



МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВОЛОСЯНЫХ ФОЛЛИКУЛОВ МЫШЕЙ ПРИ РАДИАЦИОННОМ ПОВРЕЖДЕНИИ

Горбулич А.В., Миргородская О.Е., Околитенко М.С., Захарова М.К.

Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия, e-mail: alenagor_vma@bk.ru

Для цитирования:

Горбулич А.В., Миргородская О.Е., Околитенко М.С., Захарова М.К. Морфологическая характеристика волосяных фолликулов мышей при радиационном повреждении. Морфологические ведомости. 2025;33(2):945. [https://doi.org/10.20340/mv-mn.2025.33\(2\).945](https://doi.org/10.20340/mv-mn.2025.33(2).945)

Резюме. Эпидермис и его производные, включая волосяные фолликулы, как высоко радиочувствительные структуры, служат маркерами течения репаративного гистогенеза, что позволяет оценить степень повреждения тканей и их восстановительный потенциал. Цель работы – провести сравнительный морфологический анализ реактивных изменений волосяных фолликулов кожи мышей в различных экспериментальных моделях. Объект исследования – белые беспородные мыши-самцы в возрасте 12 недель и массой 25-30 г. Животные были разделены на две экспериментальные группы, соответствующие различным моделям облучения. Мыши первой группы (n=20) были однократно облучены в поглощенной дозе 14 Грей. На животных второй группы (n=20) воздействовали многократно рентгеновским облучением по 1 Грею в течение 30 дней с последующим периодом 20 суток без облучения (18 Грей суммарно). Фрагменты кожи, взятые на 25-е и 50-е сутки, фиксировали в 10% забуференном нейтральном растворе формалина и обрабатывали по стандартному методу для световой микроскопии. Для подсчета количества волосяных фолликулов на единицу площади был адаптирован метод определения степени повреждения кожи с учетом фаз роста волос мышей. Визуально повреждения кожи всех экспериментальных животных характеризуются различной степенью гиперемии и выпадения волос. У животных первой экспериментальной модели выявляется значительная дезорганизация клеток эпидермиса и волосяных фолликулов. Количество волосяных фолликулов снижается на 33,1% по сравнению с исходным. Эпителиоциты наружного и внутреннего корневого влагалища деформированы, клетки эпителиального матрикса волоса практически не визуализируются. Степень повреждения волосяных фолликулов составляет 100%. Морфологическая картина кожи у мышей второй экспериментальной группы характеризуется менее выраженными изменениями, форма кератиноцитов эпидермиса и волосяных фолликулов сохранена, снижена степень выраженности внутридифференциальной гетероморфии клеток. Количество фолликулов снижается на 24,3% по сравнению с исходными показателями, а степень их повреждения составляет 37,8%. Проведенное исследование подтверждает первичное поражение наиболее радиочувствительных тканевых элементов кожи с дальнейшим развитием комплексного ее повреждения. Изучение изменений волосяных фолликулов показало наглядность и доступность оценки степени выраженности реактивных изменений эпителиальных структур кожи.

Ключевые слова: кожа, мыши, волосы, волосяной фолликул, рентгеновское облучение

Статья поступила в редакцию 23 апреля 2025

Статья принята к публикации 17 июня 2025

THE MORPHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF MOUSE HAIR FOLLICLES DURING RADIATION DAMAGE

Gorbulich AV, Mirgorodskaya OE, Okolitenko MS, Zakharova MK

Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia, e-mail: alenagor_vma@bk.ru

For the citation:

Gorbulich AV, Mirgorodskaya OE, Okolitenko MS, Zakharova MK. The morphological characteristics of mouse hair follicles during radiation damage. Morfologicheskie Vedomosti – Morphological newsletter. 2025;33(2):945. [https://doi.org/10.20340/mv-mn.2025.33\(2\).945](https://doi.org/10.20340/mv-mn.2025.33(2).945)

Summary. The epidermis and its derivatives, including hair follicles, as highly radiosensitive structures, serve as markers of the course of reparative histogenesis, which allows assessing the degree of tissue damage and their regenerative potential. The aim of the work was to conduct a comparative morphological analysis of reactive changes in the hair follicles of mouse skin in various experimental models. The object of the study was white outbred male mice aged 12 weeks and weighing 25-30 g. The animals were divided into two experimental groups corresponding to different irradiation models. Mice of the first group (n=20) were irradiated once with an absorbed dose of 14 Gray. Animals of the second group (n=20) were repeatedly exposed to X-ray irradiation of 1 Gray for 30 days, followed by a 20-day period without irradiation (18 Gray in total). Skin fragments taken on the 25th and 50th days were fixed in 10% buffered neutral formalin solution and processed according to the standard method for light microscopy. To count the number of hair follicles per unit area, the method for determining the degree of skin damage was adapted taking into account the phases of mouse hair growth. Visually, skin damage in all experimental animals is characterized by varying degrees of hyperemia and hair loss. In the animals of the first experimental model, significant disorganization of epidermal cells and hair follicles is detected. The number of hair follicles decreases by 33.1% compared to the initial value. Epithelial cells of the outer and inner root sheaths are deformed, the cells of the epithelial matrix of the hair are almost not visualized. The degree of damage to hair follicles is 100%. The morphological picture of the skin in mice of the second experimental group is characterized by less pronounced changes, the shape of the keratinocytes of the epidermis and hair follicles is preserved, the degree of one type histogenesis cells heteromorphy expression is reduced. The number of follicles decreases by 24.3% compared to the initial values, and the degree of their damage is 37.8%. The conducted study confirms the primary lesion of the most radiosensitive tissue elements of the skin with the further development of its complex damage. The study of changes in hair follicles showed the clarity and accessibility of assessing the degree of expression of reactive changes in the epithelial structures of the skin.

Keywords: skin, mice, hair, hair follicle, x-ray irradiation

Article received 23 April 2025

Article accepted 17 June 2025

Введение. Ионизирующее излучение, включая рентгеновское, способно вызывать значительные морфофункциональные изменения в тканях организма. Это особенно актуально в контексте использования современных технологий лучевой терапии (например, таргетной) онкологических заболеваний, в которых минимизация повреждения здоровых тканей является одной из ключевых задач. Любое экстракорпоральное рентгеновское облучение затрагивает кожу. Радиочувствительность клеточных элементов тканей кожи уменьшается в следующей последовательности: эпителий волосяных луковиц, эпидермис, эпителий сальных желез, соединительные ткани дермы, эндотелий мелких кровеносных сосудов [1-4]. Такая очередность повреждения определяется локализацией стволовых и камбиальных клеток, участвующих в процессах физиологической и репаративной регенерации. Реактивные изменения малодифференцированных клеток, в первую очередь повреждение на уровне ДНК, влияют на гистогенетические процессы клеточной гибели, пролиферации и дифференцировки. Понимание механизмов радиационного повреждения волосяных фолликулов может способствовать разработке новых подходов к морфофункциональной оценке ведущих клеточных дифференцировочных эпидермиса и дермы, являясь динамическим маркером течения репаративного гистогенеза. Поэтому исследование структуры волосяных фолликулов после рентгеновского облучения, позволяющее усовершенствовать методы диагностики, лечения и профилактики радиационных поражений кожи, имеет как теоретическое, так и практическое значение [5].

Цель исследования: провести сравнительный морфологический анализ реактивных изменений волосяных фолликулов кожи мышей в различных экспериментальных моделях.

Материалы и методы исследования. Эксперимент выполнен на белых беспородных мышах-самцах в возрасте 12 недель и массой 25-30 г. Для моделирования острой лучевой болезни использовали однократное рентгеновское облучение с применением передвижной рентгеновской установки. Параметры облучения: кожно-

фокусное расстояние – 50 см, напряжение – 100 кВ, сила тока – 10 мА. Экспериментальные животные были поделены на две группы: поглощенная доза для первой группы составила 14 Гр однократно ($n=20$), для второй – 18 Гр суммарно ($n=20$) (1 Гр, 3-4 раза в неделю на протяжении 30 дней и последующим периодом 20 суток без облучения). Контроль дозы осуществляли с помощью индивидуального дозиметра ИД-11. Контрольную группу составили интактные мыши ($n=5$). Все манипуляции проводились в соответствии с нормами гуманного обращения с лабораторными животными, утвержденными положениями Европейской конвенции по защите позвоночных животных, используемых в экспериментальных и других научных целях [6], и одобрены локальным этическим комитетом при Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова (протокол № 267 от 19.07.2022 г). Из эксперимента животных выводили с помощью декапитации на 25-е сутки (интактных и экспериментальных животных первой модельной группы) и на 50-е сутки (мыши второй модельной группы). Степень повреждения кожи мышей при внешнем осмотре оценивалась по возрастающей шкале макроскопических изменений от 0 баллов – отсутствия видимых реактивных изменений до 2,5 баллов – выраженной гиперемией в сочетании с значительным выпадением волосяного покрова и сухими корками [7]. Образцы кожи спины мышей фиксировали в 10% забуференном нейтральном растворе формалина (BioVitrum) и заливали в парафин по стандартному протоколу для изготовления гистологических препаратов. Срезы толщиной 3-4 мкм изготавливали на ротационном микротоме Sakura Accu-Cut SRM 200 (Япония). После депарафинизации гистологические срезы окрашивали гематоксилином и эозином для оценки общей морфологической картины и функционального состояния волосяных фолликулов (далее – ВФ). Морфологическое исследование ВФ проводили на светооптическом уровне с помощью микроскопа с встроенной фотокамерой Zeiss Axio Scope A1 (Carl Zeiss, Германия) и компьютерной программы ZEN 2.3. Величину поражения фолликулов рассчитывали по формуле $A \times (\Phi_{\text{э}}/\Phi_{\text{н}}) \times$

100%, в которой степень повреждения (А) умножалась на отношение усредненной плотности фолликулов в норме (Фн) и в эксперименте (Фэ) на единицу площади (1 мм²) [7]. Выбранные сроки обусловлены фазностью цикла роста волос у мышей. Обработку данных и подсчет структур волосяных фолликулов выполняли с использованием программ ZEN 2.3 и STATISTICA 10. Для статистической оценки взаимосвязи был использован коэффициент ранговой корреляции Спирмена с последующим построением графиков линейной регрессии.

Результаты и обсуждение. Стержень волоса в коже интактного животного конусовидно сужается, образуя верхушку волоса. Корень волоса прорастает до гиподермиса. В дерме он окружен наружным и внутренним корневыми эпителиальными влагищами, которые образуют ВФ (рис. 1). В ВФ выделяют дно и устье. Дно ВФ слепо заканчивается в сетчатом слое дермы или в гиподермисе, окружено соединительной тканью – дермальным корневым влагищем (рис. 2). В интактной группе животных количество ВФ на единицу площади (1 мм²) составило $35,4 \pm 1,5$. Угол наклона ВФ к базальной мембране эпидермиса – 45° (рис. 1). Толщина эпидермиса между ВФ составила $13,8 \pm 1,8$ мкм, с умеренной кератинизацией. ВФ расположены на равноудаленном расстоянии друг от друга (~ 110-125 мкм). Волосные влагища имеют ровную конусообразную форму. В непосредственной близости от них расположено значительное количество тучных клеток и капилляров микроциркуляторного русла, что характерно для кожи интактных животных [8-11].

Первые реакции эпителия кожи и ее производных проявляются через 2-8 недель после воздействия. Эти эффекты выражены в базальных клетках эпидермиса и в области ВФ, образованных ростковым слоем (вероятно, коммитированными стволовыми клетками). Это наиболее быстро делящиеся клетки кожи. Основной механизм, лежащий в основе обновления двух структур (эпидермиса и ВФ), сходен: дифференцировка клеток и их гибель продолжаются с физиологической скоростью обновления, но радиационное воз-

действие подавляет пролиферацию клеток [12-13]. Наиболее радиочувствительными являются стволовые клетки кожи и ее производных, доза облучения которых составляет 1,35 Гр [3].

В первой экспериментальной группе, при поглощенной дозе облучения 14 Гр на 25-е сутки, реактивные изменения тканей кожи и ее производных имеют выраженный характер. Контуры эпидермиса неровные, толщина неравномерная, значительно варьирует от $6,14 \pm 1,03$ до $29,18 \pm 9,38$ мкм (рис. 3). Четко диагностируются базальный и шиповатый слои, представленные по одному ряду клеток. Клетки базального слоя теряют свою столбчатую форму, видна дезорганизация межклеточных контактов. Ядра некоторых кератиноцитов шиповатого слоя деструктивно изменены, обнаруживаются эпителиальные клетки с выраженным отеком цитоплазмы и пикнозом ядра. Клетки зернистого слоя, значительно уплощенной формы с выраженной кератинизацией, встречаются не на всем протяжении среза, а приурочены к местам выхода волоса (рис. 3). В этих областях поверхности кожи количество слоев эпидермиса увеличено, преимущественно за счет клеток шиповатого слоя. Слой роговых чешуек активно слущивается, ВФ глубоко погружены в гиподермис, толщина его на большей протяженности истончена и неравномерна, форма адипоцитов деформирована, границы клеток неровные, резко заходят на территорию друг друга (рис. 4).

Количество ВФ на единицу площади снизилось до $23,71 \pm 1,04$ единиц, что на 33,1% меньше, чем в коже интактной группы животных (рис. 5). Эпителиоциты корневых влагищ также деформированы, клетки матрицы волоса практически не диагностировались (рис. 4). В сальных железах, расположенных вокруг поврежденных ВФ, преобладают малодифференцированные себоциты. Количество их в железах снижено по сравнению с интактными животными. Визуально часть секреторных отделов сальных желез была смещена ближе к основанию ВФ. В просвете капилляров микроциркуляторного русла, локализующихся вокруг ВФ,

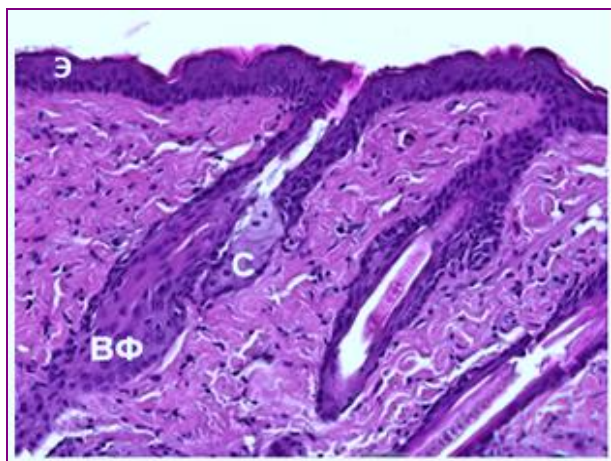


Рис. 1. Микрофото гистологического препарата кожи спины intactной мыши. Обозн.: ВФ – волосяной фолликул, С – себоциты сальной железы, Э – эпидермис. Окр.: гематоксилином и эозином. Ув.: x200

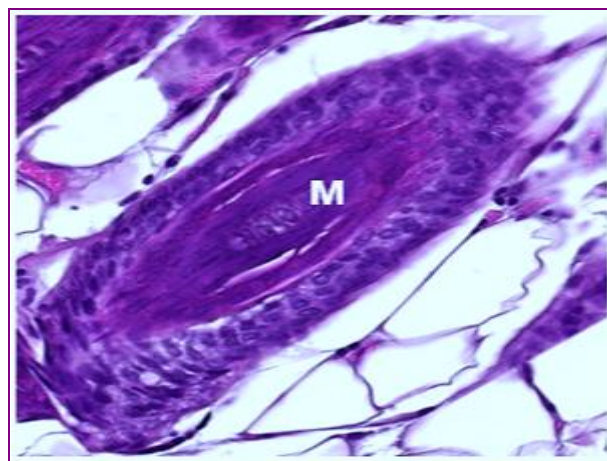


Рис. 2. Микрофото гистологического препарата кожи спины intactной мыши. Обозн.: М – клетки эпителиального матрикса. Окр.: гематоксилином и эозином. Ув.: x400

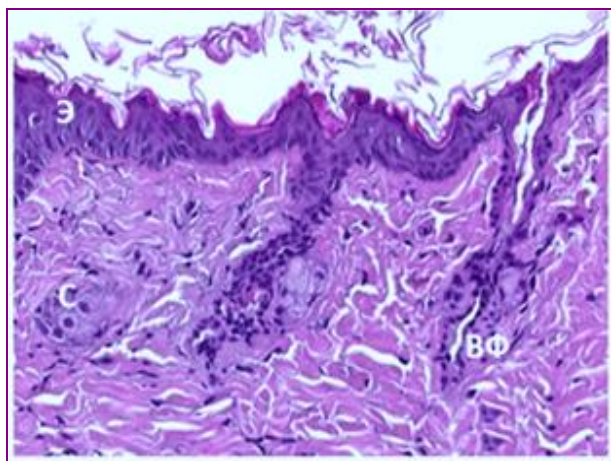


Рис. 3. Микрофото гистологического препарата кожи спины мыши на 25 сутки после облучения дозой 14 Гр. Обозн.: см. рис. 1. Окр.: гематоксилином и эозином. Ув.: x200

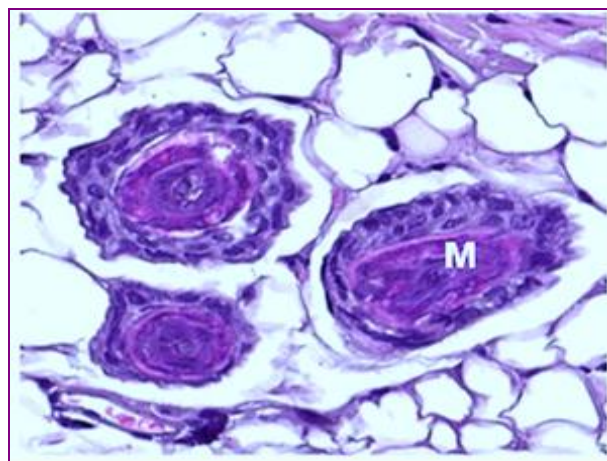


Рис. 4. Микрофото гистологического препарата кожи спины мыши на 25 сутки после облучения дозой 14 Гр. Обозн.: см. рис. 2. Окр.: гематоксилином и эозином. Ув.: x400

отмечено увеличенное количество нейтрофилов, а также слабая инфильтрация соединительной ткани дермы вокруг поврежденных ВФ, что может свидетельствовать о развитии воспалительного процесса. Количество профилей гемокапилляров единично в поле зрения. Угол наклона ВФ к базальной мембране эпидермиса животных этой экспериментальной группы меняется по сравнению с контрольной – некоторые значительно поврежденные ВФ имеют извилистый контур (рис. 3). При внешнем осмотре животного диагностировали гиперемию кожи и очаговое выпадение

волосного покрова, что соответствует 1,5 баллам по шкале макроскопических изменений. Степень повреждения ВФ составила 100%, что указывает на значительные повреждения производных кожи. График линейной регрессии с рассчитанным коэффициентом детерминации $R^2=0,821$ отражает высокую точность первой экспериментальной модели [14] (рис. 6).

Во второй экспериментальной модели острой лучевой болезни, при многократном воздействии 1 Гр в течение 30-ти суток (суммарная поглощенная доза составила 18 Гр) и с последующим периодом 20

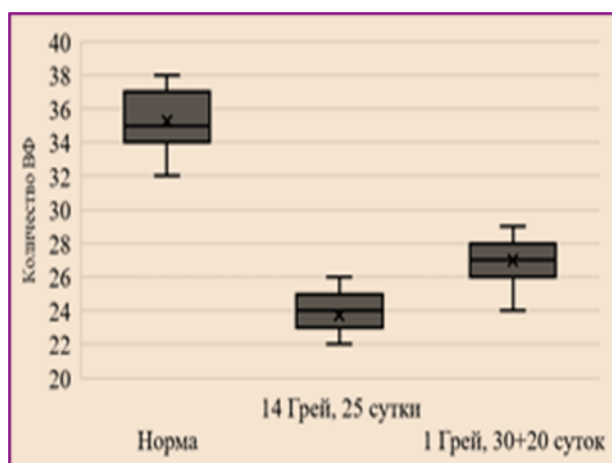


Рис. 5. Диаграмма числа волосяных фолликулов кожи мышей контрольной и экспериментальных групп

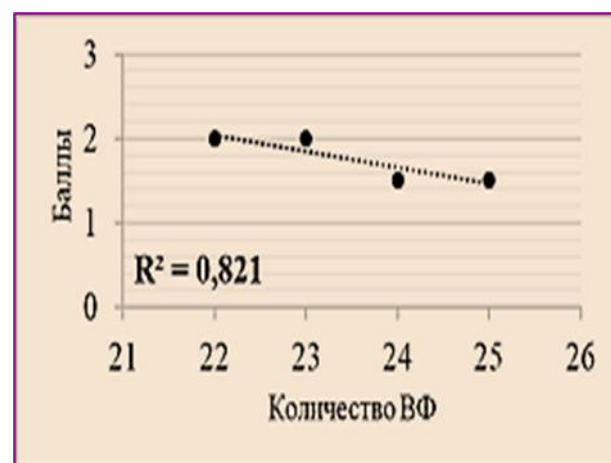


Рис. 6. Диаграмма линейной регрессии тяжести радиационного повреждения кожи в баллах и числа волосяных фолликулов для первой экспериментальной группы мышей

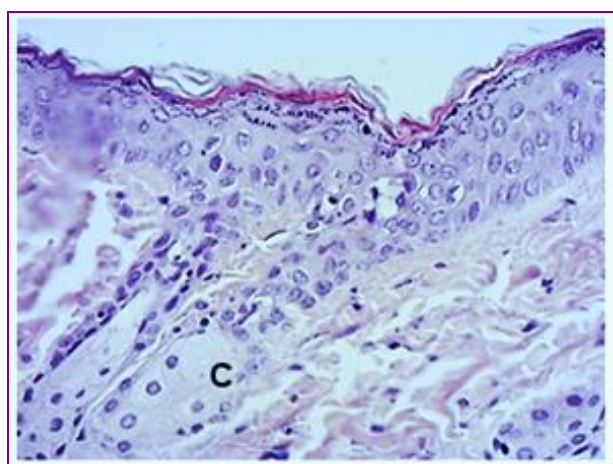


Рис. 7. Микрофото гистологического препарата кожи спины мыши на 50 сутки после облучения дозой 18 Гр. Обозн.: С – себоциты сальной железы. Окр.: гематоксилином и эозином. Ув.: x400

суток без облучения, отмечали менее выраженные реактивные изменения кератиноцитов эпидермиса и ВФ. Толщина эпидермиса более равномерная и составила $14,12 \pm 1,61$ мкм с локальными единичными утолщениями до $27,53 \pm 1,92$ мкм. В областях выхода волоса значительного увеличения количества слоев эпидермиса не наблюдали (рис. 7).

Клетки базального и шиповатого слоев сохраняют нативную форму, имеют округлые ядра, расположенные в центре клеток. У некоторых эпителиоцитов ба-

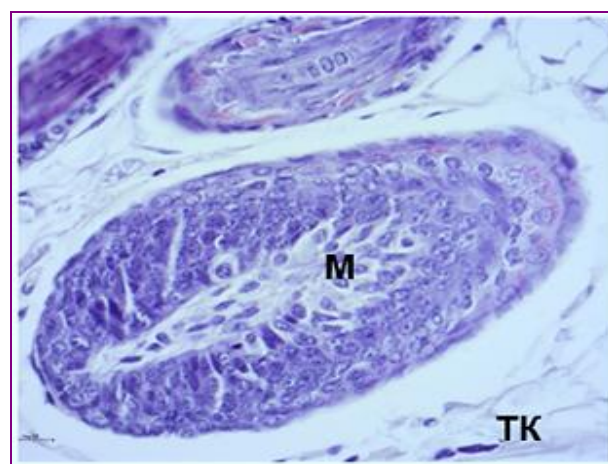


Рис. 8. Микрофото гистологического препарата кожи спины мыши на 50 сутки после облучения дозой 18 Гр. Обозн.: ТК – тучные клетки, М – клетки эпителиального матрикса. Окр.: гематоксилином и эозином. Ув.: x400

зального слоя эпидермиса и волосяных влагалищ отмечен пикноз ядер, что не характерно для интактных животных. Количество лимфоцитов эпидермиса умеренное. На всем протяжении среза кожи спины отмечен равномерный один слой зернистых кератиноцитов эпидермиса с выраженной зернистостью цитоплазмы. Количество ВФ на единицу площади уменьшилось до $26,82 \pm 0,96$ единиц, что на 24,3% меньше, чем у интактной группы животных, но выше, чем у животных первой модельной группы (рис. 5). Угол наклона ВФ

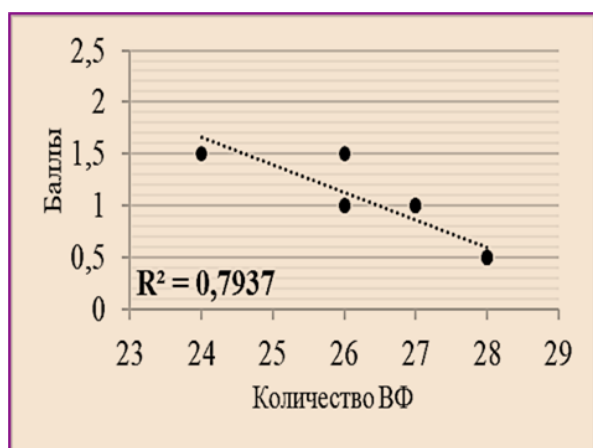


Рис. 9. Диаграмма линейной регрессии тяжести радиационного повреждения кожи в баллах и числа волосяных фолликулов для второй экспериментальной группы мышей

к базальной мембране эпидермиса увеличился до $58,5 \pm 5,1^\circ$, по сравнению с 45° у интактных мышей, что свидетельствует о деформации их топографического положения относительно слоев кожи. Гиподермис хорошо выражен, с большим количеством адипоцитов округлой формы.

Эпителиоциты корневых влагалищ не деформированы, клетки матрицы волоса хорошо диагностируются, содержат крупные округлые ядра и цитоплазму с зернистыми включениями (рис. 8). В соединительной ткани вокруг дермальных корневых влагалищ ВФ встречается небольшое количество тучных клеток и срезов кровеносных сосудов, что, вероятно, указывает на умеренные реактивные изменения микроциркуляторного русла [15].

У экспериментальных животных после депиляции при взятии участков кожи спины внешний осмотр выявил различные повреждения кожного покрова. На 25-е сутки при однократном облучении в дозе 14 Гр в области спины отмечена гиперемия кожи и очаговое выпадение волос. Эти реактивные изменения соответствуют 1,5-2 баллам по шкале макроскопических изменений. Происходит ожидаемое значительное снижение количества волосяных фолликулов приблизительно в 1,5 раза. При многократном облучении с суммарной поглощенной дозой 18 Грей на 50-е сутки состояние кожи визуализируется в

пределах нормы или незначительной гиперемии, что соответствует 0,5-1,5 баллам по шкале макроскопических повреждений. Линия уравнения регрессии (рис. 9) с рассчитанным коэффициентом детерминации $R^2=0,7937$ так же, как и в первом случае, отражает высокую точность экспериментальной модели.

Выделяют три фазы роста волоса (анаген, катаген и телоген) с чередованием стадий активного роста и покоя [16]. Особенностью циклической активности ВФ экспериментальных животных является тот факт, что все фолликулы в одно и то же время находятся в одинаковых фазах роста [17]. Плотность расположения и изогнутость профиля ВФ, наличие седых (обесцвеченных) волос изменяется в зависимости от временного периода после повреждающего воздействия. Аналогичные изменения были отмечены у мышей при воздействии γ -лучей в дозе 2,5 Гр [18], у крыс при однократном облучении различными дозами [19-20], на ранних стадиях облучения с поглощенными дозами 20, 30 и 40 Гр [2] и при механической травме [21].

При облучении кожи, в первую очередь, поражаются малодифференцированные делящиеся клетки в основании ВФ. Степень выраженности радиационного эффекта зависит от количества клеток, которые сохраняют пролиферативную активность. Также сроки проявления реактивных изменений структур ВФ зависят от физиологической скорости роста волос. При воздействии низких доз (1 Гр для мышей, 1-8 Гр для свиней и 5-14 Гр для людей) отмечена лишь относительно небольшая временная гибель стволовых клеток, что приводит к истончению волосков на 30%, но при повторных воздействиях реактивные изменения усиливаются [12].

Таким образом, не только поглощенная доза, но и кратность облучения играют важную роль в развитии морфологической картины повреждений кожи. Описание реактивности эпидермиса в сочетании со структурами волоса могут стать основой для прогнозирования и оценки клинической тяжести радиационных повреждений кожи.

Заключение. Наличие жизнеспособных волосяных фолликулов является маркером благополучного течения регенерационного гистогенеза кожи и ее производных. Показано, что степень выраженности морфологических изменений у экспериментальных животных при воздействии радиации зависит не только от дозы облучения, повторяемости процедуры, но и от активности репаративной регенерации волос. Для оценки степени выраженности реактивных изменений кожи был использо-

ван метод визуализированной количественной оценки состояния ВФ, адаптированный для жизненного цикла волос мышей в различных экспериментальных моделях лучевой болезни. Его применение в настоящем исследовании показало наглядность и доступность оценки реактивных изменений кожи и ее производных, а разработанная модель линейной регрессии подтвердила точность балльной оценки повреждений.

Литература References

1. Danilov RK. Ranevoy protsess: gistogeneticheskie osnovy. Sankt-Peterburg: VMedA im. S.M. Kirova; 2008. – 219s. In Russian
2. Jang WH, Shim S, Wang T et al. In vivo characterization of early-stage radiation skin injury in a mouse model by two-photon microscopy. *Sci Rep*. 2016;6:1-9. <https://doi.org/10.1038/srep19216>
3. Pryakhin EA, Tryapitsyna GA, Shaposhnikova IA i dr. Vliyaniye liposomal'nykh preparatov, sodержashchikh rekombinantnye belki cheloveka al'fa-fetoprotein i granulotsitarny koloniestimuliruyushchiy faktor, na techeniye lucheвого ozhoga kozhi IIIA stepeni u myshey. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya*. 2019;59(2):205-213. In Russian. <https://doi.org/10.1134/S0869803119020115>
4. Deev RV, Eremin PS, Chekmareva IA i dr. Strukturnye i ul'trastrukturnye osobennosti rannego povrezhdeniya tkaney kozhi pri mestnom luchevom vozdeystvii v vysokoy doze. *Klin. eksp. morfologiya*. 2021;10(3):55-64. In Russian. <https://doi.org/10.31088/CEM2021.10.3.55-64>
5. Gushchin YaA, Kovaleva MA. Sravnitel'naya morfologiya kozhi cheloveka i laboratornykh zhivotnykh (kratkoe soobshchenie). *Laboratornyye zhivotnye dlya nauchnykh issledovaniy*. 2029;2:6. In Russian. <https://doi.org/10.29296/2618723X-2019-02-06>
6. European Convention for the Protection of Vertebrate Animals used for Experimental and other Scientific Purposes (18 March 1986). URL: <http://www.worldlii.org/int/other/treaties/COETSER/1986/1.html>
7. Kolchanova GM, Liberman AN, Bronshteyn IE i dr. Sposob opredeleniya chisla radiatsionnykh povrezhdennykh volosyanykh follikulov. *Avtorskoe svidetel'stvo* № 1197191 A1 SSSR, MPK A61N 5/00. RU № 3576756. 30.03.1991. In Russian
8. Danilov RK. *Rukovodstvo po gistologii v 2 t. 2-e izd., ispr. i dop. T. 2.- Sankt-Peterburg: SpetsLit, 2011.- 831s. In Russian*
9. Myadlets OD, Adaskevich VP. *Morfofunktsional'naya dermatologiya*. M.: Medlit. 2006.- 752s. In Russian
10. Mil'to IV. *Funktsional'naya morfologiya cheloveka. Uchebnik v 3 tomakh. T. 1: Vistserologiya*. M.: Logosfera, 2022.- 664s. In Russian
11. Zakharova MK, Okolitenko MS, Gorbulich AV. Morfometricheskaya kharakteristika stepeni povrezhdeniya volosyanykh follikulov pri odnokratnom rentgenovskom obluchenii/ V kn.: *Mater. mezhd. nauch.-prakt. konf. molod. uch., posvyashch. 95-letiyu so dnya rozhd. prof. A.A. Klishova «Gistogenez, reaktivnost', regeneratsiya tkaney»: elektr. nauchn. izdanie*. Sankt-Peterburg: VMA im. S.M. Kirova. 2025.- In Russian. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=80303796&ppf=1>
12. Balter S, Hopewell JW, Miller DL et al. Fluoroscopically guided interventional procedures: a review of radiation effects on patients' skin and hair. *Radiology*. 2010 Feb; 254(2):326-341. <https://doi.org/10.1148/radiol.2542082312>
13. Kotenko KV, Moroz BB, Nasonova TA et al. Experimental model of severe local radiation injuries of the skin after X-rays. *Patol Fiziol Eksp Ter*. 2013;(4):121-123. In Russian
14. Kharchenko MA. *Korrelyatsionnyy analiz: Uchebnoye posobie dlya vuzov*. Voronezh: Izd-vo VGU. 2008.- S. 31.- In Russian
15. Gayduk VA. Sravnitel'naya morfometricheskaya kharakteristika reaktivnykh izmeneniy krovenosnykh sosudov kozhi pri razlichnykh povrezhdeniyakh/ V kn.: *Innovatsionnyye tekhnologii izucheniya gistogeneza, reaktivnosti i regeneratsii tkaney (Trudy Voenno-meditsinskoy akademii)*. 2024;263:144-147. In Russian
16. Iismaa SE, Kaidonis H, Nicks AM et al. Comparative regenerative mechanisms across different mammalian tissues. *NPJ Regen Med*. 2018;3(6):1-20. DOI: 10.1038/s41536-018-0044-5
17. Goryachkina VL i dr. Fiziologiya volosyanykh follikulov. *Rossiyskiy zhurnal kozhnykh i venericheskikh bolezney*. 2015;3:53-56. In Russian. <https://doi.org/10.17816/dv36995>
18. Sugaya K, Ishihara Y, Inoue S et al. The effects of gamma rays on the regeneration of hair follicles are carried over to later hair cycles. *Int J Radiat Biol*. 2015;91(12):957-963. <https://doi.org/10.3109/09553002.2015.1101647>
19. Shapovalova EYu, Marukyan AKh, Vadyukhin MA i dr. Immunogistokhimicheskaya otsenka proliferatsii i apoptoza keratinotsitov posle odnokratnogo fraktsionnogo ioniziruyushchego oblucheniya. *Morfologicheskie vedomosti*. 2023;31(3):23-29. [https://doi.org/10.20340/mv-mn.2023.31\(3\).775](https://doi.org/10.20340/mv-mn.2023.31(3).775)
20. Shlyapkina VI, Kulikov OA, Balashov VP i dr. Morfologicheskie izmeneniya kozhi vyzvannye emul'sionnym fotosensibilizatorom na osnove furanokumarinov borshchevika osnovnogo. *Morfologicheskie vedomosti*. 2023;31(2):40-48. In Russian. [https://doi.org/10.20340/mv-mn.2023.31\(2\).757](https://doi.org/10.20340/mv-mn.2023.31(2).757)
21. Petrov VD, Mirgorodskaya EE. Fiziologicheskaya i reparatornaya regeneratsiya epiteliotsitov kornya volosa. *Izvestiya Rossiyskoy voenno-meditsinskoy akademii*. 2020;39(1-2):131-133. In Russian. <https://doi.org/10.17816/rmmar43396>

Авторы заявляют об отсутствии каких-либо конфликтов интересов при планировании, выполнении, финансировании и использовании результатов настоящего исследования

The authors declare that they have no conflicts of interest in the planning, implementation, financing and use of the results of this study

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Горбулич Алена Валентиновна, преподаватель кафедры гистологии с курсом эмбриологии, Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия; **e-mail: alenagor_vma@bk.ru**

Миргородская Ольга Евгеньевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры гистологии с курсом эмбриологии, Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия; **e-mail: mirgolga@yandex.ru**

Околитенко Матвей Сергеевич, курсант, Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия; **e-mail: matveyoko@mail.ru**

Захарова Маргарита Константиновна, студентка, Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия; **e-mail: ritoritta@gmail.com**

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Alena V. Gorbulich, Lecturer of the Kirov Military Medical Academy Histology with a course in Embryology Department, Saint-Petersburg, Russia; **e-mail: alenagor_vma@bk.ru**

Ol'ga E. Mirgorodskaya, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Kirov Military Medical Academy Histology with a course in Embryology Department, Saint-Petersburg, Russia; **e-mail: mirgolga@yandex.ru**

Matvey S. Okolitenko, Cadet of the Kirov Military Medical Academy, Saint-Petersburg, Russia; **e-mail: matveyoko@mail.ru**

Margarita K. Zakharova, Studentin of the Kirov Military Medical Academy, Saint-Petersburg, Russia; **e-mail: ritoritta@gmail.com**