

DOI 10.22363/2313-0245-2022-26-3-232-242

ОРИГИНАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ  
ORIGINAL RESEARCH

## Морфологические особенности супраоптического ядра гипоталамуса в динамике ожоговой травмы кожи

М.А. Самотруева , А.К. Ажикова  

Астраханский государственный медицинский университет, г. Астрахань, Российская Федерация  
 [alfia-imacheva@mail.ru](mailto:alfia-imacheva@mail.ru)

**Аннотация.** *Актуальность.* Актуальность исследования крупноклеточного ядра переднего гипоталамуса при повреждении кожи обусловлена важной ролью сопровождающих реактивных изменений нейроэндокринного регуляторного комплекса при стрессе. Поскольку гипоталамус является частью нейроэндокринной кооперации, в нем наблюдаются выраженные признаки структурной дезорганизации нейронов. *Цель исследования* — изучение структурных изменений в супраоптическом ядре гипоталамуса крыс в динамике термической ожоговой травмы кожи. *Материалы и методы.* Исследование проводили на лабораторных половозрелых крысах мужского пола. Для оценки морфологических особенностей супраоптического ядра гипоталамуса в динамике ожоговой травмы кожи были проведены гистологические методы исследования. В ходе морфологического анализа оценивали нейротопографическую организацию ядра и его структурную организацию. О структурных преобразованиях судили по форме и расположению нейронов, по форме перикарионов нейронов, по наличию очагового глиоза, отечности, спонгиоза. *Результаты и обсуждение.* Результаты морфологического анализа показали, что в условиях ожогового повреждения кожи в супраоптическом ядре гипоталамуса выраженные деструктивные изменения в виде очагового глиоза, отечности, спонгиоза, обратимого и необратимого повреждения нервных клеток происходили в начальный посттравматический период (на 2—4 сутки). Слабовыраженные структурные преобразования ткани на 7—10 сутки после ожогового воздействия отражали динамику восстановления поврежденных нервных клеток, свидетельствующей о частичной дезорганизации нервных клеток, носящей восстановительный характер. *Выводы.* Таким образом, выявленные структурные нарушения в супраоптическом ядре гипоталамуса могут быть расценены как незначительные, что свидетельствует о сложной внутренней организации супраоптического ядра гипоталамуса и его высокой резистентности к повреждающим экзогенным воздействиям. Морфологические особенности супраоптического ядра гипоталамуса подтверждает вовлеченность нейросекреторного аппарата в процессе адаптации к стрессу на фоне ожогового воздействия, селективное участие их нейрогормонов в регуляции нормальных и патологических состояний, оказывая широкий спектр физиологических влияний в развитии защитно-приспособительных механизмов.

**Ключевые слова:** морфология, гипоталамус, супраоптическое ядро, нейроны, клетки глии, ожоговая рана

**Информация о финансировании.** Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования.

© Самотруева М.А., Ажикова А.К., 2022



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

**Вклад авторов.** Самотруева М.А. — концепция и дизайн исследования, коррекция текста; Ажигова А.К. — сбор и обработка материалов, анализ полученных данных, написание 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 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 01.08.2021. Принята 07.09.2022.

**Для цитирования:** Самотруева М.А., Ажигова А.К. Морфологические особенности супраоптического ядра гипоталамуса в динамике ожоговой травмы кожи // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина. 2022. Т. 26. № 3. С. 232—242. doi: 10.22363/2313-0245-2022-26-3-232-242

## Supraoptic nucleus morphological features of the hypothalamus in the skin burn injury dynamics

Marina A. Samotrueva , Alfiya K. Azhikova  

Astrakhan State Medical University, Astrakhan, Russian Federation

 alfiya-imacheva@mail.ru

**Abstract. Relevance.** The relevance of the study of the large cell nucleus of the anterior hypothalamus in case of skin damage is due to the important role of accompanying reactive changes in the neuroendocrine regulatory complex in stress. Since the hypothalamus is part of neuroendocrine cooperation, it shows pronounced signs of structural disorganization of neurons. The purpose of the study is to study structural changes in the supraoptic nucleus of the hypothalamus of rats in the dynamics of thermal burn injury of the skin. **Materials and Methods.** The study was conducted in laboratory mature male rats. To assess the morphological features of the supraoptic nucleus of the hypothalamus in the dynamics of skin burn injury, histological examination methods were carried out. The morphological analysis evaluated the neurotopographic organization of the nucleus and its structural organization. Structural transformations were judged by the shape and location of neurons, by the shape of neuronal pericarions, by the presence of focal gliosis, swelling, spongiosis. **Results and Discussion.** The results of morphological analysis showed that in the conditions of burn damage to the skin in the supraoptic nucleus of the hypothalamus, pronounced destructive changes in the form of focal gliosis, swelling, spongiosis, reversible and irreversible damage to nerve cells occurred in the initial post-traumatic period (on days 2—4). Weak structural tissue transformations on days 7—10 after burn exposure reflected the dynamics of repair of damaged nerve cells, testifying to of partial disorganization of nerve cells of a restorative nature. **Conclusion.** Thus, the revealed structural disorders in the supraoptic nucleus of the hypothalamus can be regarded as insignificant, which indicates the complex internal organization of the supraoptic nucleus of the hypothalamus and its high resistance to damaging exogenous influences. The morphological features of the supraoptic nucleus of the hypothalamus confirm the involvement of the neurosecretory apparatus in the process of adaptation to stress against the background of burn

exposure, the selective participation of their neurohormones in the regulation of normal and pathological conditions, exerting a wide range of physiological influences in the development of protective and adaptive mechanisms.

**Key words:** morphology, hypothalamus, supraoptic nucleus, neurons, glia cells, burn wound

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

**Author contributions.** Samotrueva M.A.—concept and design of the study, text correction; Azhikova A.K.—collection and processing of materials, analysis of the received data, writing the text. 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.** Work with animals was carried out in accordance with the provisions of the Commission on the 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.** Study participants express their gratitude to the staff cared for the animals.

**Consent for publication**—not applicable.

Received 01.08.2022. Accepted 07.09.2022.

**For citation:** Samotrueva MA, Azhikova AK. Supraoptic nucleus morphological features of the hypothalamus in the skin burn injury dynamics. *RUDN Journal of Medicine*. 2022;26(3):232—242. doi: 10.22363/2313-0245-2022-26-3-232-242

## Введение

В основе патогенеза послеожоговых поражений кожи лежит нарушение межорганной морфофункциональной организации. Известно, что в ходе посттравматической репарации тканей восстановление гомеостаза осуществляется посредством сложных взаимосвязанных нейроэндокринных и иммунных взаимодействий. Во все фазы посттравматического периода осуществляется реализация реакций нервной системы и гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси к повреждающим факторам, сопровождающихся дизрегуляторными и защитно-адаптационными механизмами в головном мозге [1, 2].

Актуальность исследования структурно-функциональных особенностей мозговых структур в условиях ожоговой травмы обусловлена их прямой вовлеченностью в формирование адаптивных реакций организма. При этом важную роль играет гипоталамус, как один из основных нейроэндо-

кринных регуляторов гомеостаза. Обеспечивая сложные нейрогуморальные взаимодействия в ходе физиологических и патофизиологических процессов, гипоталамус участвует в обеспечении защитно-приспособительных реакций при различных видах стресса. Значима роль гипоталамуса в процессе коротко- и долгосрочной адаптации к стрессу—путем нейроэндокринного механизма регуляции в кровь секреторируются адаптогены. В свою очередь, нейросекреторные клетки по-особенному реагируют на локальные и системные раздражители: от наращивания секреции адаптогенов до физиологической дегенерации, приводящей к их декомпенсации [3].

Среди крупноклеточных образований переднего гипоталамуса, участвующих в поддержании гомеостаза, выделяют паравентрикулярное и супраоптическое ядра [4, 5]. К числу ядер, наиболее реактивных и одновременно уязвимых при стрессе, относится супраоптическое ядро гипоталамуса (SO).

На сегодняшний день остается малоизученным вопрос о структурно-функциональных изменениях в супраоптическом ядре гипоталамуса на фоне ожоговой травмы кожи. В частности, при стрессе ожогового характера не определены пределы возможной обратимости изменений нейросекреторных органов, что имеет важное значение при поиске средств коррекции и прогнозе течения послеожогового процесса. Кроме того, литературные данные не отражают изменения гипоталамических структур в динамике ожогового процесса [6—10]. В данном аспекте интерес представляет выявление морфологических изменений нейросекреторных клеток супраоптического ядра гипоталамуса в условиях ожоговой травмы.

Для изучения репаративного потенциала кожи во взаимосвязи с интегральными системами необходимо понимать защитно-адаптационные механизмы в динамике посттравматического периода. После воздействия патогенного фактора в организме запускаются механизмы воспаления, которые направлены на восстановление или замещение поврежденных тканевых структур (репаративную регенерацию). Поскольку воспалительно-регенеративные процессы имеют стадийно-временной характер, важным является изучение изменений в динамике ожоговой раны. Определение сроков наблюдения проводили в соответствии со стадиями посттравматической реакции: 2—4 сутки — фаза альтерации, 7 сутки — фаза экссудации, 10 сутки — фаза пролиферации.

**Цель исследования** — изучение структурно-функциональных особенностей супраоптического ядра гипоталамуса в динамике ожоговой травмы кожи.

## Материалы и методы

В качестве объекта исследования использовали белых нелинейных крыс, мужского пола, 6—8 мес., массой 230—250 г. Животных содержали в соответствии с требованиями комиссии Российского национального комитета по биоэтике при Российской академии наук и рекомендациями Этического комитета ФГБОУ ВО Астраханский ГМУ Минздрава России (протокол № 4 от 21.11.2016 г.). Животные были

разделены на группы, по 7 особей в каждой: 1 группа «Контрольная» — интактные особи, 4 опытные группы — «Ожог 2 сутки», «Ожог 4 сутки», «Ожог 7 сутки», «Ожог 10 сутки» — животные, которым на межлопаточную депилированную зону спины был нанесен термический ожог. Моделирование термического ожога проводили в условиях слабой эфирной наркотизации путем 5-секундного прикладывания на кожу спины медного круглого предмета, опущенного на 10 мин. в кипящую воду (100 °С).

Декапитацию животных проводили на 2, 4, 7, 10 сутки после ожогового воздействия под эфирным наркозом. Вскрывали черепную коробку, извлекали головной мозг и быстро погружали его в 10 %-й забуференный нейтральный раствор формальдегида. Фиксацию проводили в течение 2 суток. После этого образцы головного мозга промывали под проточной водой, подвергали обезвоживанию, помещая их в растворы этилового спирта восходящей концентрации (50—70 %, 80 %, 96 %, 100 %), просветляли в хлороформе, помещали в парафиновую среду Histomix® (Биовитрум, Россия), потом заливали в парафиновые блоки. На ротационном микротоме НМ340Е (MICROM, Германия) были приготовлены срезы толщиной 4 мкм. Депарафинирование срезов осуществляли ксилолом. Смонтированные на предметные стекла срезы опускали в краситель толуидиновый синий по методу Ниссля [8].

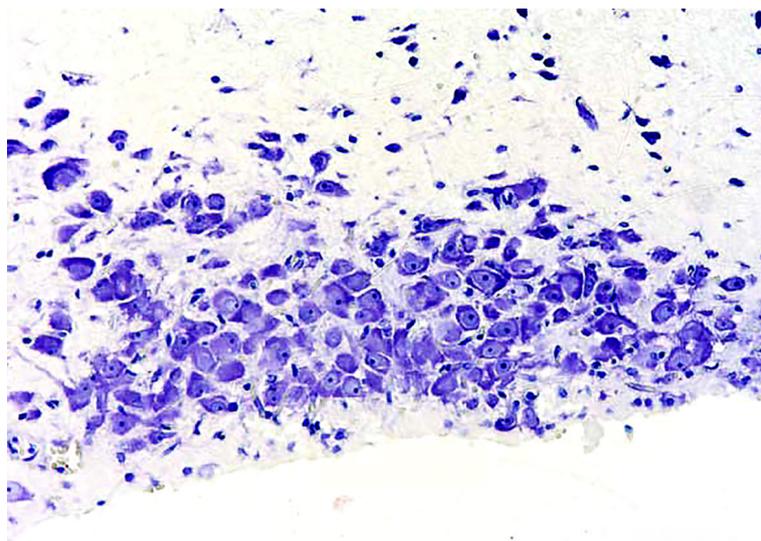
Проводили морфологический анализ супраоптического ядра гипоталамуса. Исследование микропрепаратов проводилось с помощью микроскопа «Axio Lab. A1», фотодокументирование осуществляли камерой «AxioCam 105 color».

## Результаты и обсуждение

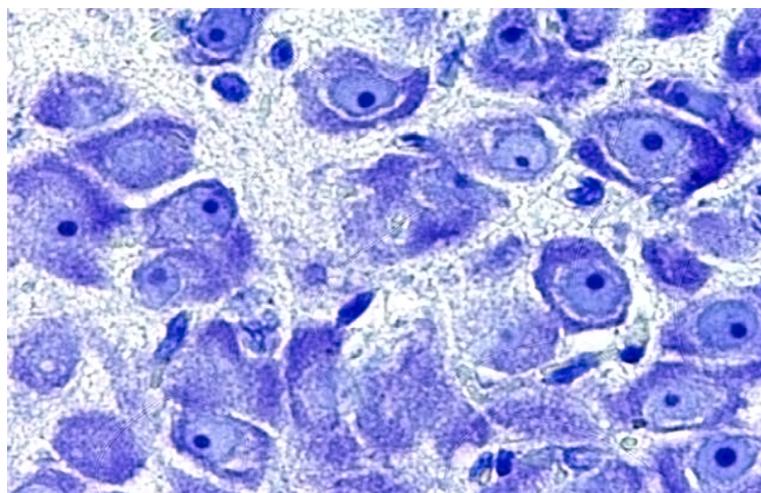
Супраоптическое ядро гипоталамуса животных контрольной группы представлено крупными (крупноклеточная часть) и мелкими нейронами (мелкоклеточная часть) и клетками глии. При морфологическом исследовании супраоптического ядра интактных животных обнаружены в основном нейроны больших размеров нормальной формы. Форма перикариона нейрона была эллипсоидной.

Расположение нейронов плотное. В центральной области перикариона нейрона наблюдали темно-окрашенные ядра. Ядра нейронов имели слабо выраженную базофильную окраску цитоплазмы.

Определяли локализацию ядрышек и в центральной, и в периферийной областях ядер. В ядрах нейронов наблюдали ядрышки, имеющие круглую форму (рис. 1, 2).



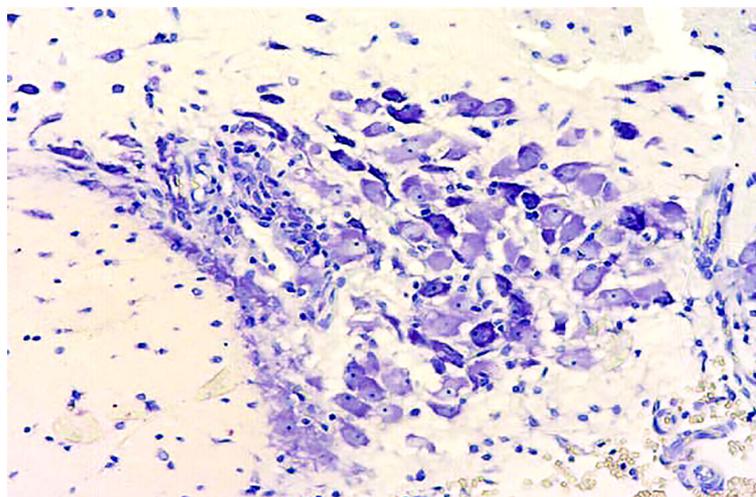
**Рис 1.** Нейротопографическая организация супраоптического ядра (SO) гипоталамуса животных контрольной группы; Ув.х100, окр. толуидиновый синий по методу Ниссля  
**Fig. 1.** Neurotopographic organization of the supraoptic nucleus (SON) of the hypothalamus in an intact rat; Microscope magnification.x100, staining of the preparation – toluidine blue according to the Nissl method



**Рис. 2.** Морфологическая характеристика супраоптического ядра (SO) животных контрольной группы; Ув.х400, окр. толуидиновый синий по методу Ниссля  
**Fig. 2.** Morphological characteristics of the supraoptic nucleus (SON) of the hypothalamus of an intact animal; Magnification of the microscope, x400, staining of the preparation – toluidine blue according to the Nissl method

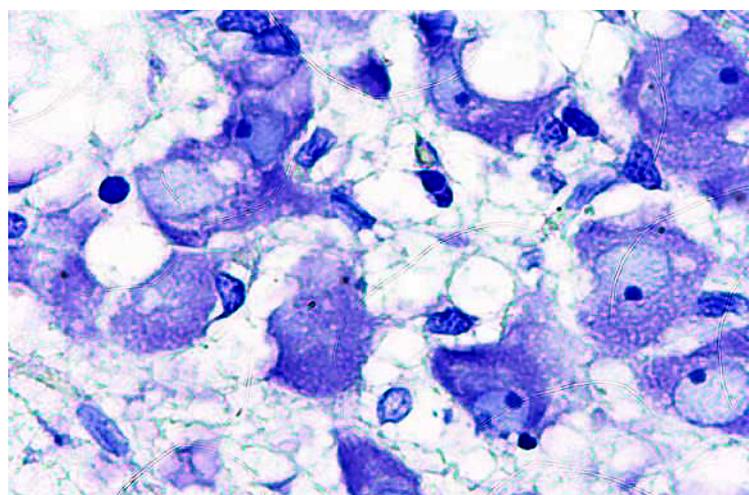
При морфологическом исследовании супраоптического ядра животных группы «Термический ожог, 2 сутки» обнаружены в большом объеме вакуолевидные полости, но встречались также крупные и средние поврежденные гетероморфные нейроны. Расположение нейронов не плотное по сравнению с интактными животными. Перикарионы нейронов

выглядели отечными, напряженными. Кроме того, отмечался лизис цитоплазмы, проявляющийся в виде светлого ободка вокруг ядра. В центральной области перикариона нейрона наблюдали мелкие ядра. Ядрышки локализованы беспорядочно. Отмечали большое число эктопированных ядрышек, прилежащих к ядерной оболочке (рис. 3, 4).



**Рис. 3.** Нейротопографическая организация супраоптического ядра (SO) гипоталамуса животных группы «Термический ожог 2 сутки»; Ув.х100, окр. толуидиновый синий по методу Ниссля

**Fig. 3.** Neurotopographic organization of the supraoptic nucleus (SON) of the hypothalamus of the rat group «Burn, 2 days»; Microscope magnification.x100, staining of the preparation – toluidine blue according to the Nissl method

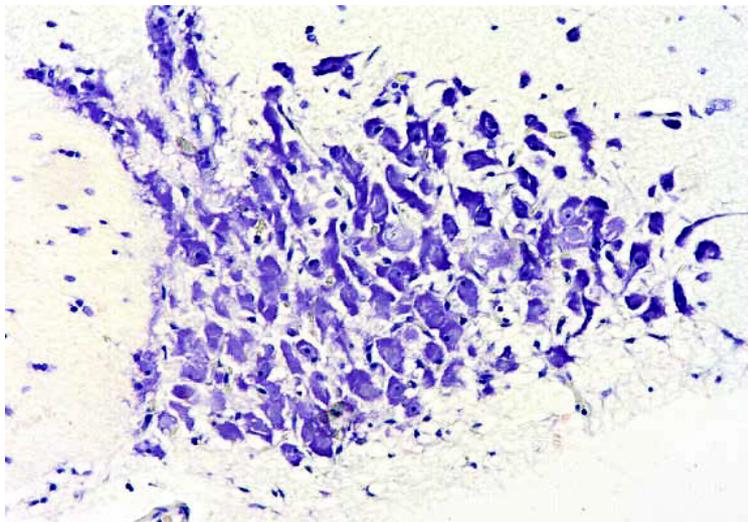


**Рис. 4.** Морфологическая характеристика супраоптического ядра (SO) гипоталамуса животных группы «Термический ожог 2 сутки»; Ув.х400, окр. толуидиновый синий по методу Ниссля

**Fig. 4.** Morphological characteristics of the supraoptic nucleus (SON) of the hypothalamus of the rat group «Burn, 2 days»; Magnification of the microscope, x400, staining of the preparation – toluidine blue according to the Nissl method.

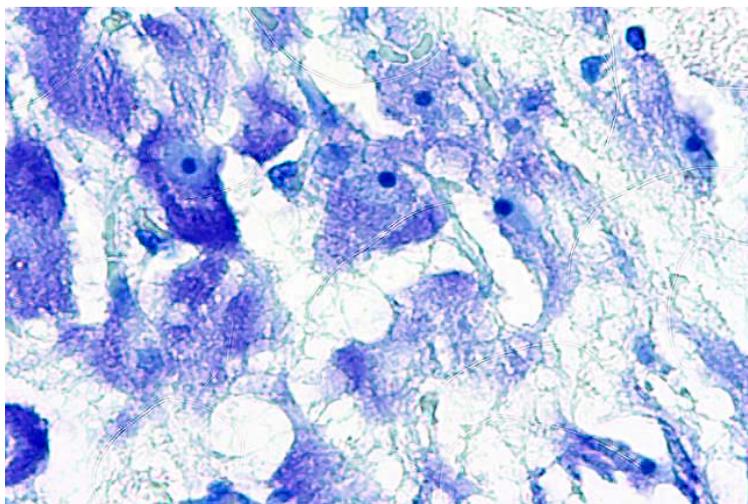
Морфологическая организация супраоптического ядра гипоталамуса животных группы «Термический ожог 4 сутки» представлена поврежденной нервной тканью, насыщенной вакуольными полостями. Обнаружены в большей степени нейроны неправильной формы. Расположение нейронов рассеянное, неравномерное. Нейропил в межклеточном

пространстве характеризовался спонгиозом. Перикарионы нейронов слабо визуализированы. Выявлено наличие перинуклеарных вакуолей в цитоплазме перикарионов. В центральной области перикариона нейрона наблюдали яркоокрашенные ядра. Ядрышки локализовать не удалось (рис. 5, 6).



**Рис. 5.** Нейротопографическая организация супраоптического ядра (SO) гипоталамуса животных группы «Термический ожог 4 сутки»; Ув.х100, окр. толуидиновый синий по методу Ниссля

**Fig. 5.** Neurotopographic organization of the supraoptic nucleus (SON) of the hypothalamus of the rat group «Burn, 4 days»; Microscope magnification.x100, staining of the preparation – toluidine blue according to the Nissl method

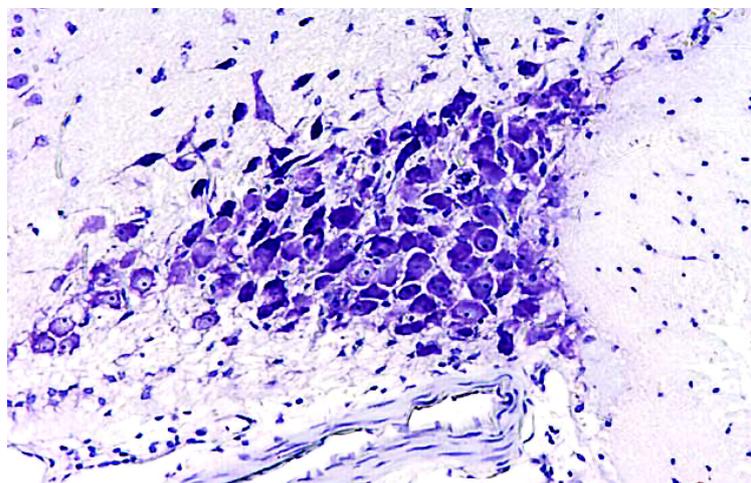


**Рис. 6.** Морфологическая характеристика супраоптического ядра (SO) гипоталамуса животных группы «Термический ожог 4 сутки»; Ув.х400, окр. толуидиновый синий по методу Ниссля

**Fig. 6.** Morphological characteristics of the supraoptic nucleus (SON) of the hypothalamus of the rat group «Burn, 4 days»; Magnification of the microscope, x400, staining of the preparation – toluidine blue according to the Nissl method.

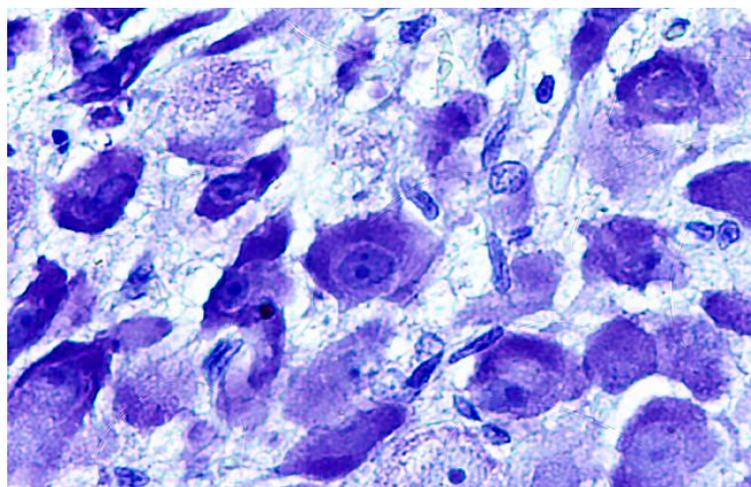
При морфологическом исследовании животных группы «Термический ожог, 7 сутки» в супраоптическом ядре обнаружены крупные и мелкие нейроны. Расположение нейронов не плотное по сравнению с интактными животными, однако умеренно организованное. Нейропилъ выявляли со слабо выраженным спонгиозом. В мелкоклеточной части ядра животных группы «Термический ожог, 7 сутки» определяли нейроны неправильной

формы, с малым содержанием цитоплазмы в перикарионах. Цитоплазма перикарионов большинства нейронов характеризовалась умеренно выраженным гиперхроматозом. Перикарионы нейронов выглядели нормальными, реже обнаруживались нейроны со смещенными ядрами. В центральной области перикариона нейрона четко выражены мелкие ядра. Ядрышки локализованы упорядоченно (рис. 7, 8).



**Рис. 7.** Нейротопографическая организация супраоптического ядра (SO) гипоталамуса животных группы «Термический ожог 7 сутки»; Ув.х100, окр. толуидиновый синий по методу Ниссля

**Fig. 7.** Neurotopographic organization of the supraoptic nucleus (SON) of the hypothalamus of the rat group «Burn, 7 days»; Microscope magnification.x100, staining of the preparation – toluidine blue according to the Nissl method

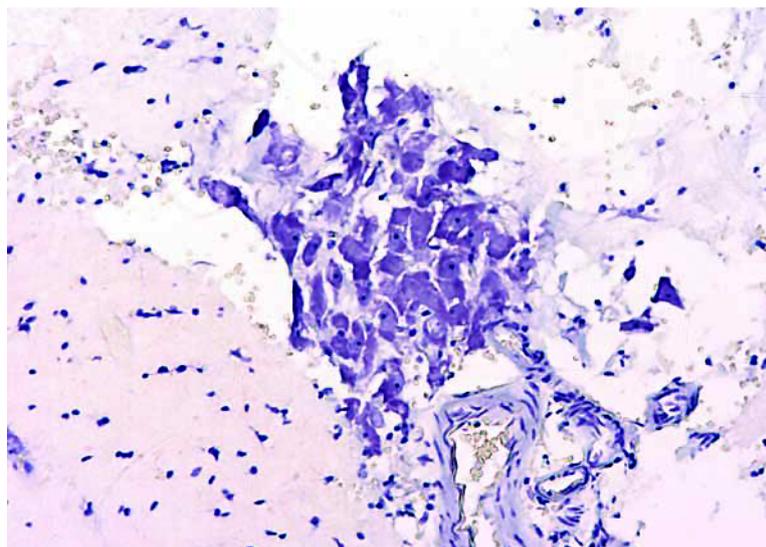


**Рис. 8.** Морфологическая характеристика супраоптического ядра (SO) гипоталамуса животных группы «Термический ожог 7 сутки»; Ув.х400, окр. толуидиновый синий по методу Ниссля

**Fig. 8.** Morphological characteristics of the supraoptic nucleus (SON) of the hypothalamus of the rat group «Burn, 7 days»; Magnification of the microscope, x400, staining of the preparation – toluidine blue according to the Nissl method

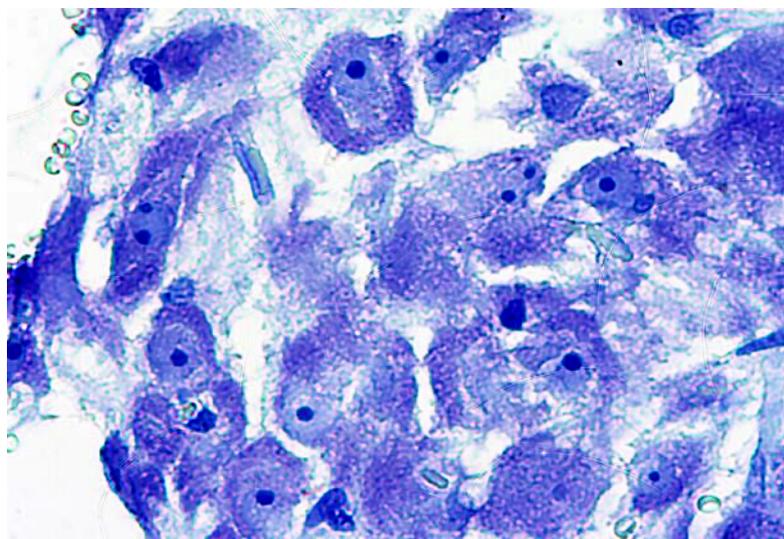
При морфологическом исследовании супраоптического ядра крыс группы «Термический ожог 10 суток» выявлены крупноклеточные нейроны нормальной формы и размера. Ядра нейронов располагались в центральной части перикарионов и имели

круглую форму. Ядрышки имели правильное центральное расположение, нейроны со смещенными ядрами в поле зрения не попадали. Цитоплазма перикарионов нейронов представлена базофильноокрашенной (рис. 9, 10).



**Рис. 9.** Нейротопографическая организация супраоптического ядра (SO) гипоталамуса животных группы «Термический ожог 10 суток»; Ув.х100, окр. толуидиновый синий по методу Ниссля

**Fig. 9.** Neurotopographic organization of the supraoptic nucleus (SON) of the hypothalamus of the rat group «Burn, 10 days»; Microscope magnification.x100, staining of the preparation – toluidine blue according to the Nissl method



**Рис. 10.** Морфологическая характеристика супраоптического ядра (SO) гипоталамуса животных группы «Термический ожог 10 суток»; Ув.х400, окр. толуидиновый синий по методу Ниссля

**Fig. 10.** Morphological characteristics of the supraoptic nucleus (SON) of the hypothalamus of the rat group «Burn, 10 days»; Magnification of the microscope, x400, staining of the preparation – toluidine blue according to the Nissl method

## Выводы

Проведенное морфологическое исследование супраоптического ядра гипоталамуса показало, что термический ожог вызывал более значительные реактивные изменения (очаговый глиоз, спонгиоз и отек) в ранние сроки (2—4 сутки). На наш взгляд, это связано с резким изменением процесса нейросекреции передней гипоталамической зоны, как запуск реакции стресс-дезадаптивного характера. Причем нарушения в виде отека и гиперхроматоза касались, в основном, крупных нейронов ядер. На 7—10 сутки послеожогового периода в переднем отделе гипоталамуса выявлены слабовыраженные структурные изменения по сравнению со 2-ми сутками. В целом, выявленные особенности могут быть расценены как незначительные, что свидетельствует о сложной внутренней организации супраоптического ядра гипоталамуса и его высокой резистентности к повреждающим экзогенным воздействиям. Морфологические преобразования нейронов на 10 сутки отражают динамику восстановления поврежденных в результате термического ожога нервных клеток.

Таким образом, морфологические особенности супраоптического ядра гипоталамуса подтверждает вовлеченность нейросекреторного аппарата в процессе адаптации к стрессу на фоне ожогового воздействия, селективное участие их нейрого르몬ов в регуляции нормальных и патологических состояний, оказывая широкий спектр физиологических влияний в развитии защитно-приспособительных механизмов.

## Библиографический список

1. Башкина О.А., Самотруева М.А., Ажигова А.К., Пахнова Л.Р. Нейроиммуноэндокринная регуляция физиологических и патофизиологических процессов в коже // *Медицинская иммунология*. 2019. Т. 21. № 5. С. 807—820. doi: 10.15789/1563-0625-2019-5-807-820
2. Мамонтова Е.В., Семеничева О.Е. Исследование реакции гипоталамо-адренокортикальной системы на стресс и коррекция стрессорных нарушений антиоксидантами // *Научное обозрение. Медицинские науки*. 2014. № 2. С. 54—54.
3. Каджарян Е.В. Особенности функционального состояния кортиколиберин-синтезирующих нейронов паравентрикулярного ядра гипоталамуса при экспериментальном сахарном диабете

у крыс // *Загальна патологія та патологічна фізіологія*. 2012. Т. 7. № 4. С. 72—77.

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

5. McConn B.R., Newmyer B.A., St John N., Tachibana T., Gilbert E.R., Cline M.A. The anorexigenic effect of neuropeptide K in chicks involves the paraventricular nucleus and arcuate nucleus of the hypothalamus // *Peptides*. 2019. № 122. P. 170157. doi: 10.1016/j.peptides.2019.170157

6. Криштон В.В., Румянцева Т.А., Никонова В.Г. Типологические особенности головного мозга в норме и при церебральной гипоперфузии // *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина*. 2020. Т. 24. № 4. С. 345—353. doi: 10.22363/2313-0245-2020-24-4-345-353

7. Peixoto T.C., Moura E.G., Oliveira E., Younes-Rapozo V., Soares P.N., Rodrigues V.S.T., Torsoni M.A., Torsoni A.S., Manhães A.C., Lisboa P.C. Hypothalamic Neuropeptides Expression and Hypothalamic Inflammation in Adult Rats that Were Exposed to Tobacco Smoke during Breastfeeding: Sex-Related Differences // *Neuroscience*. 2019. № 418. P. 69—81. doi: 10.1016/j.neuroscience

8. Гуров Д.Ю., Туманов В.П., Смирнов А.В., Быхалов Л.С., Сидоров Д.Н., Седых А.Д., Финагеев С.А. Морфологические изменения нейронов супраоптических ядер гипоталамуса крыс, предрасположенных к алкогольной зависимости // *Современные проблемы науки и образования*. 2019. № 2. С. 163—163.

9. Постнова М.В., Новочадов В.В., Потанин М.Б. Морфофункциональные особенности ядер переднего гипоталамуса в обеспечении стресс-реактивности организма // *Фундаментальные исследования*. 2013. Т. 10. № 2. С. 366—370.

10. Котельникова С.В., Швецова Н.Г., Котельников А.В. Сезонные особенности функционального состояния супраоптического ядра гипоталамуса в условиях кадмиевой интоксикации // *Фундаментальные исследования*. 2011. Т. 10. № 2. С. 418—42.

## References

1. Bashkina OA, Samotrueva MA, Azhikova AK, Pakhnova LR. Neuroimmunoendocrine regulation of physiological and pathophysiological processes in the skin. *Medical immunology*. 2019;21(5):807—820. doi: 10.15789/1563-0625-2019-5-807-820 (In Russian).
2. Mamontova EV, Semenishcheva O.E. Study of the reaction of the hypothalamic-adrenocortical system to stress and correction of stress disorders by antioxidants. *Scientific review. Medical sciences*. 2014;2:54—54 (In Russian).
3. Kajarian EV. Features of the functional state of corticoliberin-synthesizing neurons of the paraventricular nucleus hypothalamus in experimental diabetes mellitus in rats. *General pathology and pathological physiology*. 2012;7(4):72—77 (In Russian).
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

5. McConn B.R., Newmyer B.A., St John N., Tachibana T., Gilbert E.R., Cline M.A. The anorexigenic effect of neuropeptide K in chicks involves the paraventricular nucleus and arcuate nucleus of the hypothalamus. *Peptides*. 2019;122:170157. doi: 10.1016/j.peptides. 2019.170157

6. Chrishtop VV, Rummyantseva TA, Nikonorova VG. Typological features of the brain in normal conditions and in cerebral hypoperfusion. *RUDN Journal of Medicine*. 2020;24(4):345—353. doi: 10.22363/2313-0245-2020-24-4-345-353 (In Russian).

7. Peixoto TC, Moura EG, Oliveira E, Younes-Rapozo V, Soares PN, Rodrigues VST, Torsoni MA, Torsoni AS, Manhães AC, Lisboa PC. Hypothalamic Neuropeptides Expression and Hypothalamic Inflammation in Adult Rats that Were Exposed to Tobacco Smoke during Breastfeeding: Sex-Related Differences. *Neuroscience*. 2019;418:69—81. doi:10.1016/j.neuroscience

8. Gurov DY, Tumanov VP, Smirnov AV, Bykhalov LS, Sidorov DN, Sedykh AD, Finageev SA. Morphological changes in neurons of supraoptic nuclei of the hypothalamus of rats predisposed to alcohol dependence. *Modern problems of science and education*. 2019;2:163—163 (In Russian).

9. Postnova MV, Novochadov VV, Potanin MB. Morphofunctional features of the nuclei of the anterior hypothalamus in ensuring stress-reactivity of the organism. *Basic research*. 2013;10(2): 366—370 (In Russian).

10. Kotelnikova SV, Shvetsova NG, Kotelnikov AV. Seasonal features of the functional state of the supraoptic nucleus of the hypothalamus under conditions of cadmium intoxication. *Basic research*. 2011;10(2):418—442 (In Russian).

*Ответственный за переписку:* Альфия Кадыровна Ажикова — кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры биологии и ботаники, Астраханский государственный медицинский университет, Российская Федерация, 414000, г. Астрахань, ул. Бакинская, д. 121. E-mail: alfia-imacheva@mail.ru  
Самотруева М.А. SPIN-код 5918-1341; ORCID 0000-0001-5336-4455  
Ажикова А.К. SPIN-код 1245-3158; ORCID 0000-0001-9758-1638

*Corresponding author:* Alfiya Azhikova — PhD, MD, Associate Professor at the Department of Biology and Botany, Astrakhan State Medical University, 414000, Bakynskaya, 121, Astrakhan, Russian Federation. E-mail: alfia-imacheva@mail.ru  
Samotrueva M.A. ORCID 0000-0001-5336-4455  
Azhikova A.K. ORCID 0000-0001-9758-1638