

КРАТКОЕ СООБЩЕНИЕ

Краткое сообщение

УДК 616–001.17:546.11

doi:10.18499/2225-7357-2025-14-1-88-94

1.5.22 – клеточная биология



## Роль молекулярного водорода в ремоделировании внеклеточного матрикса при термическом ожоге

М. Ю. Соболева<sup>1</sup>✉, Н. Т. Алексеева<sup>1</sup>, С. В. Клочкова<sup>2</sup>, Д. А. Соколов<sup>1</sup>,  
В. В. Шишкина<sup>1</sup>, Д. Б. Никитюк<sup>3, 4</sup>

<sup>1</sup>Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко, Воронеж, Россия

<sup>2</sup>Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, Москва, Россия

<sup>3</sup>Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи, Москва, Россия

<sup>4</sup>Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, Россия

**Аннотация.** Цель исследования – оценить волокнистый компонент дермы кожи на фоне ожогового раневого процесса при местном использовании молекулярного водорода. **Материал и методы.** В эксперименте на 24 белых крысах-самцах линии Wistar моделировали ожоговую рану в межлопаточной области животного. Сформировали две группы: контрольную со спонтанным заживлением и группу с местным использованием водного раствора молекулярного водорода. Материал забирали на 3-и и 7-е сутки. С помощью гистохимических методов оценивали волокнистый компонент дермы кожи. **Результаты.** На 3-и сутки раневого процесса в группе с использованием молекулярного водорода определялись начальные этапы формирования упорядоченных коллагеновых агрегатов, состоящих из тонких, извитых ретикулярных волокон, а в перифокальных участках раны начинали появляться клеточные представители фибробластического дифферона веретеновидной формы с крупным, бледным ядром, однако их количество было незначительным. В контрольной группе на 3-и сутки ожога отмечалась хаотичная сеть и более плотное распределение ретикулярных волокон. На 7-е сут дерма в зоне ожога представлена плотным волокнистым компонентом с неупорядоченно расположенными толстыми, короткими волокнами, преимущественно коллагена I типа. В более глубоких слоях дермы волокна формировали плотные тяжи. В группе с использованием молекулярного водорода наблюдалось увеличение количества фибробластов, а также упорядоченная сеть волокон, преимущественно коллагеновых I типа с немногочисленными ретикулярными волокнами. **Заключение.** Местное применение молекулярного водорода приводит к более физиологичной организации коллагеновых и ретикулярных волокон, а также к увеличению клеточного представительства фибробластического дифферона.

**Ключевые слова:** дерма; фибробласты; внеклеточный матрикс; ожоги; коллаген; молекулярный водород

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Соболева М.Ю., Алексеева Н.Т., Клочкова С.В., Соколов Д.А., Шишкина В.В., Никитюк Д.Б. Роль молекулярного водорода в ремоделировании внеклеточного матрикса при термическом ожоге // Журнал анатомии и гистопатологии. 2025. Т. 14, №1. С. 88–94. <https://doi.org/10.18499/2225-7357-2025-14-1-88-94>

## BRIEF ARTICLES

Brief article

## The Role of Molecular Hydrogen in Extracellular Matrix Remodeling in Thermal Burns

M. Yu. Soboleva<sup>1</sup>✉, N. T. Alexeeva<sup>1</sup>, S. V. Klochkova<sup>2</sup>, D. A. Sokolov<sup>1</sup>,  
V. V. Shishkina<sup>1</sup>, D. B. Nikityuk<sup>3, 4</sup>

<sup>1</sup>N.N. Burdenko Voronezh State Medical University, Voronezh, Russia

<sup>2</sup>Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia

<sup>3</sup>The Federal Research Centre of Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russia

<sup>4</sup>I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russia

**Abstract. The aim** was to evaluate the fibrous component of the skin dermis against the background of a burn wound with local application of molecular hydrogen. **Material and methods.** A burn wound in the interscapular region was simulated in an experiment on 24 white male Wistar rats. Two groups were formed: the control group with spontaneous healing and the group with local application of an aqueous solution of molecular

hydrogen. The material was collected on the 3rd and 7th days. The fibrous component of the skin dermis was evaluated using histochemical methods. **Results.** On the 3rd day of the wound process, the initial stages of ordered collagen aggregates formation consisting of thin, convoluted reticular fibers were determined in the group receiving molecular hydrogen, and cellular representatives of fibroblastic differon of a fusiform shape with a large, pale nucleus began to appear in the perifocal areas of the wound, but their number was insignificant. On the 3rd day after the burn, the control group had a chaotic network and a denser distribution of reticular fibers. On day 7, the dermis in the burn area was represented by a dense fibrous component with irregularly arranged thick, short fibers, mainly of type I collagen. In the deeper layers of the dermis, fibers formed dense strands. In the group receiving molecular hydrogen, an increased number of fibroblasts was detected, as well as an ordered network of fibers, mainly of type I collagen with a few reticular fibers. **Conclusion.** The local application of molecular hydrogen leads to a more physiological organization of collagen and reticular fibers, as well as to an increase in the cellular representation of fibroblastic differon.

**Keywords:** dermis; fibroblasts; fibrous component; extracellular matrix; burns; collagen; molecular hydrogen

**Conflict of interests:** the authors declare no conflict of interests.

**For citation:** Soboleva M.Yu., Alexeeva N.T., Klochkova S.V., Sokolov D.A., Shishkina V.V., Nikityuk D.B. The role of molecular hydrogen in extracellular matrix remodeling in thermal burns. *Journal of Anatomy and Histopathology*. 2025. V. 14, №1. P. 88–94. <https://doi.org/10.18499/2225-7357-2025-14-1-88-94>

## Введение

Термические повреждения кожи представляют собой одну из наиболее актуальных проблем современной медицины в связи с высокой частотой ожоговой травмы и значительным процентом инвалидизации пострадавших [1]. Заживление ожоговых ран – сложный многофакторный процесс, включающий взаимодействие различных клеточных популяций, внеклеточного матрикса (ВКМ) и биологически активных веществ [9,10].

Особое значение в регенерации кожи после термической травмы имеет восстановление волокнистого компонента дермы, который определяет структурную целостность и функциональные характеристики восстановленной кожи [3]. Местная терапия, направленная на изменение физиологических процессов реструктуризации ВКМ, представляет собой перспективное направление в регенеративной медицине [6].

Молекулярный водород в последние годы привлекает значительное внимание исследователей как потенциальный терапевтический агент с антиоксидантными, противовоспалительными и антиапоптотическими свойствами [11]. Он представляет собой простейшую молекулу, состоящую из двух атомов водорода, соединенных ковалентной связью. Особый интерес представляет его применение в лечении ран различной этиологии.

По данным I. Ohsawa et al., (2007) молекулярный водород обладает селективными антиоксидантными свойствами, нейтрализуя преимущественно гидроксильные радикалы ( $\bullet\text{OH}$ ) и пероксинитрит ( $\text{ONOO}^-$ ), которые являются наиболее цитотоксичными активными формами кислорода [8].

Целью настоящего исследования являлась оценка волокнистого компонента дермы кожи на фоне ожогового раневого процесса при местном использовании молекулярного водорода.

## Материал и методы исследования

Эксперимент выполнен на 24 белых крысах-самцах линии Wistar в НИИ экспериментальной биологии и медицины Воронежского государственного медицинского университета им. Н.Н. Бурденко. Манипуляции с животными проводили в соответствии с правилами, изложенными в приказе Минздравсоцразвития № 708-н «Об утверждении правил лабораторной практики» от 23.08.2010 г. На проведение исследования получено разрешение локального этического комитета ВГМУ им. Н.Н. Бурденко (протокол № 6 от 17.11.2016 г.).

Животных случайным образом разделили на 2 группы по 12 особей в каждой в зависимости от метода регионального воздействия: контрольную с моделированием ожоговой раны без лечебного воздействия (со спонтанным заживлением) и экспериментальную группу с применением воды с повышенным содержанием молекулярного водорода, которой ежедневно орошали поверхность раны. Раствор молекулярного водорода готовили ex tempore в соответствии с инструкцией производителя Aquela 8.0 (Aquela 8.0 & Aquela High-PSI Bottles, Ecomo International co., LTD, Япония), используя бутилированную воду и соблюдая температурный режим в помещении  $+20^\circ\text{C}$ . Концентрация водорода в используемом для орошения ран растворе достигала 8.0 ppm. Измерение производили с помощью анализатора растворенного водорода МАРК-501, с датчиком водородным ДВ-501 (Россия).

Экспериментальным животным термический ожог наносили под ингаляционным наркозом с помощью ветеринарной наркозной станции с испарителем TEC-3 Zoomed Minor Vet Optima (КНР). Для моделирования ожоговой травмы использовали портативную паяльную станцию термовоздушного типа марки Yihua 8858 (КНР). Ожог наносили путем экспозиции нагревательного элемента, разогретого до температуры  $80^\circ\text{C}$ , на расстоя-

нии 10 мм от поверхности предварительно выбритого участка кожи в межлопаточной области животного в течение 40 сек.

Результаты оценивали на 3-и, 7-е сутки восстановительного периода. Животных выводили из эксперимента путем передозировки средства для ингаляционной анестезии «Аер-ран» (Baxter Helthcare, США) на ветеринарной наркозной станции.

Для морфологического исследования иссекали участок кожи с ожоговой поверхностью и прилежащими тканями размером 2,0×2,0 см. Образцы фиксировали в нейтральном растворе 10% формалина в течение 48–72 ч. Фиксированный материал подвергался процедуре пробоподготовки с заливкой в парафиновую среду с использованием гистологического процессора MTP SLEE (Германия). Из парафиновых блоков на ротационном микротоме Accu-Cut SRM 200 (Япония) готовили срезы толщиной 5 мкм для гистохимического анализа и 2 мкм для иммуноморфологического окрашивания.

Трихромное окрашивание по пикро-Маллори позволило стереометрически оценить динамические изменения волокнистого компонента кожи на разных стадиях течения ожогового процесса. Для оценки степени зрелости волокнистого компонента соединительной ткани использовали набор для окрашивания пикросириус – Picro Sirius Red ab150681 (Abscam, Великобритания). Результаты оценивали с помощью поляризационной микроскопии, где желто-зеленым цветом визуализировались ретикулярные волокна, а красным – коллагеновые волокна I типа. В работе использовалась авторская методика выявления тучных клеток, ретикулярных и коллагеновых волокон при светлопольной микроскопии с использованием гистохимического комбинированного окрашивания гистологических препаратов (заявка на изобретение 2024121742, 31.07.2024).

### Результаты и их обсуждение

Морфологическое исследование образцов дермы кожи крыс в области раны позволило оценить эффективность применения раствора, обогащенного молекулярным водородом. Так, на 3-и сутки ожогового процесса во всех наблюдаемых группах обнаруживалась фаза воспаления с выраженной деструкцией волокнистого и аморфного компонентов дермы кожи. Более активное вовлечение макрофагов и тучных клеток наблюдалось в группе с применением молекулярного водорода (рис. 1, В). В группе с воздействием молекулярного водорода на 3-и сутки начиналось формирование сети, состоящей из тонких, извитых ретикулярных волокон, в ячеистых структурах которых обнаруживались скопления тучных клеток с признаками дегрануляции (рис. 1, В, В'). Ранее образование тонких ретикулярных

волокон, формирующих сеть, служит каркасом для активной миграции клеток [2, 3]. Спонтанное заживление также характеризовалось формированием сети ретикулярных волокон, но с более плотным распределением и практически отсутствием тучных клеток (рис. 1, С, D).

При окрашивании по пикро-Маллори на 3-и сутки после ожога в группе с применением молекулярного водорода в перифокальных участках раны начинали появляться клеточные представители фибробластического дифферона веретеновидной формы с крупным, бледным ядром, однако их количество было незначительным. На 7-е сутки после ожога в группе со спонтанным заживлением еще наблюдались признаки фазы воспаления. Под эпителием отмечались выраженная клеточная инфильтрация, тучные клетки с признаками дегрануляции, немногочисленными кровеносными сосудами и плотным волокнистым компонентом с неупорядоченно расположенными толстыми, но короткими волокнами, преимущественно коллагена I типа. В более глубоких слоях дермы в зоне ожога волокна формировали плотные тяжи, по типу соединительнотканного рубца.

В контрольной группе животных участок дермы в области ожога был представлен немногочисленными ретикулярными и коллагеновыми волокнами, с очагами клеточного детрита, инфильтрацией воспалительными элементами, полнокровными сосудами в глубоких слоях дермы (рис. 2, Е).

Эффективно протекал процесс регенерации в группе с применением молекулярного водорода. Отмечалось увеличение количества фибробластов, которые были доминирующим клеточным типом в грануляционной ткани (рис. 2, В). Клеточный дифферон фибробластов приобретал активированный фенотип, характеризующийся увеличенным ядром, более крупными размерами клеток, что отражало их активную синтетическую функцию [5]. Также обращал на себя внимание более интенсивный ангиогенез, отмеченный в группе с применением раствора молекулярного водорода (рис. 2, С). В целом, применение водного раствора, обогащенного молекулярным водородом, способствовало эффективному переходу от воспалительной фазы к пролиферативной, что позволило клеточным фибробластическим представителям инициировать процессы фибриллогенеза [4].

### Заключение

Установлены различия в организации и качественном составе коллагеновых и ретикулярных волокон в исследуемых группах. Механизм данного эффекта, вероятно, связан со способностью молекулярного водорода селективно нейтрализовывать гидроксильные радикалы и пероксинитрит, которые играют



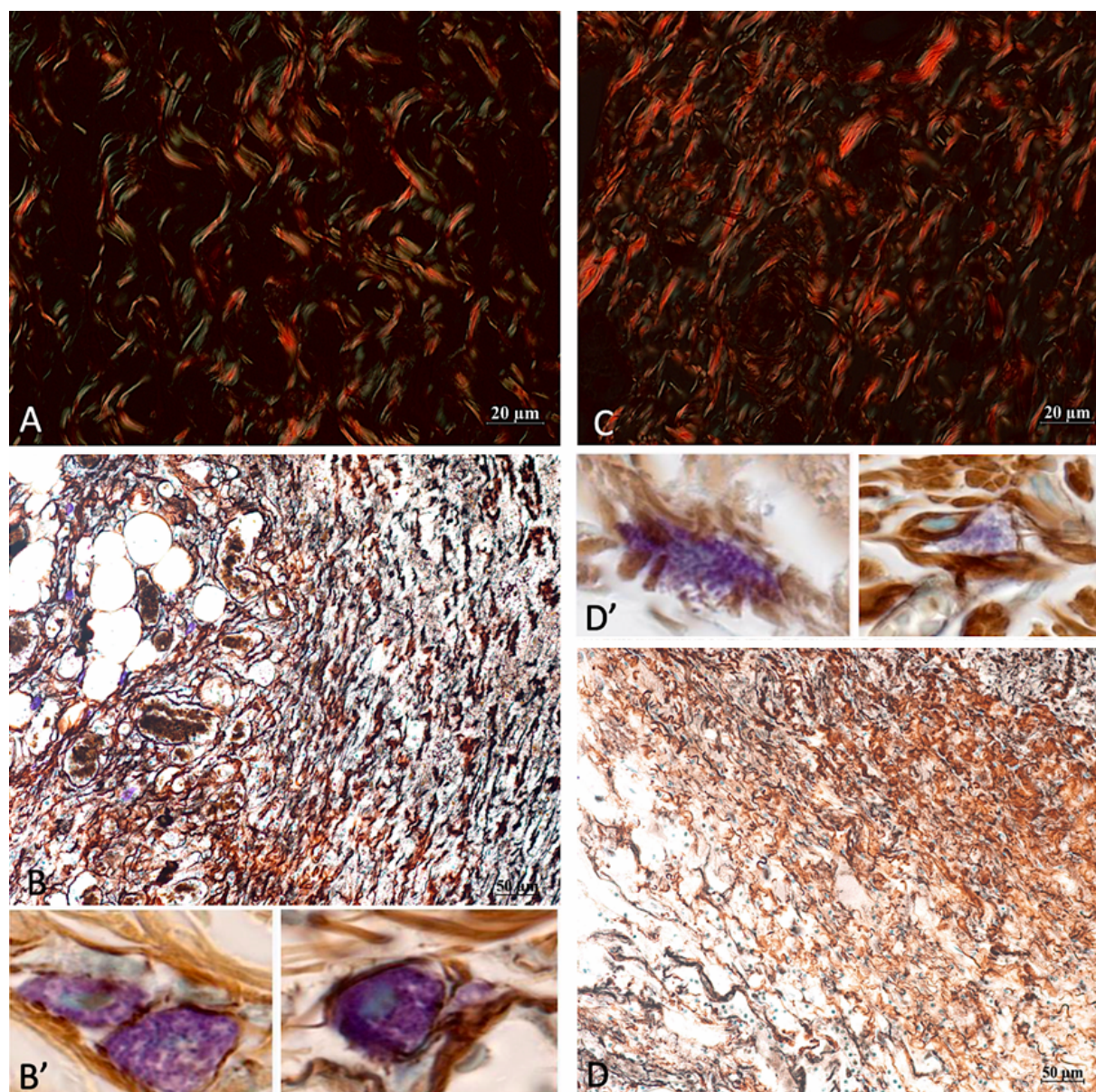


Рис. 1. Ремоделирование волокнистого компонента дермы кожи крыс на 3-и сутки после термического ожога. А, В – группа с применением водного раствора, обогащенного молекулярным водородом; С, D – группа спонтанного заживления. А – тонкие, извитые ретикулярные волокна (зеленое свечение) начинают формировать коллагеновые агрегаты (красное свечение в поляризованном свете); В, В' – в ячеистых структурах ретикулярных волокон скопления тучных клеток с признаками дегрануляции; С – глубокие слои дермы ожогового участка с хаотичной сетью ретикулярных волокон, более плотное распределение; D – тучные клетки в ожоговой поверхности практически не выявляются, D' – единичные тучные клетки со слабой степенью метахромазии, активная дегрануляция сопровождается потерей метахромотичности гранул. Окраска: А, С – пикросириус (поляризационная микроскопия); В, D – комбинированное окрашивание толуидиновым синим и импрегация серебром.

Fig. 1. Remodeling of the fibrous component of the rat skin dermis on the 3rd day after thermal burn. A, B – group with local application of an aqueous solution enriched with molecular hydrogen; C, D – group of spontaneous healing. A – thin, convoluted reticular fibers (green glow) forming collagen aggregates (red glow in polarized light); B, B' – clusters of mast cells with signs of degranulation in the cellular structures of the reticular fibers; C – deep layers of the dermis of the burn site with a chaotic network of reticular fibers, a denser distribution; D – mast cells are practically not detected in the burn surface, D' – single mast cells with a weak degree of metachromasia, active degranulation is accompanied by a loss of granule metachromaticity. Staining: A, C – picrosirius (polarization microscopy); B, D – combined staining with toluidine blue and silver impregnation.



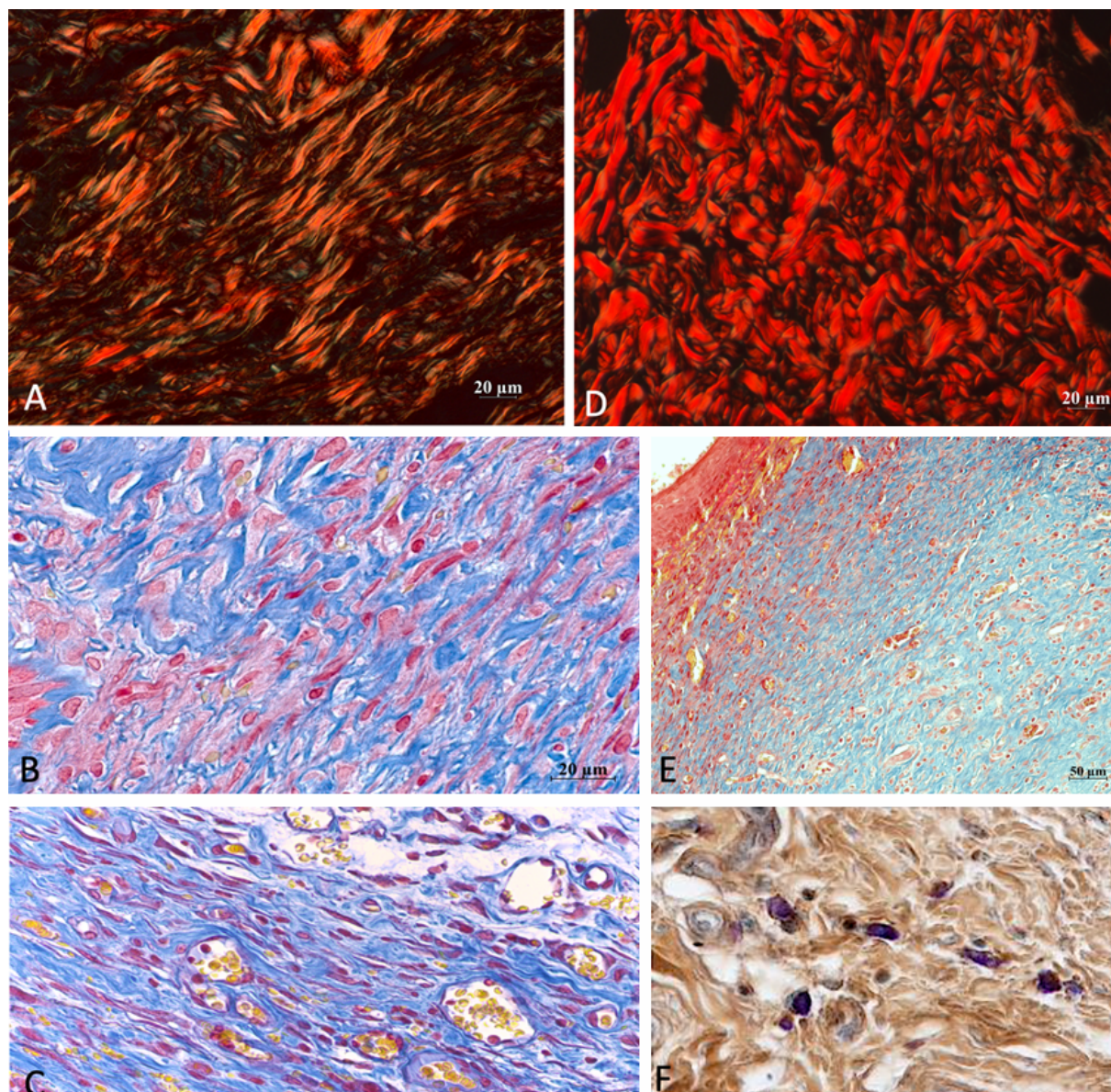


Рис. 2. Особенности репаративных процессов дермы кожи на 7-е сут после термического ожога. А–С, F – группа с применением водного раствора, обогащенного молекулярным водородом; D, E – группа спонтанного заживления. А – упорядоченная сеть волокон, преимущественно коллагеновых I типа с немногочисленными ретикулярными волокнами (зеленое свечение); В – клеточные представители фибробластического дифферона; С – активный неoангиогенез; D – спонтанное заживление по типу «рубцевания», толстые, хаотично расположенные коллагеновые волокна; E – субэпителиально выраженная воспалительная реакция, немногочисленные кровеносные сосуды в дерме и плотный волокнистый компонент с неупорядоченно расположенными толстыми, короткими волокнами; F – миграция и заселение тучных клеток в ожоговую область дермы кожи. Окраска: А, D – пикросириус (поляризационная микроскопия); В, С, E – трихромное окрашивание по пикро-Маллори; F – комбинированное окрашивание толуидиновым синим и импрегнация серебром.

Fig. 2. Features of the reparative processes of the dermis of the skin on 7<sup>th</sup> day after a thermal burn. A–C, F – group with local application of an aqueous solution enriched with molecular hydrogen; D, E – group of spontaneous healing. A – an ordered network of fibers, mainly of type I collagen with few reticular fibers (green glow); B – cellular representatives of fibroblastic differon; C – active neoangiogenesis; D – spontaneous healing by the type of “scarring”, thick, randomly arranged collagen fibers; E – a subepithelially pronounced inflammatory reaction, few blood vessels in the dermis and a dense fibrous component with irregularly arranged thick, short fibers; F – migration and colonization of mast cells into the burn area of the dermis of the skin. Staining: A, D – picrosirius (polarization microscopy); B, C, E – picro-Mallory trichromic staining; F – combined staining with toluidine blue and silver impregnation.

ключевую роль в деградации внеклеточного матрикса при термическом повреждении. Кроме того, молекулярный водород может модулировать активность фибробластов, что приводит к оптимизации синтеза компонентов внеклеточного матрикса и ингибированию избыточной продукции провоспалительных цитокинов.

### Список источников / References

1. Алексеева Н.Т., Глухов А.А., Остроушко А.П. Морфологические особенности регенерации кожи при термических ожогах. Вестник экспериментальной и клинической хирургии. 2021;14(1):68-77.  
Alekseeva NT, Glukhov AA, Ostroushko AP. Morfologicheskie osobennosti regeneratsii kozhi pri termicheskikh ozhogakh. Vestnik eksperimental'noi i klinicheskoi khirurgii. 2021;14(1):68-77. (In Russ.).
2. Миханов В.А., Полякова В.С., Абземелева Р.А., Шурыгина Е.И., Курамысов А.В. Регенерация глубоких линейных ран кожи крыс при местном воздействии метаболитами культуры *Bacillus subtilis* 804. Журнал анатомии и гистопатологии. 2019;8(2):55-59.  
Mikhanov VA, Polyakova VS, Abzemeleva RA, Shurygina EI, Kuramysov AV. Regeneratsiya glubokikh lineinykh ran kozhi kryss pri mestnom vozdeistvii metabolitami kul'tury *Bacillus subtilis* 804. Zhurnal anatomii i gistopatologii. 2019;8(2):55-59. (In Russ.).
3. Соболева М.Ю., Алексеева Н.Т., Соколов Д.А., Клочкова С.В., Ключева Л.А., Ткаченко Е.И. Динамика заживления ожоговых ран у детей в зависимости от антропометрических показателей. Журнал анатомии и гистопатологии. 2024;13(3):68-74.  
Soboleva MYu, Alexeeva NT, Sokolov DA, Klochkova SV, Klyueva LA, Tkachenko EI. Dinamika zazhivleniya ozhogovykh ran u detei v zavisimosti ot antropometricheskikh pokazatelei. Zhurnal anatomii i gistopatologii. 2024;13(3):68-74. (In Russ.).
4. Соболева М.Ю. Морфологическая характеристика внеклеточного матрикса в зоне термического повреждения. Морфология на современном этапе (история, учебная работа, наука, музейное дело): материалы Всероссийской юбилейной научной конференции, посвященной 225-летию со дня образования кафедры нормальной анатомии Военно-медицинской академии, приуроченной к 70-летию со дня рождения и 35-летию руководства кафедрой профессора И.В. Гайворонского. 02 февраля 2024 года. Санкт-Петербург; 2024:113-116.  
Soboleva MYu. Morfologicheskaya kharakteristika vnekletochnogo matriksa v zone termicheskogo povrezhdeniya. Morfologiya na sovremennom etape (istoriya, uchebnaya rabota, nauka, muzeinoe delo): materialy Vserossiiskoi yubileinoi nauchnoi konferentsii, posvyashchennoi 225-letiyu so dnya obrazovaniya kafedry normal'noi anatomii Voenno-meditsinskoi akademii, priurochennoi k 70-letiyu so dnya rozhdeniya i 35-letiyu rukovodstva kafedroi professora I.V. Gaivoronskogo. 02 fevralya 2024 goda. Sankt-Peterburg; 2024:113-116. (In Russ.).
5. Шурыгина И.А., Шурыгин М.Г. Фибробласты и их роль в развитии соединительной ткани. Журнал анатомии и гистопатологии. 2020;9(1):85-93.  
Shurygina IA, Shurygin MG. Fibroblasty i ikh rol' v razvitii soedinitel'noi tkani. Zhurnal anatomii i gistopatologii. 2020;9(1):85-93. (In Russ.).
6. Atiakshin D, Soboleva M, Nikityuk D, Alexeeva N, Klochkova S, Kostin A, Shishkina V, Buchwalow I, Tiemann M. Mast Cells in Regeneration of the Skin in Burn Wound with Special Emphasis on Molecular Hydrogen Effect. Pharmaceuticals (Basel). 2023 Feb 24;16(3):348. doi: 10.3390/ph16030348.
7. Gurtner GC, Werner S, Barrandon Y, Longaker MT. Wound repair and regeneration. Nature. 2008 May 15;453(7193):314-21. doi: 10.1038/nature07039.
8. Ohsawa I, Ishikawa M, Takahashi K, Watanabe M, Nishimaki K, Yamagata K, Katsura K, Katayama Y, Asoh S, Ohta S. Hydrogen acts as a therapeutic antioxidant by selectively reducing cytotoxic oxygen radicals. Nat Med. 2007 Jun;13(6):688-94. doi: 10.1038/nm1577.
9. Xue M, Jackson CJ. Extracellular Matrix Reorganization During Wound Healing and Its Impact on Abnormal Scarring. Adv Wound Care (New Rochelle). 2015 Mar 1;4(3):119-136. doi: 10.1089/wound.2013.0485.
10. Xue M, Jackson CJ. Extracellular Matrix Reorganization During Wound Healing and Its Impact on Abnormal Scarring. Adv Wound Care (New Rochelle). 2015 Mar 1;4(3):119-136. doi: 10.1089/wound.2013.0485.
11. Tamaki N, Orihuela-Campos RC, Fukui M, Ito HO. Hydrogen-Rich Water Intake Accelerates Oral Palatal Wound Healing via Activation of the Nrf2/Antioxidant Defense Pathways in a Rat Model. Oxid Med Cell Longev. 2016;2016:5679040. doi: 10.1155/2016/5679040.

### Информация об авторах

✉ Соболева Мария Юрьевна – ассистент кафедры нормальной анатомии человека Воронежского государственного медицинского университета им. Н.Н. Бурденко; ул. Студенческая, 10, Воронеж, 394036, Россия; soboleva.doc1@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-7508-9327>  
SPIN 5662-9638

Алексеева Наталья Тимофеевна – д-р мед. наук, профессор, зав. кафедрой нормальной анатомии человека Воронежского государственного медицинского университета им. Н.Н. Бурденко; alexeevant@list.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-1510-8543>  
SPIN 4846-3772

### Information about the authors

✉ Mariya Yu. Soboleva – teaching assistant of Human Anatomy Department of N.N. Burdenko Voronezh State Medical University; ul. Studencheskaya, 10, Voronezh, 394036, Russia; soboleva.doc1@yandex.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-7508-9327>  
SPIN 5662-9638

Nataliya T. Alexeeva – Doct. Sci. (Med.), Professor, Head of Human Anatomy Department of N.N. Burdenko Voronezh State Medical University; alexeevant@list.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-1510-8543>  
SPIN 4846-3772

Клочкова Светлана Валерьевна – д-р мед. наук, профессор кафедры анатомии человека Российского университета дружбы народов им. Патриса Лумумбы; swetlana.chava@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2041-7607> SPIN 1528-6250

Соколов Дмитрий Александрович – канд. мед. наук, доцент кафедры нормальной анатомии человека Воронежского государственного медицинского университета им. Н.Н. Бурденко; cingulum@yandex.ru <https://orcid.org/0000-0001-9542-8701> SPIN 5413-1361

Шишкина Виктория Викторовна – канд. мед. наук, доцент, зав. кафедрой гистологии Воронежского государственного медицинского университета им. Н.Н. Бурденко; 4128069@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-9185-4578>

Никитюк Дмитрий Борисович – д-р мед. наук, профессор, акад. РАН, директор ФИЦ питания, биотехнологии и безопасности пищи; dimitrynik@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-2259-1222> SPIN 1236-8210

Svetlana V. Klochkova – Doct. Sci. (Med.), Professor of Human Anatomy Department of Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia; swetlana.chava@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2041-7607> SPIN 1528-6250

Dmitrii A. Sokolov – Cand. Sci. (Med.), Associate Professor of Human Anatomy Department of N.N. Burdenko Voronezh State Medical University; cingulum@yandex.ru <https://orcid.org/0000-0001-9542-8701> SPIN 5413-1361

Viktoriya V. Shishkina – Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Head of the Department of histology of N.N. Burdenko Voronezh State Medical University; 4128069@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-9185-4578>

Dmitrii B. Nikityuk – Doct. Sci. (Med.), Professor, Acad. of RAS, head of Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety; dimitrynik@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-2259-1222> SPIN 1236-8210

---

Статья поступила в редакцию 6.12.2024; одобрена после рецензирования 21.02.2025; принята к публикации 24.03.2025.  
Submitted 6.12.2024; Revised 21.02.2025; Accepted 24.03.2025.

---