УДК 611-018.2:617-001.17-003.93
https://doi.org/10.23888/HMJ202513175-84

Строение и функция тканевых базофилов в процессе регенерации термической ожоговой раны

Т. М. Черданцева, В. В. Шеломенцев, М. С. Некрасова✉, В. А. Генчева

Рязанский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова, Рязань, Российская Федерация

Автор, ответственный за переписку: Некрасова Марина Сергеевна, marinanekrasova555@gmail.com

АННОТАЦИЯ

Введение. Изучение вопросов регенерации кожи при термической травме в настоящий момент является одним из актуальных направлений регенеративной медицины. Ввиду разнообразия функций тканевых базофилов сохраняется актуальность в их комплексном морфофункциональном исследовании в заживлении ожоговой раны, в норме и местном лечебном воздействии.

Цель. Изучить строение и функции тканевых базофилов в процессе регенерации термической ожоговой раны крыс.

Материалы и методы. Исследование проводилось на 27 половозрелых крысах, разделенных на интактную (без экспериментальных воздействий), контрольную и экспериментальную группы. Для оценки заживления ожоговой раны готовились гистологические препараты кожи на 3, 5, 7 сут., окрашенные гематоксилином и эозином, толуидиновым синим. В каждом препарате в 10 полях зрения микроскопа при увеличении × 400 подсчитывали общее количество тканевых базофилов, их функциональные типы с расчетом коэффициента дегрануляции, площадь одной клетки. Все числовые данные подвергались статистической обработке.

Результаты. После термической травмы в первые дни наблюдения уменьшалось общее количество тканевых базофилов, с увеличением их функциональной активности. К 7 сут. эксперимента в ране количество мастоцитов на единицу площади достигало максимальных значений, из них преобладали клетки III и IV типов, что привело к росту коэффициента дегрануляции. Использование коллагенового покрытия к 3 сут. эксперимента привело к увеличению общего количество тканевых базофилов с преобладанием функционально активных форм. К 7 сут. исследования в ране общее количество тканевых базофилов постепенно уменьшалось, мастоциты в большей степени накапливали в своей цитоплазме метахроматическую зернистость, что привело к уменьшению коэффициента дегрануляции.

Заключение. Проведенное исследование показало, что в ожоговой ране отмечаются признаки краевой эпителизации, развивается созревающая грануляционная ткань, увеличивается функциональная активность тканевых базофилов за счет увеличения дегранулированных форм (III и IV типов) и коэффициента дегрануляции к 7 сут. эксперимента. При применении коллагенового покрытия в ожоговой ране отмечаются признаки эпителизации, уменьшение площади грануляций. Выраженная функциональная активность тканевых базофилов отмечается на 3 сут. эксперимента, с уменьшением их функциональной активности к 7 сут. эксперимента.

Ключевые слова: *ожоговая рана; тканевые базофилы; гистология ожоговой кожной раны; регенерация*

Для цитирования:
Черданцева Т. М., Шеломенцев В. В., Некрасова М. С., Генчева В. А. Строение и функция тканевых базофилов в процессе регенерации термической ожоговой раны // Наука молодых (Eruditio Juvenium). 2025. Т. 13, № 1. С. 75–84. https://doi.org/10.23888/HMJ202513175-84.

© Авторы, 2025
Лицензия CC BY-NC-ND 4.0

https://doi.org/10.23888/HMJ202513175-84

Structure and Function of Tissue Basophils in the Process of Regeneration of a Thermal Burn Wound

Tat'yana M. Cherdantseva, Viktor V. Shelomentsev, Marina S. Nekrasova✉, Valentina A. Gencheva

Ryazan State Medical University, Ryazan, Russian Federation

Corresponding author: Marina S. Nekrasova, marinanekrasova555@gmail.com

ABSTRACT

INTRODUCTION: Investigation of skin regeneration in thermal injury is currently one of important areas of regenerative medicine. In view of the diversity of tissue basophil functions, their complex morphofunctional study in healing of a burn wound in norm and local therapeutic effect remains relevant.

AIM: To study structure and functions of tissue basophils in the process of regeneration of a thermal burn wound in rats.

MATERIALS AND METHODS: The study was conducted on 27 sexually mature rats divided into intact (without experimental influences), control and experimental groups. To assess healing of the burn wound, histological skin preparations were made on days 3rd, 5th, 7th stained with hematoxylin and eosin and toluidine blue. In each preparation, in 10 microscopic fields under × 400 magnification, the total number of tissue basophils, their functional types were counted, with calculation of degranulation index, surface area of one cell. All numerical data were subjected to statistical processing.

RESULTS: In the first days after thermal injury, the total number of tissue basophils decreased, with an increase in their functional activity. By day 7th of the experiment, the number of mast cells in the wound per unit area reached maximum values, with predominance of types III and IV cells, which led to growth of degranulation index. With the use of collagen coating, the total number of tissue basophils increased with predominance of functionally active forms by day 3rd of the experiment. By day 7th of the study, the total amount of tissue basophils in the wound gradually decreased, mast cells to a greater extent accumulated metachromatic granularity in their cytoplasm, which led to decrease in the degranulation coefficient.

CONCLUSION: The study showed that in a burn wound by day 7th of the experiment, signs of marginal epithelialization are noted, maturing granulation tissue develops, the functional activity of tissue basophils increases due to increase in degranulated forms (III and IV types) and degranulation index. When using collagen coating, signs of epithelialization and reduction of the granulation area are noted in the burn wound. Pronounced functional activity of tissue basophils is noted on day 3rd of the experiment with a decrease by day 7th.

Keywords: *burn wound; tissue basophils; histology of burn skin wound; regeneration*

For citation:
Cherdantseva T. M., Shelomentsev V. V., Nekrasova M. S., Gencheva V. A. Structure and Function of Tissue Basophils in the Process of Regeneration of a Thermal Burn Wound. *Science of the Young (Eruditio Juvenium).* 2025;13(1):75–84. https://doi.org/10.23888/HMJ202513175-84.

© Authors, 2025
The article can be use under the CC BY-NC-ND 4.0 license

Список сокращений

ГТ — грануляционная ткань
КД — коэффициент дегрануляции
ОР — ожоговая рана
ТБ — тканевые базофилы
усл. ед. — условные единицы

Введение

Термические ожоги возникают при действии на ткани организма различных агентов высокой температуры (жидкости, твердые вещества, пламя). Согласно данным всемирной организации здравоохранения, ожоги являются глобальной проблемой современной медицины [1]. Ежегодно увеличивается процент госпитализаций, смертности и инвалидности, связанных с данной травмой [2]. Поэтому изучение вопросов регенерации кожи при термической травме в настоящий момент является одним из актуальных направлений регенеративной медицины [3].

Известно, что ранозаживление включает в себя последовательно протекающие фазы гемостаза, воспаления, пролиферации и ремоделирования [4]. Однако, в отличие от других видов повреждений, ожоговые раны (ОР) имеют свои морфологические особенности: замедление воспалительной реакции, выраженные деструктивные процессы в ткани, замедление функциональной активности клеток фибробластического дифферона, макрофагов [5].

Для полного восстановления целостности кожи необходимы сложные межклеточные взаимодействия, а также определенные преобразования межклеточного вещества ткани. Одними из главных клеток, влияющих на состояние межклеточного матрикса, являются тканевые базофилы (ТБ) [6]. Их отличительной особенностью является наличие в цитоплазме базофильной зернистости с широким спектром биологически активных веществ, таких как факторы роста (трансформирующий фактор роста бета, фактор роста эндотелия сосудов, фактор роста фибробластов), протеазы, биогенные амины, эйкозаноиды [7]. Согласно литературным данным, выделяя содержимое своих гранул, эти клетки участвуют в усилении миграции нейтрофилов в очаг повреждения, способствуют пролиферации фибробластов и синтезу коллагена, ускоряют эпителизацию ран [8].

Ввиду разнообразия функций ТБ сохраняется актуальность в их комплексном морфофункциональном исследовании в заживлении ОР, в норме и местном лечебном воздействии.

Цель. Изучить строение и функции ТБ в процессе регенерации термической ОР крыс.

Материалы и методы

Исследование проводилось на 27 половозрелых крысах мужского пола линии Wistar со средней массой 200–230 г. Все манипуляции с лабораторными животными проводились в соответствии с требованиями «Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях» (ETS № 123, г. Страсбург 18.03.1986 (с изм. от 22.06.1998)) в Виварии Рязанского государственного медицинского университета имени академика И. П. Павлова. Исследование одобрено комиссией по контролю за содержанием и использованием лабораторных животных ФГБОУ ВО РязГМУ Минздрава России (Протокол № 88 от 08.02.2024).

Животным в начале эксперимента моделировали ОР с помощью портативного термокоагулятора. Для этого выбривался участок шерсти в межлопаточной области, где под наркозом после предварительной обработки участка кожи антисептиком накладывалась на 2 с. нагретая пластина (t = 275°). Размер ожога при этом составил 2 × 5 мм, глубина соответствовала ожогу III Б степени. В дальнейшем крыс случайным образом разделили на группы, как представлено в таблице 1.

После выведения особей из эксперимента, осуществлялся забор кожной раны на 3, 5, 7 сут. эксперимента для гисто-

https://doi.org/10.23888/HMJ202513175-84

логического исследования. Материал фиксировали в 10% растворе формалина, после чего он подвергался стандартной гистологической обработке. Получали срезы толщиной 4–5 мкм, которые окрашивались гематоксилином и эозином, а также гистохимической окраской толуидиновым синим для выявления тучных клеток и их гранул. Изучение и фотографирование срезов производилось с помощью лабораторного микроскопа Leica DM 2000 (Германия). В каждом микропрепарате в 10 случайных полях зрения (площадь одного поля зрения 0,074 мм²) при увеличении × 400 с помощью программы ВидеоТест-Морфология 5.0 подсчитывали общее количество ТБ и их среднее значение в единице площади (мм^2), измеряли площадь одной клетки (мкм²). Для определения функциональной активности тучных клеток проводили расчет каждого функционального типа согласно классификации (табл. 2) и определяли коэффициент дегрануляции (КД) (условные единицы (усл. ед.)), представленный отношением числа дегранулированных форм к общему числу тучных клеток. Дополнительно в каждом препарате определяли площадь грануляционной ткани (ГТ) (мкм^2).

Таблица 1. Распределение экспериментальных групп животных

Название группы	Количество животных, шт.	Местное воздействие
I — интактная группа	4	Животные без экспериментальных воздействий
II — контрольная группа	12	Заживление ожоговой раны без лечения
III — экспериментальная группа	12	Заполнение ожоговой раны коллагеновым материалом «КОЛЛОСТ®». (ООО БиоФАРМАХОЛДИНГ, Россия)

Таблица 2. Классификация функциональных типов тканевых базофилов В. В. Серова и А. Б. Шехтера [5]

Функциональный тип клетки	Морфологическая характеристика
I	относительно мелкие клетки с ортохроматической зернистостью при окраске толуидиновым синим
II	более крупные клетки с обильной метахроматической зернистостью
III	клетки с выраженной дегрануляцией и большим количеством гранул в межклеточном веществе, не имеющие четких контуров, с отчетливо просматриваемым ядром
IV	опустошенные в результате секреции тучные клетки, которые почти или совсем не содержат гранул, имеют слабую гомогенную окраску и хорошо заметное ядро

Все полученные морфометрические данные подвергались статистической обработке в программах Microsoft Excel 2010 и IBM SPSS Statistics 23.0. После проверки на нормальность распределения выборки, для сравнения данных использовался U-критерий Манна–Уитни, статистически значимым считали уровень $p \leq 0,05$. Все числовые результаты были представлены в виде медианы и квартилей (Me [Q_1; Q_3]).

Результаты

В норме кожа крыс имела типичное послойное строение: эпидермис, дерма с придатками и гиподерма. ТБ располагались поодиночке или группами по 4–6 клеток, преимущественно вокруг кровеносных сосудов в сосочковом и сетчатом слое дермы. Преобладали клетки округлой формы, с крупным ядром, базофильной зернистостью в цитоплазме, средняя площадь одного мастоцита составила 4,14 [3,15; 5,27] мкм². При определении функциональных типов клеток преобладали неактивные формы (I и II типа), при этом КД составил 0,22 [0,21; 0,24] усл. ед.

На 3 сут. эксперимента в ОР у животных всех групп отмечались признаки

https://doi.org/10.23888/HMJ202513175-84

некроза всех слоев кожи. Молодая ГТ к этому сроку не сформировалась. Ввиду массивного некроза ткани ТБ локализовались преимущественно у края раны и в слоях гиподермы.

В контрольной группе на 3 сут. эксперимента ТБ имели округлую, угловатую форму (рис. 1), площадь одной клетки составила 4,44 [3,87; 5,00] мкм². По сравнению с интактной группой увеличилось количество III и IV типов клеток в 1,8–2,5 раза, КД увеличился до 0,38 [0,35; 0,4] усл. ед. В группе с применением коллагеновой матрицы ТБ имели отростчатую форму (рис. 1), средняя площадь одной клетки составила 3,96 [3,24; 4,69] мкм^2 (U-критерий Манна–Уитни, $p < 0,05$). По сравнению с контрольной группой значительно увеличилось общее количество ТБ в единице площади, с преобладанием клеток III функционального типа (табл. 3). КД составил 0,43 [0,41; 0,45] усл. ед. (табл. 4).

На 5 сут. эксперимента в гистологической картине раны отмечалась выраженная лейкоцитарная инфильтрация с участками некроза, глубже признаки формирования молодой ГТ, с обилием клеточных элементов, мелких кровеносных сосудов. Площадь ГТ у животных контрольной группы составила 2823,2 [2535,1; 3108,4] мкм^2, экспериментальной группы — 2241,7 [1988,7; 2405,6] мкм^2. Анализ тучных клеток в группе животных без лечения показал, что площадь клетки в среднем составила 4,43 [3,25; 5,28] мкм². По количеству доминировали клетки III и IV функциональных типов, при этом КД увеличился до 0,54 [0,52; 0,56] усл ед. В группе с лечением ОР площадь ТБ составила 4,39 [3,88; 5,32] мкм², увеличилось общее количество клеток на единицу площади, по сравнению с группой без лечения. При этом из функциональных типов значительно преобладали клетки I типа (37,83 кл/мм^2) и II типа (32,43 кл/мм^2) по сравнению с такими же показателями контрольной группы (I тип — 13,51 кл/мм^2; II тип — 18,92 кл/мм^2) (табл. 3). Увеличение количества функционально неактивных форм клеток привело к уменьшению показателя КД, который составил 0,36 [0,33; 0,39] усл. ед. по сравнению с контрольной группой (табл. 4).

На 7 сут. эксперимента в группе животных без лечения поверхность раны покрыта гнойно-некротическим струпом, под которым сохранялась лейкоцитарная (преимущественно нейтрофильная) инфильтрация. ГТ площадью 3871,55 [3523,4; 4101,7] мкм^2, на протяжении всего среза приобретала признаки более зрелой ткани, волокна выстраивались в одном направлении, между ними обилие клеток фибробластического дифферона с тонкостенными сосудами. С краев раны имелись признаки наползания новообразованного эпителия.

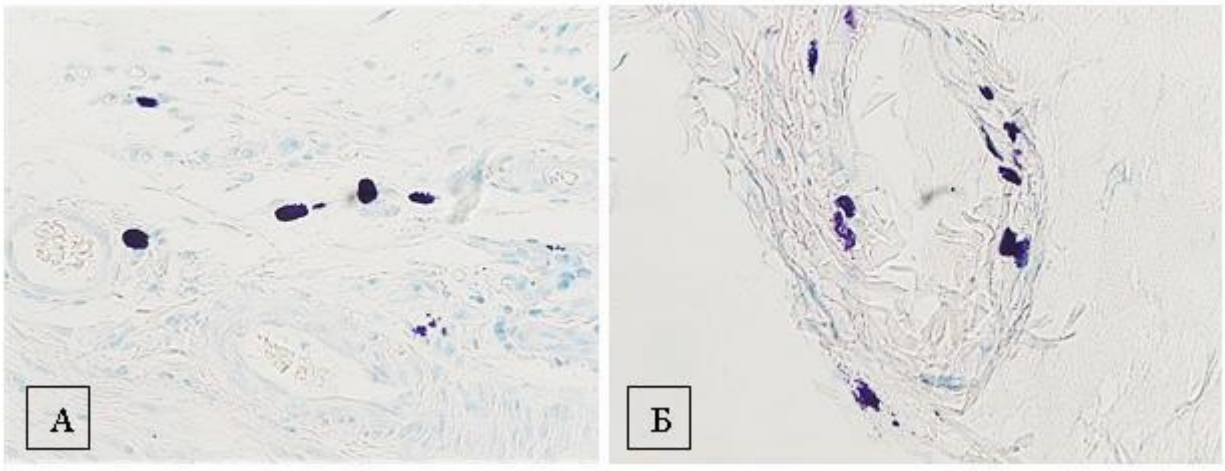

Рис. 1. Тканевые базофилы в кожной ране на 3 сутки эксперимента. Окраска толуидиновым синим, увеличение × 400.
Примечание: А — контрольная группа; Б — экспериментальная группа.

https://doi.org/10.23888/HMJ202513175-84

Таблица 3. Функциональные типы тканевых базофилов в разные сроки эксперимента на единицу площади (1 мм^2)

	Интактная группа	3 сутки		5 сутки		7 сутки	
		контрольная группа (Me)	экспериментальная группа (Me)	контрольная группа (Me)	экспериментальная группа (Me)	контрольная группа (Me)	экспериментальная группа (Me)
I тип	36,49	21,62	25,67	13,51	**37,83**$^{\#}$	18,92	**33,78**$^{\#}$
II тип	29,73	25,67	35,13	18,92	**32,43**$^{\#}$	25,67	28,37
III тип	9,46	17,56	**29,72**$^{\#}$	21,62	24,32	27,03	**12,16**$^{\#}$
IV тип	4,05	10,81	13,51	16,22	16,21	44,59	**13,51**$^{\#}$

Примечание: $^{\#}$ — достоверные отличия от показателей контрольной группы (U-критерий Манна–Уитни, $p < 0,05$

Таблица 4. Коэффициент дегрануляции тканевых базофилов в разные сроки эксперимента, усл. ед. (Me [Q_{25}; Q_{75}])

День эксперимента	Интактная группа	Контрольная группа	Экспериментальная группа
3	0,22 [0,20; 0,25]	0,38 [0,35; 0,4]	**0,43**$^{\#}$ [0,41; 0,45]
5		0,54 [0,51; 0,56]	**0,36**$^{\#}$ [0,33; 0,39]
7		0,6 [0,58; 0,63]	**0,28**$^{\#}$ [0,24; 0,31]

Примечание: $^{\#}$ — достоверные отличия от показателей контрольной группы (U-критерий Манна–Уитни, $p < 0,05$

Общее количество ТБ (табл. 3, 4) к этому сроку эксперимента было максимальным, при этом дегранулированных форм (III, IV тип) было в 1,6 раза больше, чем недегранулированных клеток (I, II тип). Функциональная активность к этому дню наблюдения также была максимальна и составляла по медиане 0,6 усл. ед.

На 7 сут. эксперимента в экспериментальной группе отмечалась умеренная воспалительная инфильтрация. В ГТ наблюдали сеть однонаправленных коллагеновых волокон с множеством новообразованных сосудов, большим количеством клеток фибробластического ряда. Ее площадь на 19,0% меньше, чем в группе контроля 2896,1 [2645,3; 3116,4] мкм^2 ($p < 0,05$). Эпителизация раны была неполная. Общее количество тучных клеток к этому дню наблюдения уменьшилось (табл. 3, 4), по сравнению с контрольной группой, при этом клетки I типа составили 38,5%, III и IV типов 13,84% и 15,38% соответственно. КД составил 0,28 [0,24; 0,31] усл. ед., что в 2 раза меньше, чем в группе животных без лечения (рис. 2).

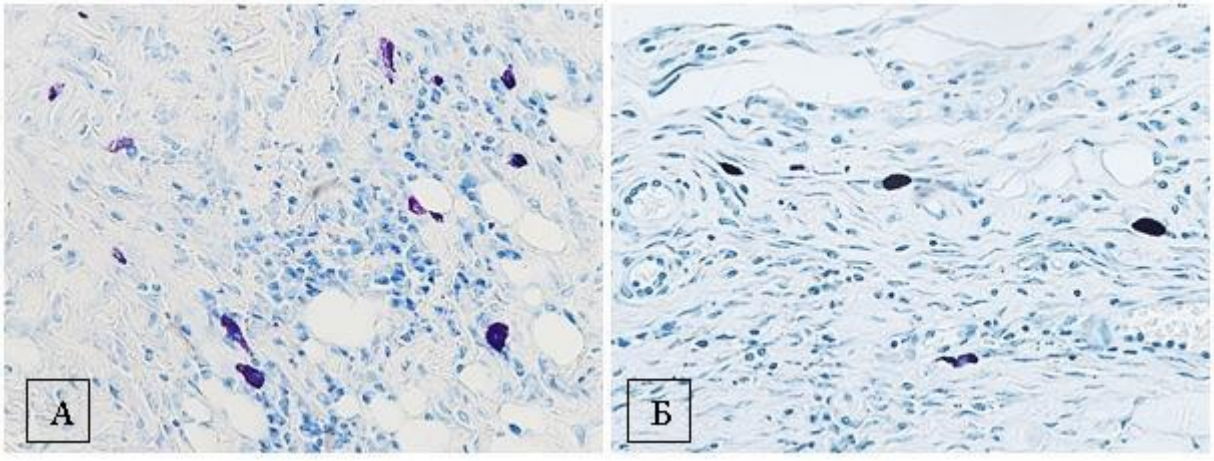

Рис. 2. Тканевые базофилы в кожной ране на 7 сутки эксперимента. Окраска толуидиновым синим, увеличение × 400.
Примечание: А — контрольная группа; Б — экспериментальная группа.

https://doi.org/10.23888/HMJ202513175-84

Обсуждение

Проведенное исследование показало, что после термической травмы в первые дни наблюдения ТБ располагались в области края раны, так как в центральной части отмечался коагуляционный некроз. Общее количество тучных клеток уменьшалось, однако их функциональная активность увеличивалась, что также отмечено другими исследователями, которые в своих работах показали массивный выброс содержимого гранул ТБ на ранние сроки ранозаживления [9]. Вещества гранул, такие как гистамин, триптаза и другие, оказывают провоспалительное действие и способствуют привлечению в очаг повреждения клеток воспалительного ряда [10].

В дальнейшем, по мере заживления к 7 сут. эксперимента в ране уменьшались некротические изменения, дефект заполнялся созревающей ГТ с обилием сосудов, количество ТБ продолжало увеличиваться, из них преобладали клетки III и IV типов, что привело к росту КД. В работах ряда других исследователей продемонстрировано постепенное увеличение функциональной активности ТБ по мере увеличения сроков наблюдения за регенерацией ОР [11]. В фазу пролиферации раневого процесса тучные клетки выделяют факторы, приводящие к ускорению образования ГТ, неоангиогенезу, а также эпителизации раны [8, 12].

В настоящий момент привлекают внимание разработки биосовместимых раневых покрытий, содержащие компоненты межклеточного вещества, в т. ч. и коллаген [13]. Являясь одним из главных белков экстрацеллюлярного матрикса, он принимает активное участие в разных фазах ранозаживления ОР, начиная от гемостаза и воспаления, заканчивая фазой ремоделирования [14]. В нашем исследовании использование коллагенового покрытия привело к отличиям в гистологической картине ОР по сравнению с группой контроля. К 3 сут. эксперимента в ране напротив увеличивалось общее количество ТБ, большая часть клеток была в состоянии дегрануляции. Данные изменения возможно связаны с влиянием компонентов коллагена на инициирование воспалительной реакции: ускорение гемостаза, за счет влияния на адгезию тромбоцитов, привлечение воспалительных клеток в очаг повреждения, что отмечается в ряде работ [15, 16]. К 7 сут. исследования в ране уменьшалась воспалительная реакция, площадь ГТ меньше, чем в группе контроля, общее количество ТБ постепенно уменьшалось с уменьшением КД. Такие изменения возможно связаны с тем, что сама коллагеновая матрица и продукты ее деградации являются искусственным каркасом, который облегчает эпителизацию раны, способствует прикреплению клеток фибробластического дифферона и синтезу ими коллагеновых волокон [17]. Связывание факторов роста позволяет регулировать активность клеток, что, по данным литературы, влияет на процесс регенерации раны [18]. Уменьшая функциональную активность ТБ, можно ослабить их влияние на избыточный синтез коллагена, который, по литературным данным, приводит к образованию гипертрофических рубцов [12].

Заключение

Проведенное исследование показало, что в ожоговой ране отмечаются признаки краевой эпителизации, развивается созревающая грануляционная ткань, увеличивается функциональная активность тканевых базофилов за счет увеличения дегранулированных форм (III и IV тип) и коэффициента дегрануляции к 7 суткам эксперимента.

При применении коллагенового покрытия в ожоговой ране отмечаются признаки эпителизации, уменьшение площади грануляций. Выраженная функциональная активность тканевых базофилов отмечается на 3 сутки эксперимента, с уменьшением их функциональной активности к 7 суткам эксперимента.

https://doi.org/10.23888/HMJ202513175-84

Список источников

1. World Health Organization. Fact Sheet. Burns [Интернет]. Доступно по: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/burns. Ссылка активна на 27.05.2024.
2. Burgess M., Valdera F., Varon D., et al. The Immune and Regenerative Response to Burn Injury // Cells. 2022. Vol. 11, No. 19. P. 3073. doi: 10.3390/cells11193073
3. Соболева М.Ю. Морфофункциональные особенности восстановления целостности кожи при термической травме // Клиническая и экспериментальная морфология. 2019. Т. 8, № 1. С. 71–77. doi: 10.31088/2226-5988-2019-29-1-71-77
4. Lateef Z., Stuart G., Jones N., et al. The Cutaneous Inflammatory Response to Thermal Burn Injury in a Murine Model // Int. J. Mol. Sci. 2019. Vol. 20, No. 3. P. 538. doi: 10.3390/ijms20030538
5. Столбовская О.В., Лаврушина Е.Е., Панюшева Е.С., и др. Морфофункциональное состояние тучных клеток кожи мышей в ходе заживления термической травмы // Ульяновский медико-биологический журнал. 2013. № 4. С. 93–98.
6. Atiakshin D., Soboleva M., Nikityuk D., et al. Mast Cells in Regeneration of the Skin in Burn Wound with Special Emphasis on Molecular Hydrogen Effect // Pharmaceuticals (Basel). 2023. Vol. 16, No. 3. P. 348. doi: 10.3390/ph16030348
7. West P.W., Bulfone–Paus S. Mast cell tissue heterogeneity and specificity of immune cell recruitment // Front. Immunol. 2022. Vol. 13. P. 932090. doi: 10.3389/fimmu.2022.932090
8. Ud–Din S., Wilgus T.A., Bayat A. Mast Cells in Skin Scarring: A Review of Animal and Human Research // Front. Immunol. 2020. Vol. 11. P. 552205. doi: 10.3389/fimmu.2020.552205
9. Sierawska O., Małkowska P., Taskin C., et al. Innate Immune System Response to Burn Damage-Focus on Cytokine Alteration // Int. J. Mol. Sci. 2022. Vol. 23, No. 2. P. 716. doi: 10.3390/ijms 23020716
10. Elieh Ali Komi D., Wöhrl S., Bielory L. Mast Cell Biology at Molecular Level: a Comprehensive Review // Clin. Rev. Allergy Immunol. 2020. Vol. 58, No. 3. P. 342–365. doi: 10.1007/s12016-019-08769-2
11. Черданцева Т.М., Чернов И.П., Громова Т.М., и др. Морфофункциональные особенности тучных клеток в ожоговой ране при применении коллагеновой матрицы // Наука молодых (Eruditio Juvenium). 2022. Т. 10, № 1. С. 5–14. doi: 10.23888/HMJ20221015-14
12. Осиков М.В., Агеева А.А., Федосов А.А., и др. Роль тучных клеток в репарации кожи после термической травмы при применении дермальной пленки с мелатонином // Вестник Российского государственного медицинского университета. 2021. № 4. С. 36–44. doi: 10.24075/vrgmu.2021.035
13. Мелконян К.И., Козмай Я.А., Русинова Т.В., и др. Применение гидрогеля на основе дермы свиньи для экспериментального лечения поверхностных ран // Бюллетень сибирской медицины. 2023. Т. 22, № 3. С. 54–60. doi: 10.20538/1682-0363-2023-3-54-60
14. Davison–Kotler E., Marshall W.S., García–Gareta E. Sources of Collagen for Biomaterials in Skin Wound Healing // Bioengineering (Basel). 2019. Vol. 6, No. 3. P. 56. doi: 10.3390/bioengineering 6030056
15. Мелешина А.В., Быстрова А.С., Роговая О.С., и др. Тканеинженерные конструкты кожи и использование стволовых клеток для создания кожных эквивалентов (обзор) // Современные технологии в медицине. 2017. Т. 9, № 1. С. 198–218. doi: 10.17691/stm2017.9.1.24
16. Elfawy L.A., Ng C.Y., Amirrah I.N., et al. Sustainable Approach of Functional Biomaterials-Tissue Engineering for Skin Burn Treatment: A Comprehensive Review // Pharmaceuticals (Basel). 2023. Vol. 16, No. 5. P. 701. doi: 10.3390/ph16050701
17. Lahmar A., Rjab M., Sioud F., et al. Design of 3D Hybrid Plant Extract/Marine and Bovine Collagen Matrixes as Potential Dermal Scaffolds for Skin Wound Healing // ScientificWorldJournal. 2022. Vol. 2022. P. 8788061. doi: 10.1155/2022/8788061
18. Amirrah I.N., Mohd Razip Wee M.F., Tabata Y., et al. Antibacterial–Integrated Collagen Wound Dres-sing for Diabetes–Related Foot Ulcers: An Evidence–Based Review of Clinical Studies // Polymers (Basel). 2020. Vol. 12, No. 9. P. 2168. doi: 10.3390/polym12092168

References

1. World Health Organization. Fact Sheet. Burns [Internet]. Available at: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/burns. Accessed: 27 May 2024.
2. Burgess M, Valdera F, Varon D, et al. The Immune and Regenerative Response to Burn Injury. *Cells*. 2022;11(19):3073. doi: 10.3390/cells11193073
3. Soboleva MYu. Morphofunctional features of the restoration of the integrity of the skin after thermal injury. *Clinical and Experimental Morphology*. 2019;8(1):71–7. (In Russ). doi: 10.31088/2226-5988-2019-29-1-71-77
4. Lateef Z, Stuart G, Jones N, et al. The Cutaneous Inflammatory Response to Thermal Burn Injury in a Murine Model. *Int J Mol Sci*. 2019;20(3):538. doi: 10.3390/ijms20030538
5. Stolbovskaya OV, Lavrushina EE, Panusheva ES, et al. Morphofunctional state of the fat cells of the skin of the mice in the course of the healing ther-

mal burn. *Ulyanovsk Medico-Biological Journal.* 2013; (4):93–8. (In Russ).
6. Atiakshin D, Soboleva M, Nikityuk D, et al. Mast Cells in Regeneration of the Skin in Burn Wound with Special Emphasis on Molecular Hydrogen Effect. *Pharmaceuticals (Basel).* 2023;16(3):348. doi: 10.3390/ph16030348
7. West PW, Bulfone–Paus S. Mast cell tissue heterogeneity and specificity of immune cell recruitment. *Front Immunol.* 2022;13:932090. doi: 10.3389/fimmu.2022.932090
8. Ud–Din S, Wilgus TA, Bayat A. Mast Cells in Skin Scarring: A Review of Animal and Human Research. *Front Immunol.* 2020;11:552205. doi: 10.3389/fimmu.2020.552205
9. Sierawska O, Małkowska P, Taskin C, et al. Innate Immune System Response to Burn Damage-Focus on Cytokine Alteration. *Int J Mol Sci.* 2022;23(2): 716. doi: 10.3390/ijms23020716
10. Elieh Ali Komi D, Wöhrl S, Bielory L. Mast Cell Biology at Molecular Level: a Comprehensive Review. *Clin Rev Allergy Immunol.* 2020;58(3): 342–65. doi: 10.1007/s12016-019-08769-2
11. Cherdantseva TM, Chernov IP, Gromova TM, et al. Morphofunctional Peculiarities of Mast Cells in Burn Wound with Application of Collagen Matrix. *Nauka Molodykh (Eruditio Juvenium).* 2022;10(1): 5–14. (In Russ). doi: 10.23888/HMJ20221015-14
12. Osikov MV, Ageeva AA, Fedosov AA, et al. Role of mast cells in skin regeneration after thermal burn treated with melatonin-enriched dermal film. *Bulletin of Russian State Medical University*. 2021;(4):36–44. (In Russ). doi: 10.24075/vrgmu.2021.035
13. Melkonyan KI, Kozmay YaA, Rusinova TV, et al. Application of a hydrogel derived from porcine dermis for experimental treatment of superficial wounds. *Bulletin of Siberian Medicine.* 2023;22(3):54–60. (In Russ). doi: 10.20538/1682-0363-2023-3-54-60
14. Davison–Kotler E, Marshall WS, García–Gareta E. Sources of Collagen for Biomaterials in Skin Wound Healing. *Bioengineering (Basel).* 2019; 6(3):56. doi: 10.3390/bioengineering6030056
15. Meleshina AV, Bystrova AS, Rogovaya OS, et al. Tissue–Engineered Skin Constructs and Application of Stem Cells for Creation of Skin Equivalents (Review). *Modern Technologies in Medicine.* 2017;9(1):198–218. (In Russ). doi: 10.17691/stm2017.9.1.24
16. Elfawy LA, Ng CY, Amirrah IN, et al. Sustainable Approach of Functional Biomaterials–Tissue Engineering for Skin Burn Treatment: A Comprehensive Review. *Pharmaceuticals (Basel).* 2023;16(5): 701. doi: 10.3390/ph16050701
17. Lahmar A, Rjab M, Sioud F, et al. Design of 3D Hybrid Plant Extract/Marine and Bovine Collagen Matrixes as Potential Dermal Scaffolds for Skin Wound Healing. *ScientificWorldJournal.* 2022; 2022:8788061. doi: 10.1155/2022/8788061
18. Amirrah IN, Mohd Razip Wee MF, Tabata Y, et al. Antibacterial-Integrated Collagen Wound Dressing for Diabetes-Related Foot Ulcers: An Evidence-Based Review of Clinical Studies. *Polymers (Basel).* 2020;12(9):2168. doi: 10.3390/polym12092168

Дополнительная информация

Финансирование. Работа выполнена в рамках V молодежного научно-исследовательского гранта ФГБОУ РязГМУ Минздрава России имени профессора Ю. И. Ухова.

Funding. The work was carried out within the framework of the V Youth Research Grant of the Ryazan State Medical University named after Professor Yu. I. Ukhov.

Этика. Исследование выполнено в соответствии с международными принципами экспериментальной этики.

Ethics. The study was carried out in accordance with the international principles of experimental ethics.

Информация об авторах:
Черданцева Татьяна Михайловна — д-р мед. наук, доцент, заведующий кафедрой гистологии, патологической анатомии и медицинской генетики, SPIN: 3773-8785, https://orcid.org/0000-0002-7292-4996, e-mail: cherdan.morf@yandex.ru

Шеломенцев Виктор Витальевич — ассистент кафедры гистологии, патологической анатомии и медицинской генетики, SPIN: 8499-0269, https://orcid.org/0000-0003-2617-8707, e-mail: shelvit94@gmail.com

✉ *Некрасова Марина Сергеевна* — ассистент кафедры гистологии, патологической анатомии и медицинской генетики, SPIN: 2035-8060, https://orcid.org/0000-0001-8178-6014, e-mail: marinanekrasova555@gmail.com

Генчева Валентина Анатольевна — студент 3 курса лечебного факультета, https://orcid.org/0009-0007-8202-9358, e-mail: genchevav6@gmail.com

Information about the authors:
Tat'yana M. Cherdantseva — MD, Dr. Sci. (Med.), Associate Professor, Head of the Department of Histology, Pathological Anatomy and Medical Genetics, SPIN: 3773-8785, https://orcid.org/0000-0002-7292-4996, e-mail: cherdan.morf@yandex.ru

Viktor V. Shelomentsev — Assistant of the Department of Histology, Pathological Anatomy and Medical Genetics, SPIN: 8499-0269, https://orcid.org/0000-0003-2617-8707, e-mail: shelvit94@gmail.com

✉ *Marina S. Nekrasova* — Assistant of the Department of Histology, Pathological Anatomy and Medical Genetics, SPIN: 2035-8060, https://orcid.org/0000-0001-8178-6014, e-mail: marinanekrasova555@gmail.com

Valentina A. Gencheva — 3-Year Student of the Faculty of Medicine, https://orcid.org/0009-0007-8202-9358, e-mail: genchevav6@gmail.com

Вклад авторов:
Черданцева Т. М. — концепция и дизайн исследования, редактирование.
Шеломенцев В. В. — статистический анализ данных, визуализация данных, редактирование.

Contribution of the authors:
Cherdantseva T. M. — concept and design of study, editing.
Shelomentsev V. V. — statistical analysis of data, visualization of data, editing.

Некрасова М. С. — сбор и анализ литературных источников, сбор и обработка материала, написание текста.
Генчева В. А. — сбор и анализ литературных источников, сбор и обработка материала, написание текста.
Утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи — все соавторы.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Nekrasova M. S. — collection and analysis of literary sources, collection and processing of material, writing the text.
Gencheva V. A. — collection and analysis of literary sources, collection and processing of material, writing the text.
Approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article all authors.

Conflict of interests. The authors declare no conflicts of interests.

Рукопись получена: 27.05.2024
Received: 27.05.2024

Рукопись одобрена: 01.03.2025
Accepted: 01.03.2025

Опубликована: 31.03.2025
Published: 31.03.2025

https://doi.org/10.23888/HMJ202513175-84