

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-1-69-81>

# Макроскопические и сонографические корреляции в оценке регенерации ожогового повреждения кожи морских свинок под действием секрета мультипотентных мезенхимальных стромальных клеток

## КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Ангелина Алексеевна Усачева  
E-mail: kazakovaangeli@gmail.com

## ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Усачева А.А., Борхунова Е.Н., Кузнецова М.А., Довгий А.И. Макроскопические и сонографические корреляции в оценке регенерации ожогового повреждения кожи морских свинок под действием секрета мультипотентных мезенхимальных стромальных клеток. *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2026;16(1):69-81. <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-1-69-81> EDN ATLCXC

ПОСТУПИЛА: 25.11.2025

ДОРАБОТАНА: 24.02.2026

ПРИНЯТА: 24.03.2026

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

**COPYRIGHT:** © 2026 Усачева А.А., Борхунова Е.Н., Кузнецова М.А., Довгий А.И.



А.А. Усачева <sup>1</sup> , Е.Н. Борхунова <sup>1</sup> , М.А. Кузнецова <sup>1</sup> ,  
А.И. Довгий <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К. И. Скрябина, Москва, Россия

<sup>2</sup> ООО «Т-Хелпер КТ», Москва, Россия

## АННОТАЦИЯ

**ВВЕДЕНИЕ.** Термические ожоги кожи у сельскохозяйственных животных являются частой травмой, приводящей к выбраковке животных, снижению продуктивности и значительному экономическому ущербу. Существующие методы лечения в ветеринарной практике часто недостаточно эффективны из-за медленного очищения ран, инфицирования и грубого рубцевания. Стимуляция репарации для улучшения результатов лечения возможна с помощью препаратов-регенерантов, в частности, секрета мультипотентных мезенхимальных стромальных клеток (ММСК), который содержит комплекс цитокинов про- и противовоспалительного действия.

**ЦЕЛЬ.** Оценить влияние секрета ММСК на репарацию кожи животных после термического ожога III степени.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.** Исследование проведено на 60 морских свинках, которым на коже бедра моделировали термический ожог III степени и распределяли на контрольную (физиологический раствор,  $n = 20$ ), опытную (секретом ММСК,  $n = 20$ ) группы и группу сравнения (мазь на основе декспантенола,  $n = 20$ ). Исследования проводили на 7-е, 30-е и 60-е сутки, используя комплексный методический подход, включающий клинический осмотр, ультрасонографические и гистологические исследования.

**РЕЗУЛЬТАТЫ.** Доказано, что секретом ММСК на ранних стадиях (7-е сутки) стимулирует макрофагальную резорбцию детрита, а также неоангиогенез, формирование грануляционной ткани и эпителизацию. К 30-м суткам эксперимента в опытной группе выявили более раннее, по сравнению с другими группами, созревание фиброзной ткани и появление признаков органотипии в периферических частях регенерата. На 60-е сутки рубцовые изменения кожи были минимальны по сравнению с контролем и группой сравнения, при этом центральная, меньшая по площади, часть регенерата была представлена нормотрофическим рубцом с признаками ремоделирования, а периферическая имела органотипическое строение.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** Применение секрета ММСК стимулирует репаративную регенерацию кожи после термического ожога за счет быстрой резорбции детрита, активизации роста грануляций, созревания и ремоделирования рубцовой ткани с выраженной тенденцией к формированию органотипического регенерата. Полученные данные обосновывают целесообразность дальнейших исследований на сельскохозяйственных животных и разработку ветеринарных препаратов на основе секрета.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** кожа, УЗИ, секретом ММСК, термические ожоги кожи животных, регенерация

<https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-1-69-81>

# Macroscopic and sonographic correlations in the assessment of burn injury regeneration in guinea pig skin under the influence of the secretome of multipotent mesenchymal stromal cells

## CORRESPONDENCE:

Angelina A. Usacheva

E-mail: kazakovaangeli@gmail.com

## FOR CITATION:

Usacheva A.A., Borkhunova E.N., Kuznetsova M.A., Dovgii A.I. Macroscopic and sonographic correlations in the assessment of burn injury regeneration in guinea pig skin under the influence of the secretome of multipotent mesenchymal stromal cells. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*.

2026;16(1):69-81. (In Russ.) <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2026-16-1-69-81>

RECEIVED: 25.11.2025

REVISED: 24.02.2026

ACCEPTED: 24.03.2026

## DECLARATION OF COMPETING INTEREST:

none declared.

COPYRIGHT: © 2026 Usacheva A.A., Borkhunova E.N., Kuznetsova M.A., Dovgii A.I.



Angelina A. Usacheva <sup>1</sup> , Elena N. Borkhunova <sup>1</sup> ,  
Maria A. Kuznetsova <sup>1</sup> , Andrei I. Dovgii <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MVA named after K.I. Skryabin, Moscow, Russia

<sup>2</sup> T-Helper Cell Technologies, LLC, Moscow, Russia

## ABSTRACT

**INTRODUCTION.** Thermal skin burns in farm animals represent a common traumatic injury, leading to culling, reduced productivity, and significant economic losses. Existing treatment modalities in veterinary practice are often insufficiently effective due to delayed wound debridement, infection, and extensive scarring. Stimulation of repair to improve treatment outcomes is achievable through the use of regenerative agents, particularly the secretome of multipotent mesenchymal stromal cells (MMSCs), which contains a complex of cytokines with both pro- and anti-inflammatory activity.

**AIM.** To evaluate the effect of the MMSC secretome on skin repair following a third-degree thermal burn.

**MATERIALS AND METHODS.** The study was conducted on 60 guinea pigs. A third-degree thermal burn was simulated on the femoral skin, after which the animals were divided into a control group (saline solution,  $n = 20$ ), an experimental group (MMSC secretome,  $n = 20$ ), and a comparison group (dexpanthenol-based ointment,  $n = 20$ ). Examinations were performed on days 7, 30, and 60, employing a comprehensive methodological approach that included clinical observation, ultrasonographic, and histological studies.

**RESULTS.** The study demonstrates that the MMSC secretome stimulates macrophage-mediated resorption of detritus, as well as neoangiogenesis, granulation tissue formation, and epithelialization at the early stage (day 7). By day 30, the experimental group exhibited earlier maturation of fibrous tissue and the appearance of signs of organotypic structure in the peripheral parts of the regenerate, compared to the other groups. On day 60, scar changes in the skin were minimal compared to the control and comparison groups. At this stage, the smaller central area of the regenerate was represented by a normotrophic scar with signs of remodeling, while the peripheral area exhibited an organotypic structure.

**CONCLUSION.** The application of the MMSC secretome stimulates reparative regeneration of skin after a thermal burn by promoting rapid detritus resorption, enhancing granulation tissue growth, and facilitating the maturation and remodeling of scar tissue, with a pronounced tendency towards the formation of an organotypic regenerate. The obtained data substantiate the feasibility of further studies in farm animals and the development of veterinary drugs based on the secretome.

**KEYWORDS:** skin, ultrasound, MMSC secretome, thermal skin burns in animals, regeneration

## ВВЕДЕНИЕ

Термические поражения кожи являются одной из распространенных травм у сельскохозяйственных животных. В условиях животноводческих комплексов и частных хозяйств ожоги возникают при пожарах, контакте с нагретыми поверхностями оборудования, воздействии горячих жидкостей, пара или открытого пламени [1]. У крупного рогатого скота, свиней и лошадей такие повреждения нередко приводят к длительной потере продуктивности, выбраковке ценных особей, а также к затратам на лечение и уход [2; 3]. Сложность лечения ожогов у животных и высокий риск осложнений во многом определяются патофизиологическими процессами, развивающимися в зоне термического поражения.

Термическое поражение кожи характеризуется глубокой деструкцией тканей и выраженными нарушениями микроциркуляции, приводящими к формированию обширного некротического очага, окруженного зоной некробиоза [4; 5]. Глубокие деструктивные изменения осложняют ферментативное очищение очага повреждения, снижая его эффективность, а также значительно ухудшают перфузию перифокальных тканей, создавая неблагоприятные условия для регенерации и обуславливая пролонгированное течение восстановительных процессов. Актуальность разработки новых терапевтических подходов для лечения пациентов с термическими ожогами определяется высокой частотой осложнений, которые наблюдаются при заживлении послеожоговой поверхности, к которым относятся инфицирование, замедленное формирование грануляций, грубые рубцовые на постдеструктивной поверхности изменения [4–6]. Существующие в ветеринарной практике подходы к лечению термических поражений характеризуются недостаточной разработанностью лечебной тактики и требуют дальнейшего совершенствования, что обуславливает актуальность исследований в данной области [7].

Одним из эффективных средств для лечения пациентов с ожогами кожи является регенеративный препарат – секретом мультипотентных мезенхимальных стромальных клеток (ММСК). Он представляет собой кондиционную среду, которая содержит комплекс биологически активных веществ, в частности, цитокины (IL-6, IL-10, IP-10, GRO/KC, TGF- $\beta$ , IFN- $\gamma$ , MCP-1, VEGF), липиды и внеклеточные везикулы [8–10]. Комбинированное воздействие ком-

понентов секретом способствует избирательному воздействию на ключевые стадии репаративного процесса и оказывает активирующее действие на хемотаксис макрофагов и нейтрофилов, ферментативный лизис детрита, неоваскулогенез и своевременный регресс гемокапилляров при формировании и созревании регенерата, пролиферацию и апоптоз фибробластов, синтез компонентов внеклеточного матрикса [8–10]. На наш взгляд, перечисленные эффекты препарата могут нивелировать негативные репаративные тенденции в ожоговой ране и способствовать улучшению заживления.

Важным преимуществом секретом ММСК по сравнению, например, с клеточными суспензиями, является биологическая безопасность, связанная с универсальностью регуляторных молекул, отсутствие риска иммунного отторжения и онкогенной трансформации, а также возможность стандартизации состава препарата [11–13]. Однако до сих пор изучение влияния секретом ММСК на репарацию кожи после ожогов не проводилось. Вместе с тем изучение этого вопроса с применением морфологического контроля процесса имеет важное научное и практическое значение как для углубленного изучения механизмов действия секретом, так и для оптимизации его применения в клинической практике [11–13].

В этой связи нами проведено экспериментальное исследование, направленное на выявление особенностей течения репарации кожи после термического ожога на основании макроскопического и микроскопического исследования. Учитывая, что в клинической практике для оценки динамики репарации кожи нередко прибегают к ультразвуковому исследованию (УЗИ), которое позволяет точно определять толщину кожи и рубцовой ткани [14–16] и оценить качество рубца и эффективность проводимой терапии [17–19], мы сочли целесообразным дополнить морфологические данные результатами ультразвукового исследования кожи в области репарации.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Материалы

Исследование выполнено на базе кафедры анатомии и гистологии животных имени профессора А. Ф. Климова Московской государственной академии ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К. И. Скрябина. Объектом исследования

послужили 60 гладкошерстных морских свинок-самок в возрасте 6 месяцев. Выбор морских свинок в качестве экспериментальной модели обусловлен возможностью детального морфологического анализа и последующей экстраполяцией результатов на сельскохозяйственных животных, учитывая общие закономерности репарации кожи у млекопитающих.

Секретом ММСК в инъекционной форме (ООО «Т-Хелпер КТ», Москва) представляет собой зарегистрированный в Российской Федерации регенеративный препарат на основе стандартизированного комплекса цитокинов, продуцируемого запатентованной линией мезенхимальных стволовых клеток. В состав секрета входят цитокины, экзосомы, липиды и внеклеточные везикулы. Цитокиновый комплекс обеспечивает хемотаксис (TGF- $\beta$ , IP-10, IL-6, IFN- $\gamma$ , MCP-1, GRO/KC), регуляцию воспаления (IL-6, IP-10, IL-10, GRO/KC, TGF- $\beta$ ), ангиогенез (VEGF, GRO/KC, TGF- $\beta$ ) и стимулирует регенерацию (IL-6, VEGF, TGF- $\beta$ ) [20].

## Методы исследования

Экспериментальное моделирование ожога кожи III степени осуществляли после седации 1 %-ным раствором Медитина путем аппликации стального цилиндра, нагретого на водяной бане до 100 °С при экспозиции 20 секунд [21].

Мониторинг репаративного процесса включал макроскопические, планиметрические, ультразвуковые и гистологические исследования на 7-е, 30-е и 60-е сутки эксперимента.

Макроскопические исследования проводили путем осмотра и пальпации постдеструктивной поверхности и описания имеющихся изменений.

Планиметрические исследования площади области репарации проводили по методу Л. Н. Поповой.

Ультразвуковую визуализацию кожи в области репарации выполняли в условиях Лечебно-диагностического ветеринарного центра Московской ветеринарной академии на аппарате Samsung HS 50 с последующей дескриптивной оценкой полученных сканограмм.

Биопсийный материал отбирали в стерильных условиях после седации животных 1 %-ным раствором Медитина (0,1 мл на 1 кг массы животного), удаления волосяного покрова и обработки операционного поля антисептическим раствором Септо-спрей. Фрагмент кожи из области репарации

с захватом интактных тканей иссекали до гиподермы, используя лезвие № 21, после чего края раны ушивали узловатым швом. Образцы фиксировали в 10 %-ном формалине. Для гистологического исследования фрагменты толщиной 0,5–1 см обезжизняли в спиртах восходящих концентраций, заливали в парафин и изготавливали срезы толщиной 3 мкм на ротационных микротоме. Препараты окрашивали гематоксилином и эозином и изучали с использованием микроскопа Micro Screen с программным обеспечением для цифрового анализа изображения.

## Процедура исследования

Перед экспериментом животных подразделяли на три группы: контрольную, опытную и группу сравнения. После моделирования ожога у животных разных групп обработку послеожоговой поверхности проводили неодинаково. Всем животным моделировали ожоговое поражение по идентичной методике. Через 30 минут после термического воздействия визуально определяли зону некроза и прилежащую к ней зону нарушения кровообращения и проводили обработку.

В опытной группе инъецировали секретом ММСК в дозе 0,2 мл; препарат вводили подкожно в область нарушения кровообращения в четырех точках. Повторное введение препарата проводили через 7 суток в соответствии с рекомендацией производителя. В контрольной группе таким же образом вводили физиологический раствор для исключения местной реакции на процедуру инъекции. В группе сравнения использовали один из традиционных подходов к лечению ожоговых повреждений – мазь на основе декспантенола, которую наносили на область деструкции ежедневно в течение 7 суток согласно инструкции по применению.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Результаты макроскопического исследования

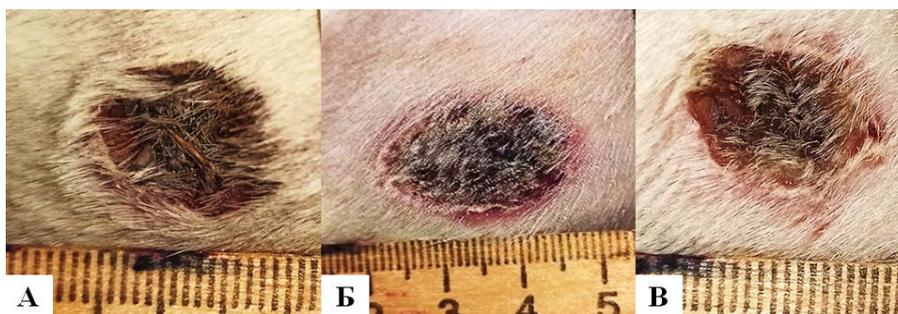
Через 7 суток воздействия в контрольной группе (рисунок 1 А) и группе сравнения (рисунок 1 В) постдеструктивная поверхность отличалась дефицитом ткани из-за активного лизиса некротических тканей, который происходил под плотным струпом и сопровождался экссудацией; признаки краевой эпителизации были выражены слабо. В то же время в опытной группе (рисунок 1 Б), напротив, наблюдали активную краевую эпите-

лизацию, а также рост грануляционной ткани под тонким струпом, в связи с чем дефицит тканей в области репарации отсутствовал. Площадь постдеструктивной поверхности в контрольной группе составляла  $2,65 \pm 0,19$ , в группе сравнения –  $3,24 \pm 0,26$ , в опытной группе –  $3,03 \pm 0,24$  см<sup>2</sup>.

К 30-м суткам в контрольной группе (рисунок 2 А) и группе сравнения (рисунок 2 В) сохранялся дефицит тканей, на постдеструктивной поверхности определялся плотный струп, а перифокально сохранялись признаки гиперемии и отека. В опытной группе (рисунок 2 Б) в этот срок наблюдали нормотрофический рубец, уровень поверхности которого соответствовал уровню поверхности окружающей кожи. Его центральная часть имеет багровый цвет, что соответствует морфологической незрелости рубцовой ткани. Периферическая часть характеризуется белесым цветом, что указывает на морфологическую зрелость рубца. При этом максимальная площадь области репарации зафиксирована в кон-

трольной группе ( $0,96 \pm 0,15$  см<sup>2</sup>), минимальная – в опытной ( $0,34 \pm 0,06$  см<sup>2</sup>), средние значения установлены в группе сравнения ( $0,67 \pm 0,08$  см<sup>2</sup>).

На 60-е сутки в контрольной группе (рисунок 3 А) отмечали рубец, большая часть которого имела красноватую окраску, а в группе сравнения (рисунок 3 В) обширная центральная часть регенерата имела темно-бордовый цвет и флюктуировала при пальпации. Все это указывает на морфологическую незрелость регенерата. В опытной группе (рисунок 3 Б) центральная, меньшая по размеру, часть регенерата была представлена рубцом белесого цвета, а периферическая не отличалась от окружающей интактной кожи. Планиметрические исследования показали, что площадь рубцовых изменений кожи была максимальной в контрольной группе ( $0,6 \pm 0,3$  см<sup>2</sup>), минимальной – в опытной группе ( $0,25 \pm 0,14$  см<sup>2</sup>) и имела средние значения в группе сравнения ( $0,45 \pm 0,2$  см<sup>2</sup>). Все это указывает на более активное течение процессов созревания и ремоделирования регенерата в опытной группе.



**Рисунок 1**

Состояние послеожоговой поверхности кожи в области бедра у морской свинки через 7 суток после нанесения ожога: **А** – контрольная группа; **Б** – опытная группа; **В** – группа сравнения

**Figure 1**

Post-burn skin surface condition in the guinea pig thigh region on day 7 after burn infliction: **A** – control group; **B** – experimental group; **V** – comparison group



**Рисунок 2**

Состояние послеожоговой поверхности кожи в области бедра у морской свинки на 30-е сутки после нанесения ожога: **А** – контрольная группа; **Б** – опытная группа; **В** – группа сравнения

**Figure 2**

Post-burn skin surface condition in the guinea pig thigh region on day 30 after burn infliction: **A** – control group; **B** – experimental group; **V** – comparison group

## Результаты гистологического исследования

Через 7 суток после нанесения ожога в контроле (рисунок 4 А) и группе сравнения (рисунок 4 В) под струпом выявлен слой некротически измененной кожи с воспалительной инфильтрацией и слабо выраженными признаками макрофагальной резорбции детрита. Глубже наблюдали тонкий и при этом неравномерный по толщине пласт грануляционной ткани. В опытной группе (рисунок 4 Б) под тонким струпом обнаруживали признаки ак-

тивной макрофагальной резорбции детрита с участием гигантских многоядерных клеток инородных тел, что, несомненно, и обуславливает раннее очищение очага деструкции от некротических масс. При этом грануляции формировали более мощный пласт, чем в других группах, и располагались непосредственно под струпом, отделяясь от него тонкой зоной демаркации. Признаки краевой эпителизации были отчетливо выражены, а эпителиальный пласт плотно соединялся с подлежащими грануляциями.

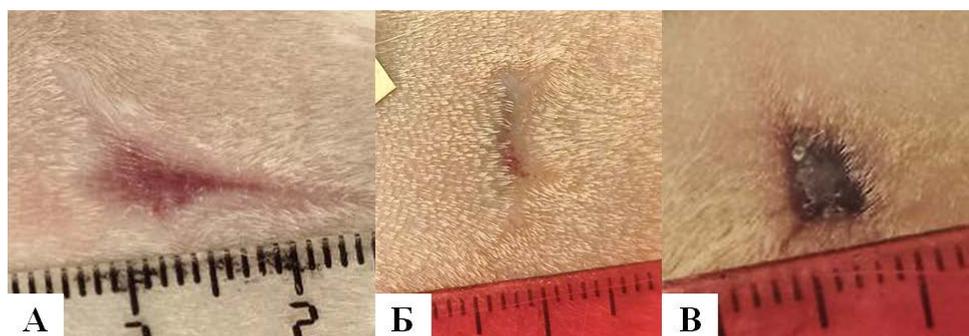


Рисунок 3

Состояние послеожоговой поверхности кожи в области бедра у морской свинки на 60-е сутки после нанесения ожога: **А** – контрольная группа; **Б** – опытная группа; **В** – группа сравнения

Figure 3

Post-burn skin surface condition in the guinea pig thigh region on day 60 after burn infliction: **A** – control group; **B** – experimental group; **C** – comparison group

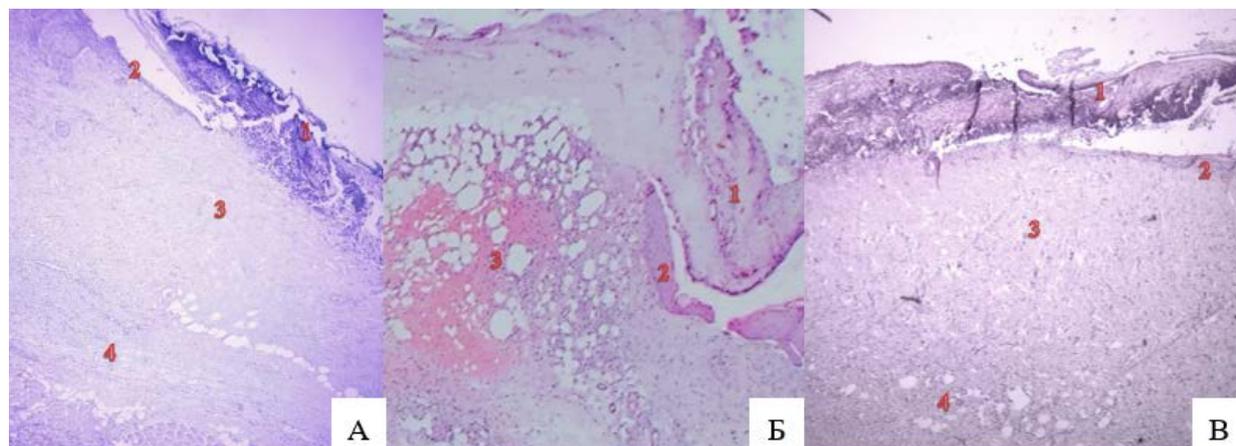


Рисунок 4

Строение регенерата кожи через 7 суток после нанесения ожога: **А** – контрольная группа, общий вид: 1 – струп; 2 – область краевой эпителизации; 3 – некротически измененная кожа; 4 – грануляционная ткань. **Б** – опытная группа, общий вид: 1 – струп; 2 – область краевой эпителизации; 3 – грануляционная ткань. **В** – группа сравнения, общий вид: 1 – струп; 2 – область краевой эпителизации; 3 – некротически измененная кожа; 4 – грануляционная ткань. Гематоксилин и эозин,  $\times 40$

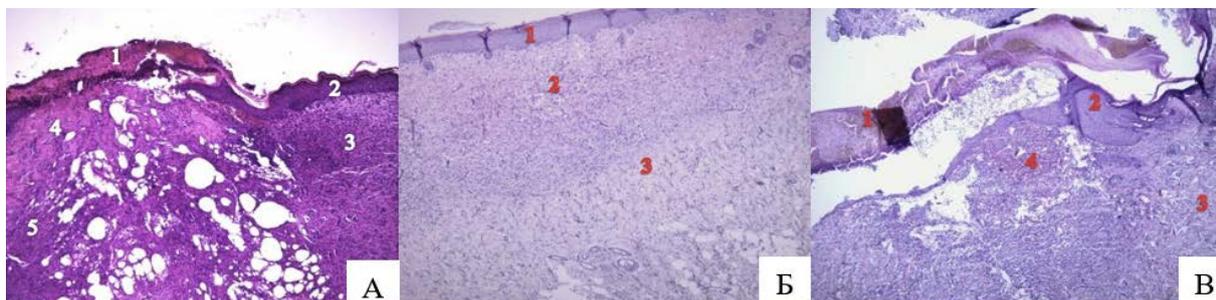
Figure 4

Structure of the skin regenerate on day 7 after burn infliction: **A** – Control group, general view: 1 – eschar; 2 – marginal epithelialization zone; 3 – necrotic skin; 4 – granulation tissue. **B** – Experimental group, general view: 1 – eschar; 2 – marginal epithelialization zone; 3 – granulation tissue. **C** – Comparison group, general view: 1 – eschar; 2 – marginal epithelialization zone; 3 – necrotic skin; 4 – granulation tissue. Hematoxylin and eosin,  $\times 40$

На 30-е сутки в контроле (рисунок 5 А) и группе сравнения (рисунок 5 В) в структуре регенерата определяли центральную часть, покрытую струпом и содержащую созревающие грануляции, и рубцовую периферическую часть. В опытной группе в области воздействия визуализировали зрелый рубец (рисунок 5 Б).

На 60-е сутки в контрольной группе (рисунок 6 А) определяли область рубцовых изменений кожи, где в эпидермисе регистрировали умеренный акантоз, в центральной части регенерата определяли

созревающую рубцовую ткань. В группе сравнения (рисунок 6 В) регенерат эпителизирован, в его периферической части видны многочисленные волосяные фолликулы и сальные железы. При этом соединительнотканная часть регенерата состояла из зрелых грануляций, а в глубоких слоях – из фиброзной ткани, что указывает на замедленное ремоделирование структуры регенерата. В опытной группе (рисунок 6 Б) большая часть регенерата, распложенная на периферии области репарации, имела строение, близкое к органотипическому.

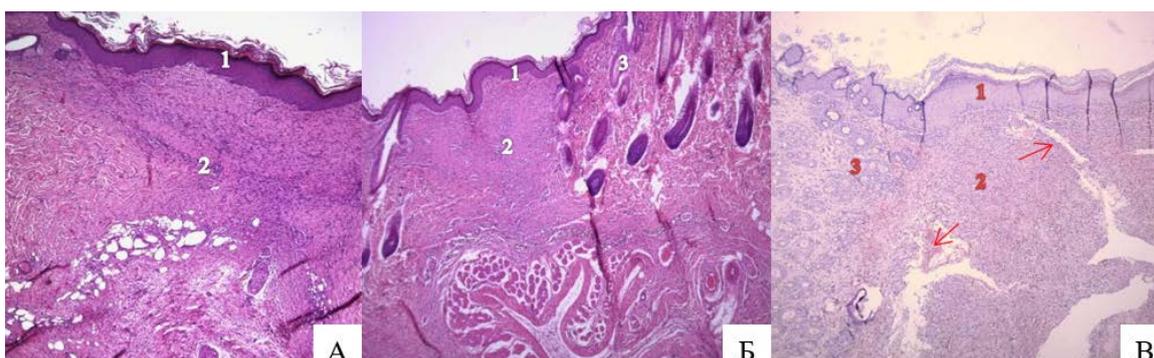


**Рисунок 5**

Строение регенерата кожи через 30 суток после нанесения ожога: **А** – контрольная группа, общий вид: 1 – струп; 2 – область краевой эпителизации; 3 – фиброзная ткань; 4 – очаги некроза; 5 – грануляционная ткань. **Б** – опытная группа, общий вид: 1 – эпидермис; 2 – зрелая грануляционная ткань; 3 – фиброзная ткань. **В** – группа сравнения, общий вид: 1 – струп; 2 – область краевой эпителизации; 3 – фиброзная ткань; 4 – грануляционная ткань. Гематоксилин и эозин, х40

**Figure 5**

Structure of the skin regenerate on day 30 after burn infliction: **A** – Control group, general view: 1 – eschar; 2 – marginal epithelialization zone; 3 – fibrous tissue; 4 – necrotic foci; 5 – granulation tissue. **Б** – Experimental group, general view: 1 – epidermis; 2 – mature granulation tissue; 3 – fibrous tissue. **В** – Comparison group, general view: 1 – eschar; 2 – marginal epithelialization zone; 3 – fibrous tissue; 4 – granulation tissue. Hematoxylin and eosin, ×40



**Рисунок 6**

Строение регенерата кожи через 60 суток после нанесения ожога: **А** – контрольная группа, общий вид: 1 – эпидермис; 2 – фиброзная ткань. **Б** – опытная группа, общий вид: 1 – эпидермис; 2 – фиброзная ткань; 3 – регенерат органотипического строения. **В** – группа сравнения, общий вид: 1 – эпидермис; 2 – созревающая грануляционная ткань; 3 – фиброзная ткань в периферической части регенерата

**Figure 6**

Structure of the skin regenerate on day 60 after burn infliction: **A** – Control group, general view: 1 – epidermis, 2 – fibrous tissue. **Б** – Experimental group, general view: 1 – epidermis; 2 – fibrous tissue; 3 – regenerate with organotypic structure. **В** – Comparison group, general view: 1 – epidermis; 2 – maturing granulation tissue; 3 – fibrous tissue in the peripheral part of the regenerate

Центральная часть имела рубцовое строение и занимала небольшую площадь, в ее структуре определяли эпидермис со сглаженным сосочковым рисунком, а также соединительнотканную часть, представленную фиброзной тканью с тонкими, хорошо структурированными, рыхло расположенными, разнонаправленными пучками коллагеновых волокон. Во всех группах в соединительнотканной части регенерата наблюдается макрофагальная инфильтрация, что указывает на продолжающееся remodelирование его структуры.

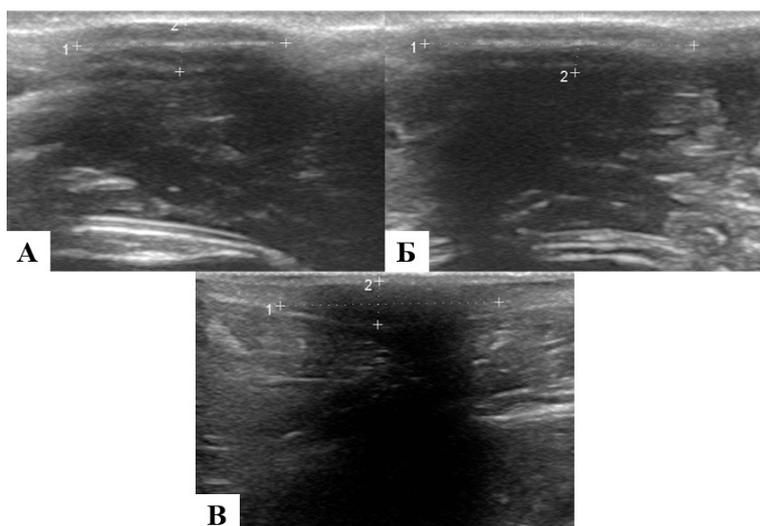
## Результаты ультразвукового исследования

При проведении ультразвукового исследования во всех экспериментальных группах регистрировалась характерная эхоструктура кожных покровов, представленная двухслойным гиперэхогенным эпидермисом, отделенным субэпидермальной ги-

поэхогенной полосой от подлежащих тканей. В дермальном слое визуализировались экзогенные структуры и гиперэхогенные фиброзные перегородки гиподермы.

Через 7 суток при ультразвуковом исследовании (рисунок 7) в контрольной группе в дерме определяли гипоэхогенный очаг размером  $1,49 \times 0,37$  см с центральным гиперэхогенным включением; в опытной группе размер гипоэхогенной зоны составлял  $1,92 \times 0,41$  см, превышая контрольные значения и размер гипоэхогенной зоны в группе сравнения ( $1,78 \times 0,36$  см). Гипоэхогенная зона соответствовала грануляционной ткани.

На 30-е сутки у всех животных визуализировали гипоэхогенную зону, размер которой составлял в контрольной группе  $1,5 \times 0,38$ , в опытной –  $1,58 \times 0,27$ , а в группе сравнения –  $0,94 \times 0,17$  см (рисунок 8).

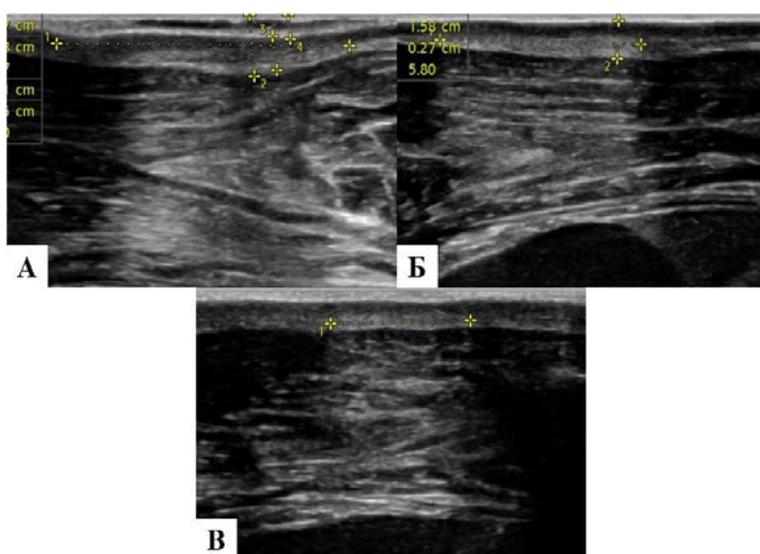


**Рисунок 7**

Ультразвуковая картина кожи морских свинок на 7-е сутки после нанесения ожога: **А** – контрольная группа; **Б** – опытная группа; **В** – группа сравнения

**Figure 7**

Ultrasonographic appearance of guinea pig skin on day 7 after burn infliction: **A** – control group; **B** – experimental group; **B** – comparison group

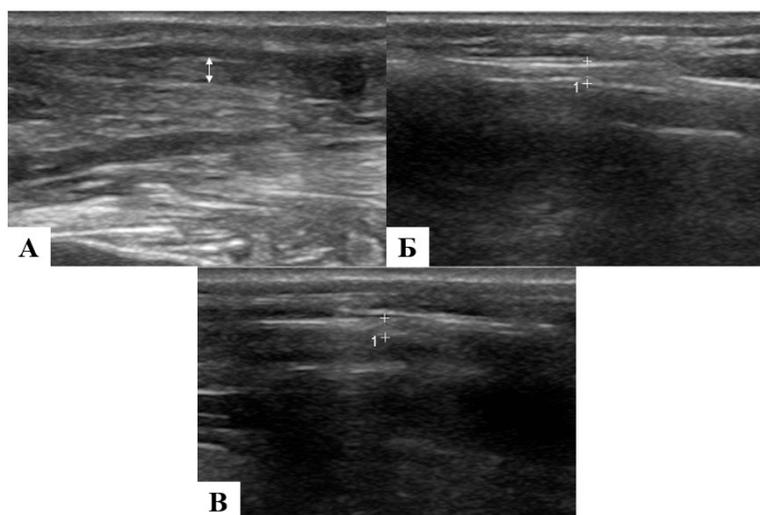


**Рисунок 8**

Ультразвуковая картина кожи морских свинок на 30-е сутки после нанесения ожога: **А** – контрольная группа; **Б** – опытная группа; **В** – группа сравнения

**Figure 8**

Ultrasonographic appearance of guinea pig skin on day 30 after burn infliction: **A** – control group; **B** – experimental group; **B** – comparison group



**Рисунок 9**

Ультразвуковая картина кожи морских свинок на 60-е сутки после нанесения ожога: **А** – контрольная группа; **Б** – опытная группа; **В** – группа сравнения

**Figure 9**

Ultrasonographic appearance of guinea pig skin on day 60 after burn infliction: **A** – control group; **Б** – experimental group; **В** – comparison group

На 60-е сутки в контрольной группе определяли гипэхогенный участок толщиной 0,3 см, тогда как в опытной и группе сравнения визуализировали гиперэхогенные зоны толщиной 0,29 см и 0,24 см соответственно (рисунок 9).

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты проведенного исследования подтверждают предположение о том, что глубокие деструктивные изменения тканей при термическом ожоге, сопровождающиеся нарушениями микроциркуляции и замедлением ферментативного очищения раневого дефекта, создают неблагоприятные условия для репаративного гистогенеза и обуславливают необходимость поиска эффективных методов лечения [4–6]. Использованный нами регенеративный препарат – секретом ММСК продемонстрировал высокую терапевтическую эффективность в отношении репарации ожоговых повреждений, что согласуется с современными представлениями о его полимодальном действии на ключевые стадии регенераторного процесса [8–10].

Установлено, что применение секрета сопровождалось стимуляцией макрофагальной реакции, что приводило не только к более раннему, по сравнению с контролем и группой сравнения, очищению области повреждения от некротических масс, но и к активизации развития грануляционной ткани и эпителизации, что объясняется наличием в составе секрета цитокинов, стимулирующих эти процессы, в частности VEGF, TGF- $\beta$ , IL-6. Полученные данные совпадают с результатами работ [11–13], в которых показано, что секретом модулирует

хемотаксис, секреторную и фагоцитарную активность макрофагов.

Выявленные к 30-м суткам межгрупповые различия в площадях ожоговых дефектов (минимальные значения в опытной группе –  $0,34 \pm 0,06$  см<sup>2</sup> против  $0,96 \pm 0,15$  см<sup>2</sup> в контроле и  $0,67 \pm 0,08$  см<sup>2</sup> в группе сравнения), а также формирование нормотрофического рубца указывают на оптимизацию процессов созревания и ремоделирования рубцовой ткани под влиянием секрета. Данный эффект, вероятно, обусловлен сбалансированным соотношением провоспалительных и противовоспалительных цитокинов (IL-6, IL-10, TGF- $\beta$ ), регулирующих своевременный апоптоз фибробластов и регресс новообразованных капилляров в зоне заживления [8].

К 60-м суткам в опытной группе зафиксирована минимальная площадь рубцовых изменений ( $0,25 \pm 0,14$  см<sup>2</sup>) и формирование регенерата, большая часть которого имела органотипическое строение, что свидетельствует о высокой эффективности процесса ремоделирования рубца. В контрольной группе и группе сравнения сохранялись признаки морфологической незрелости регенерата (багровая окраска, мягкая консистенция, замедленное ремоделирование соединительнотканной части), что подтверждает пролонгированное течение восстановительных процессов.

Данные ультразвукового мониторинга объективизируют выявленные макроскопические и гистологические различия. Формирование на 60-е сутки в опытной группе гиперэхогенной зоны толщиной 0,29 см (против гипэхогенного участка в контроле толщиной 0,3 см) отражает завершение процессов ремоделирования и формирование зрелой рубцо-

вой ткани, что соответствует данным литературы о динамике экзогенности в ходе репарации [17–19]. Более выраженная гипозоногенная зона в опытной группе на 7-е сутки (1,92×0,41 см), соответствующая активно формирующейся грануляционной ткани, подтверждает стимулирующее действие секрета на неоваскулогенез и пролиферацию фибробластов.

Выявленные в ходе исследования эффекты секрета ММСК – ускорение очищения очага термического поражения кожи, стимуляция формирования и созревания грануляций и ремоделирования рубцовой ткани – согласуются с известными данными о механизмах действия данного препарата и его преимуществах перед клеточной терапией (отсутствие риска иммунного отторжения и онкогенной трансформации, возможность стандартизации) [12; 13]. Комплексный характер регенераторного действия секрета, подтвержденный результатами макроскопического, гистологического и ультразвукового исследований, соответствует современным представлениям о перспективных направлениях коррекции патогенеза термических поражений кожи средствами регенеративной медицины [4–6].

Основным ограничением настоящей работы является ее лабораторный характер, выполненный в условиях эксперимента на мелких лабораторных животных, что требует осторожной экстраполяции полученных результатов на сельскохозяйственных животных и с термическими поражениями кожных покровов. В будущих исследованиях необходимо оценить эффективность и безопасность примене-

ния секрета ММСК в условиях реального сельскохозяйственного производства с учетом видовых особенностей и возраста животных. Несмотря на это, проведенное исследование показывает, что секретом ММСК является эффективным средством, улучшающим течение репарации кожи после ожогового поражения, что обосновывает целесообразность его дальнейшего изучения и внедрения в ветеринарную практику для лечения сельскохозяйственных животных.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Секретом мультитипотентных мезенхимальных стромальных клеток оказывает выраженное положительное действие на репарацию кожи после термического ожога. Полученные данные свидетельствуют о том, что он запускает каскад реакций, которые стимулируют макрофагальную активность, способствует ферментативному очищению постдеструктивной поверхности от детрита, стимулирует рост и созревание грануляций, а также созревание и ремоделирование рубцовой ткани. При этом обращают на себя внимание незначительные рубцовые изменения кожи и выраженная тенденция к органотипической регенерации. Данные, полученные на лабораторных животных, обосновывают целесообразность проведения дальнейших исследований с целью внедрения секрета ММСК в ветеринарную практику для лечения термических поражений у крупного рогатого скота, свиней и других видов сельскохозяйственных животных.

## Вклад авторов

**А. А. Усачева:** проведение исследования, курирование данных, формальный анализ, написание черновика рукописи.

**Е. Н. Борхунова:** научное руководство, написание рукописи – рецензирование и редактирование.

**М. А. Кузнецова:** визуализация.

**А. И. Довгий:** предоставление ресурсов.

## Contributions

**A. A. Usacheva:** investigation, data curation, formal analysis, writing-original draft.

**E. N. Borkhunova:** supervision, writing-review & editing.

**M. A. Kuznetsova:** visualization.

**A. I. Dovgii:** resources.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Chmielowiec-Korzeniowska A., Nowakowicz-Dębek B., Bis-Wencel H. et al. Safety of animals on livestock farms during a fire emergency. *Animal Science and Genetics*. 2025;21(1):1-9. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0055.0463>

2. Bolcato M., Rocarro M., Gentile A. et al. First report on medical treatment and outcome of burnt cattle. *Veterinary Sciences*. 2023;10(3):187. <https://doi.org/10.3390/vet-sci10030187>
3. Chigerwe M., Depenbrock S.M., Heller M.C. et al. Clinical management and outcomes for goats, sheep, and pigs hospitalized for treatment of burn injuries sustained in wildfires: 28 Cases (2006, 2015, and 2018). *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 2020;257(11):1165-1170. <https://doi.org/10.2460/javma.257.11.1165>
4. Зиновьев Е.В., Солошенко В.В., Костяков Д.В. и др. Прогноз результата кожной пластики по параметрам микроциркуляции в ожоговой ране. *Неотложная медицинская помощь. Журнал им. Н. В. Склифосовского*. 2022;11(3):412-418. <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2022-11-3-412-418>  
Zinoviev E.V., Soloshenko V.V., Kostyakov D.V. et al. Prediction of the outcome of skin grafting based on microcirculation parameters in a burn wound. *Russian Sklifosovsky Journal of Emergency Medical Care*. 2022;11(3):412-418. (In Russ.) <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2022-11-3-412-418>
5. Shtykhno Y.M., Udovichenko V.I. Comparative study of intravital microcirculation and blood rheology in rats after burns of different degrees of severity. *Bulletin of Experimental Biology and Medicine*. 1979;88:984-986. <https://doi.org/10.1007/BF00799260>
6. Vizoso F.J., Eiro N., Cid S. et al. Mesenchymal stem cell secretome: Toward cell free therapeutic strategies in regenerative medicine. *International Journal of Molecular Sciences*. 2017;18(9):1852. <https://doi.org/10.3390/ijms18091852>
7. Федорова А.О., Аистова Л.Г., Миллер Т.В. и др. Патоморфологическая характеристика ожоговой болезни у кроликов при неинвазивной электромагнитной терапии. *Вестник КрасГАУ*. 2025;(9(222)):215-228. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2025-9-215-228>  
Fedorova A.O., Aistova L.G., Miller T.V. et al. Pathomorphological characteristics of burn disease in rabbits under non-invasive electromagnetic therapy. *Bulletin of KrasSAU*. 2025;(9(222)):215-228. (In Russ.) <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2025-9-215-228>
8. Кузнецова М.А., Борхунова Е.Н., Степанишин В.В., Позябин С.В. Возможности применения секретомы ММСК для стимуляции остеорепарации: экспериментальное исследование. *Ветеринария и кормление*. 2025;(1):48-53. <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2025-1-10>  
Kuznetsova M.A., Borkhunova E.N., Stepanishin V.V., Pozyabin S.V. Possibilities of using MMSC secretome to stimulate osteoreparation: an experimental study. *Veterinaria i Kormlenie*. 2025;(1):48-53. (In Russ.) <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2025-1-10>
9. Сароян С.В., Комаров С.В. Оценка эффективности применения секретомы мезенхимальных стволовых клеток в послеоперационной терапии корнеального секвестра. Систематизация клинического опыта. *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана*. 2021;(4):196-203. <https://doi.org/10.31588/2413-4201-1883-248-4-196-203>  
Saroyan S.V., Komarov S.V. Evaluation of the effectiveness of using mesenchymal stem cell secretome in the postoperative therapy of corneal sequestrum. Systematization of clinical experience. *Scientific Notes of the Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*. 2021;(4):196-203. (In Russ.) <https://doi.org/10.31588/2413-4201-1883-248-4-196-203>
10. Kangari P., Talaei-Khozani T., Razeghian Jahromi I. et al. Mesenchymal stem cells: amazing remedies for bone and cartilage defects. *Stem Cell Research & Therapy*. 2020;11(1):492. <https://doi.org/10.1186/s13287-020-02001-1>
11. L P.K., Kandoi S., Misra R. et al. The mesenchymal stem cell secretome: A new paradigm towards cell-free therapeutic mode in regenerative medicine. *Cytokine & Growth Factor Reviews*. 2019;46:1-9. <https://doi.org/10.1016/j.cytogfr.2019.04.002>
12. Качалин М.Д., Борхунова Е.Н., Позябин С.В. и др. Репаративная регенерация сухожилия под влиянием секретомы мультиметных мезенхимальных стромальных клеток: экспериментальное исследование. *Клиническая и экспериментальная морфология*. 2023;12(2):77-88. <https://doi.org/10.31088/CEM2023.12.2.77-88>

- Kachalin M.D., Borkhunova E.N., Pozyabin S.V. et al. Reparative regeneration of tendon under the influence of the secretome of multipotent mesenchymal stromal cells: an experimental study. *Clinical and Experimental Morphology*. 2023;12(2):77-88. (In Russ.) <https://doi.org/10.31088/CEM2023.12.2.77-88>
13. Майбородин И.В., Шевела А.И., Морозов В.В. и др. Влияние экстрацеллюлярных везикул (экзосом) мезенхимальных стромальных клеток на регенерацию костной ткани. *Новости хирургии*. 2019;(2). <https://doi.org/10.18484/2305-0047.2019.2.196>  
Maiborodin I.V., Shevela A.I., Morozov V.V. et al. Influence of extracellular vesicles (exosomes) of mesenchymal stromal cells on bone tissue regeneration. *Novosti Khirurgii*. 2019;(2). (In Russ.) <https://doi.org/10.18484/2305-0047.2019.2.196>
  14. Lee K.C., Dretzke J., Grover L., Logan A., Moiemmen N. A systematic review of objective burn scar measurements. *Burns & Trauma*. 2016;4:14. <https://doi.org/10.1186/s41038-016-0036-x>
  15. Seidenari S., Giusti G., Bertoni L., Magnoni C., Pellacani G. Thickness and echogenicity of the skin in children as assessed by 20-MHz ultrasound. *Dermatology*. 2000;201(3):218-222. <https://doi.org/10.1159/000018491>
  16. Wang X-Q., Mill J., Kravchuk O., Kimble R.M. Ultrasound assessed thickness of burn scars in association with laser Doppler imaging determined depth of burns in paediatric patients. *Burns*. 2010;36(8):1254-1262. <https://doi.org/10.1016/j.burns.2010.05.01>
  17. Lau J.C., Li-Tsang C.W., Zheng Y.P. Application of tissue ultrasound palpation system (TUPS) in objective scar evaluation. *Burns*. 2005;31(4):445-452. <https://doi.org/10.1016/j.burns.2004.07.016>
  18. Hambleton J., Shakespeare P.G., Pratt B.J. The progress of hypertrophic scars monitored by ultrasound measurements of thickness. *Burns*. 1992;18(4):301-307. [https://doi.org/10.1016/0305-4179\(92\)90151-j](https://doi.org/10.1016/0305-4179(92)90151-j)
  19. Simons M., Kee E.G., Kimble R., Tyack Z. Ultrasound is a reproducible and valid tool for measuring scar height in children with burn scars: a cross-sectional study of the psychometric properties and utility of the ultrasound and 3D camera. *Burns*. 2017;43(5):993-1001. <https://doi.org/10.1016/j.burns.2017.01.034>
  20. Соколов А.А., Колесникова А.И., Довгий А.И. и др. Патент № 2708329 С2 Российская Федерация. Материал стволовых клеток, композиции и способы применения. № 2016121458: заявл. 31.05.2016, опубл. 05.12.2019, заявитель ООО «Т-Хелпер клеточные технологии». Sokolov A.A., Kolesnikova A.I., Dovgiy A.I. et al. Patent № 2708329 C2, Russian Federation. Stem cell material, compositions and methods of use. № 2016121458: filed on 31.05.2016 published on 11.01.2024, applicant T-Helper cell technologies (In Russ.)
  21. Singer A.J., McClain S.A. A porcine burn model. In: DiPietro L.A., Burns A.L., editors. *Methods in Molecular Medicine, Vol. 78: Wound Healing: Methods and Protocols*. Totowa, New Jersey: Humana Press Inc.; 2003. p. 107-119. <https://doi.org/10.1385/1-59259-332-1:107>

## Сведения об авторах

**Усачева Ангелина Алексеевна** –

ассистент кафедры анатомии и гистологии животных имени профессора А. Ф. Климова, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К. И. Скрябина, Москва, Россия

<https://orcid.org/0000-0001-9460-3491>

SPIN-код: 1715-1050

[kazakovaangeli@gmail.com](mailto:kazakovaangeli@gmail.com)

## About the authors

**Angelina A. Usacheva** –

assistant, Department of Anatomy and Histology of Animals named after Professor A.F. Klimov, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – K.I. Scriabin MBA, Moscow, Russia

<https://orcid.org/0000-0001-9460-3491>

[kazakovaangeli@gmail.com](mailto:kazakovaangeli@gmail.com)

**Борхунова Елена Николаевна –**

доктор биологических наук, заведующий кафедрой анатомии и гистологии животных имени профессора А. Ф. Климова, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К. И. Скрябина, Москва, Россия

<https://orcid.org/0000-0003-2355-8616>

SPIN-код: 8745-5568

[borhunova@mail.ru](mailto:borhunova@mail.ru)

**Кузнецова Мария Александровна –**

кандидат биологических наук, ассистент кафедры анатомии и гистологии животных имени профессора А. Ф. Климова, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К. И. Скрябина, Москва, Россия

<https://orcid.org/0000-0002-2031-12907>

SPIN-код: 3758-7249

[kuznetsova\\_mva@mail.ru](mailto:kuznetsova_mva@mail.ru)

**Довгий Андрей Игоревич –**

кандидат биологических наук, ООО «Т-Хелпер КТ», Москва, Россия

[info@reparin.ru](mailto:info@reparin.ru)

**Elena N. Borkhunova –**

Dr. Sci. (Biol.), Head of the Department of Anatomy and Histology of Animals named after Professor A.F. Klimov, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – K.I. Scriabin MBA, Moscow, Russia

<https://orcid.org/0000-0003-2355-8616>

[borhunova@mail.ru](mailto:borhunova@mail.ru)

**Maria A. Kuznetsova –**

Cand. Sci. (Biol.), assistant, Department of Anatomy and Histology of Animals named after Professor A.F. Klimov, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – K.I. Scriabin MBA, Moscow, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-2031-12907>

[kuznetsova\\_mva@mail.ru](mailto:kuznetsova_mva@mail.ru)

**Andrei I. Dvgii –**

Cand. Sci. (Biol.), T-Helper Cell Technologies, LLC, Moscow, Russia

[info@reparin.ru](mailto:info@reparin.ru)