi.org/10.1080/10253890.2020.1864319)
5. Koolhaas JM, Boer SF, Buwalda B, Meerlo P. Social stress models in rodents: Towards enhanced validity. *Neurobiol. stress.* 2017;6:104—112. doi: [10.1016/j.ynstr.2016.09.003](https://doi.org/10.1016/j.ynstr.2016.09.003)
6. Murtaliev V, Tsibizova AA, Sergaliev MU, Samotrueva MA. Influence of Astragalus physodes extract on animal behavioral

responses under «social» stress. *Siberian Scientific Medical Journal*. 2022;42(3):52—57 (In Russian).

7. Rozanov VA. Stress and mental health (neurobiological aspects). *Social and clinical psychiatry*. 2013;23(1):79—86 (In Russian).

8. Tsibizova AA, Sergalieva MU, Orushanova DA, Samotrueva MA. Effect of melanocortin neuropeptides on behavioral responses of white rats in the setting of experimental diabetes mellitus. *Astrakhan Medical Journal*. 2022;17(1):72—78 (In Russian).

9. Yasenyavskaya AL, Samotrueva MA, Tsibizova AA, Myasoedov NF, Andreeva LA. Effect of neuropeptides on the psycho-emotional state under «social» stress. *Kursk Scientific and Practical Bulletin Man and his health*. 2020;3:37—45 (In Russian).

10. Panda S, Dash Manoj K, Thatoi Pravat K, Dandapat J, Rath B. Oxidative stress correlates well with markers of metabolic syndrome in clinically hypothyroid cases: a hospital

based case-control study in a remote tribal district. *RUDN Journal of Medicine*. 2021;25(1):55—65. doi: 10.22363/2313-0245-2021-25-1-55-65

11. Durnova NA, Sheremetyeva AS, Karetnikova AYU. Analysis of the effects of caffeine and dioxidine on biochemical indicators of blood in mouse. *RUDN Journal of Medicine*. 2021;25(1):73—79. doi: 10.22363/2313-0245-2021-25-1-73-79

12. Samotrueva MA, Teplyy DL, Tyurenkov IN. Experimental models of behavior. *Natural Sciences*. 2009;(2):140—152 (In Russian).

13. Mohammed ZD. Antioxidant status of the body in mild burn injury. *Interregional collection of scientific works «Physiology and psychophysiology of motivations»*, Voronezh. 2001;5:35—38 (In Russian).

Ответственный за переписку: Альфия Кадыровна Ажикова — кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры биологии и ботаники Астраханского государственного медицинского университета, Российская Федерация, 414000, г. Астрахань, ул. М. Максаковой, д. 6. E-mail: alfia-imacheva@mail.ru

Ажикова А.К. SPIN-код 1245-3158; ORCID 0000-0001-9758-1638

Самотруева М.А. SPIN-код 5918-1341; ORCID 0000-0001-5336-4455

Corresponding author: Alfiya Azhikova — PhD, MD, Associate Professor at the Department of Biology and Botany, Astrakhan State Medical University, 414000, Maksakova 6, Astrakhan, Russian Federation. E-mail: alfia-imacheva@mail.ru

Azhikova A.K. ORCID 0000-0001-9758-1638

Samotrueva M.A. ORCID 0000-0001-5336-4455