



Лекция



УДК 612.79+611.771+616.591+616-003.93+611.013+616-018
<https://doi.org/10.56871/RBR.2026.28.97.009>

Стволовые клетки эпидермиса. Лекция

Тимофей Иванович Миронов, Полина Эдуардовна Самарина,
Елена Дмитриевна Королькова, Анна Олеговна Дробинцева

Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, 194100, г. Санкт-Петербург, ул. Литовская, д. 2,
Российская Федерация

Для цитирования: Миронов Т.И., Самарина П.Э., Королькова Е.Д., Дробинцева А.О. Стволовые клетки эпидермиса. Лекция.
Российские биомедицинские исследования. 2026;11(2):88–94. <https://doi.org/10.56871/RBR.2026.28.97.009>.

Поступила: 13.01.2026

Одобрена: 05.03.2026

Принята к печати: 30.05.2026

Автор**для корреспонденции:**

Тимофей Иванович
Миронов.
E-mail: anthead.market@gmail.com

Резюме. Кожа — крупнейший орган, составляющий до 20% массы тела, ее барьерная функция обеспечивается постоянным обновлением. Стволовые клетки кожи поддерживают гомеостаз, регенерацию волос и заживление ран. В коже выделяют несколько типов стволовых клеток: межфолликулярного эпидермиса, волосяного фолликула (в луковице, корне, воронке), сальных и потовых желез. Формирование пула стволовых клеток начинается в эмбриогенезе, закладывая основу для регенерации во взрослом организме. Обновление эпидермиса долго объясняли стохастической (случайное самообновление) и иерархической (редкие деления стволовых клеток с образованием полустволовых клеток) моделями. Современные данные секвенирования единичных клеток привели к линейно-иерархической модели с множественными состояниями предшественников. Волосяной фолликул циклически проходит анаген (рост), катаген (дегенерацию) и телоген (покой). Предложена телескопическая модель его развития. У человека восстановление волос имеет отличия от мышиной, включая признаки эпителиально-мезенхимального перехода. В нише фолликула присутствуют стволовые клетки меланоцитов, обеспечивающие пигментацию; их пул пополняется клетками, возвращающимися из транзиторно-амплифицирующего состояния. Стареющие меланоциты через остеопонтин стимулируют активность соседних стволовых клеток волосяного фолликула. Стволовые клетки потовых желез (преимущественно эккринных) изучены слабее. В эмбриогенезе выявлены мультипотентные стволовые клетки, дающие начало миепителиальным и секреторным клеткам. У взрослых протоки обновляются быстро (как эпидермис), а концевой отдел — значительно медленнее. Нарушение баланса между покоем, самообновлением и дифференцировкой эпидермальных стволовых клеток ведет к истощению пула, плохому заживлению ран и кожным патологиям. Модуляция молекулярных путей для усиления регенеративного потенциала стволовых клеток открывает перспективы в лечении ран, возрастных изменений, восстановлении волос и косметологии.

Ключевые слова: кожа, эпидермис, регенерация, стволовые клетки

© Коллектив авторов, 2026

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Lecture

<https://doi.org/10.56871/RBR.2026.28.97.009>

Epidermal stem cells. Lecture

Timofey I. Mironov, Polina E. Samarina, Elena D. Korolkova, Anna O. Drobinsteva

Saint Petersburg State Pediatric Medical University, 2 Litovskaya str., Saint Petersburg, 194100, Russian Federation

For citation: Mironov T.I., Samarina P.E., Korolkova E.D., Drobinsteva A.O. Epidermal stem cells. Lecture. *Russian Biomedical Research*. 2026;11(2):88–94. (In Russ.). <https://doi.org/10.56871/RBR.2026.28.97.009>.

Received: 13.01.2026

Revised: 05.03.2026

Accepted: 30.05.2026

Corresponding author:

Timofey I. Mironov
E-mail: anthead.market@gmail.com

Abstract. The skin is the largest organ, comprising up to 20% of body weight; its barrier function is ensured by constant renewal. Skin stem cells maintain homeostasis, hair regeneration, and wound healing. Several types of stem cells are found in the skin: those of the interfollicular epidermis, hair follicle (bulge, isthmus, infundibulum), sebaceous and sweat glands. The formation of the stem cells pool begins in embryogenesis, laying the foundation for regeneration in adulthood. Epidermal renewal has long been explained by stochastic (random self-renewal) and hierarchical (rare stem cells divisions → transit-amplifying cells) models. Recent single-cell sequencing data have led to a linear-hierarchical model with multiple progenitor states. The hair follicle cycles through anagen (growth), catagen (degeneration), and telogen (rest). A telescopic model of its development has been proposed. Human hair restoration differs from the mouse, including signs of epithelial-mesenchymal transition. The follicle niche contains melanocyte stem cells that provide pigmentation; their pool is replenished by cells returning from the transit-amplifying state. Aged melanocytes, through osteopontin, stimulate the activity of neighbouring hair follicle stem cells. Sweat gland stem cells (mainly eccrine) are less studied. In embryogenesis, multipotent stem cells giving rise to myoepithelial and secretory cells have been identified in the ducts. In adults, ducts renew rapidly (like the epidermis), whereas the secretory coil renews much more slowly. Disruption of the balance between quiescence, self-renewal, and differentiation of epidermal stem cells leads to pool exhaustion, poor wound healing, and skin pathologies. Modulating molecular pathways to enhance the regenerative potential of stem cells holds promise for treating wounds, age-related changes, hair restoration, and in cosmetology.

Keywords: skin, epidermis, regeneration, stem cells

© 2026 by the authors

Funding. This study was not supported by any external sources of funding.

СТВОЛОВЫЕ КЛЕТКИ ЭПИДЕРМИСА

Эпидермальные стволовые клетки (ЭСК), расположенные в базальном слое, выступают в роли «двигателя» эпидермиса, обеспечивая его регенеративный потенциал. Они не только поддерживают обновление эпидермиса и регенерацию волос в условиях гомеостаза, но и могут активироваться для заживления ран при повреждениях [1–8]. Дифференцировка стволовых клеток (СК) считается постепенным процессом, что подтверждается стратификацией слоев эпидермиса. В ходе дифференцировки базальные клетки отсоединяются от базальной мембраны, прекращают пролиферацию и продвигаются к завершающей стадии дифференцировки по мере приближения к поверхности за счет сдвигания сверху старых клеток и выхода новых клеток в дифференцировку снизу. Было показано, что в коже человека СК расположены в базальном слое эпидермиса на вершинах гребешков эпидермиса как в тонкой (грудь, крайняя плоть, кожа головы), так и в толстой (ладони и подошвы) коже. В толстой коже до 70% стволовых клеток расположены во вторичных гребешках [9, 10]. Продолжительность жизни кератиноцитов у человека составляет приблизительно 40–56 дней [11]. Вместе с тем дисфункция ЭСК лежит в основе развития ряда кожных патологий [12]. ЭСК обладают свойствами самообновления и дифференцировки. В современной литературе СК эпидермиса подразделяют на СК межфолликулярного эпидермиса (СКМЭ), СК волосяного фолликула (СКВФ) и СК потовых желез. Для идентификации этих различных популяций ЭСК, каждая из которых обладает уникальными функциональными свойствами, используют ряд биомаркеров [13].

СТВОЛОВЫЕ КЛЕТКИ МЕЖФОЛЛИКУЛЯРНОГО ЭПИДЕРМИСА

Межфолликулярная часть эпидермиса с точки зрения гистологии представляет собой классический многослойный плоский ороговевающий эпителий между волосяными фолликулами. В толстой коже практически вся поверхность эпидермиса (за исключением протоков потовых желез) представлена межфолликулярным эпителием.

СКМЭ играют главную роль в физиологической регенерации эпидермиса [14]. Для поддержания стабильного пула стволовых элементов и генерации дифференцированных клеток СКМЭ используют как симметричное, так и асимметричное деление. Симметричное деление, ориентированное вдоль оси базальной мембраны, приводит к образованию двух идентичных дочерних клеток и обеспечивает быстрое расширение эпидермиса [2]. В отличие от этого асимметричное деление, перпендикулярное оси базальной мембраны, генерирует дочерние клетки с различными

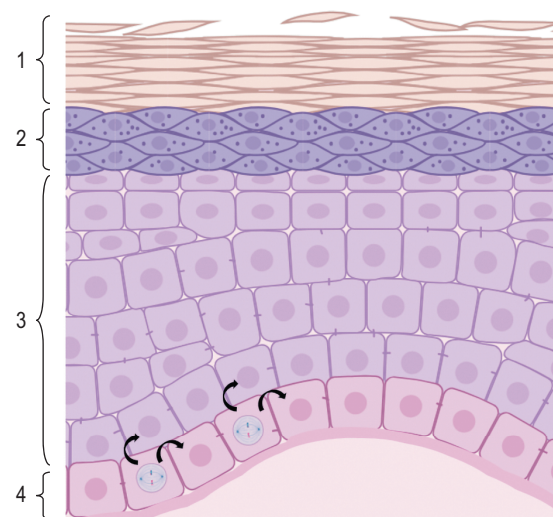


Рис. 1. Стохастическая модель стволовых клеток межфолликулярного эпидермиса: 1 — роговой слой; 2 — зернистый слой; 3 — шиповатый слой; 4 — базальный слой (сделано авторами с помощью Bio-Render.com)

Fig. 1. Stochastic model of interfollicular epidermal stem cells: 1 — stratum corneum; 2 — granular layer; 3 — spinous layer; 4 — basal layer (created by the authors with BioRender.com)

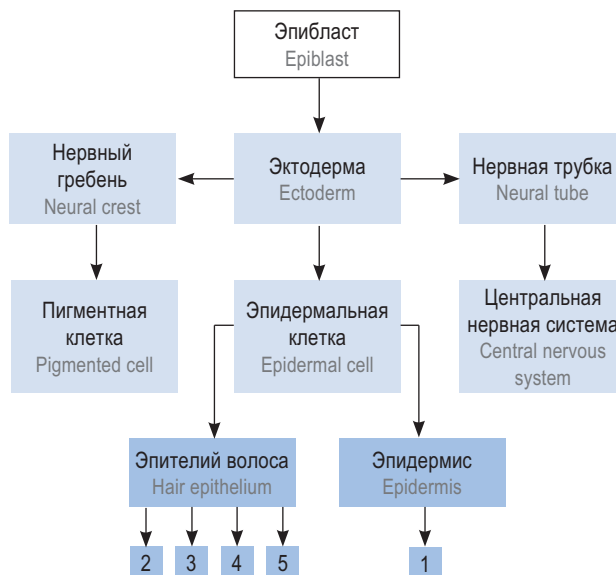


Рис. 2. Иерархическая модель стволовых клеток межфолликулярного эпидермиса — развитие эпидермальных популяций клеток: 1 — межфолликулярный эпидермис кожи; 2 — стволовые клетки волосяного фолликула; 3 — стволовые клетки корня волоса; 4 — перешеек, соединительная зона, воронка; 5 — сальная железа (сделано авторами с помощью miro.com)

Fig. 2. Hierarchical model of the interfollicular epidermal stem cells — development of epidermal stem cell populations: 1 — interfollicular skin of the epidermis; 2 — hair germ stem cells; 3 — hair bulge stem cells; 4 — isthmus, junctional zone, infundibulum; 5 — sebaceous gland (created by the authors with miro.com)

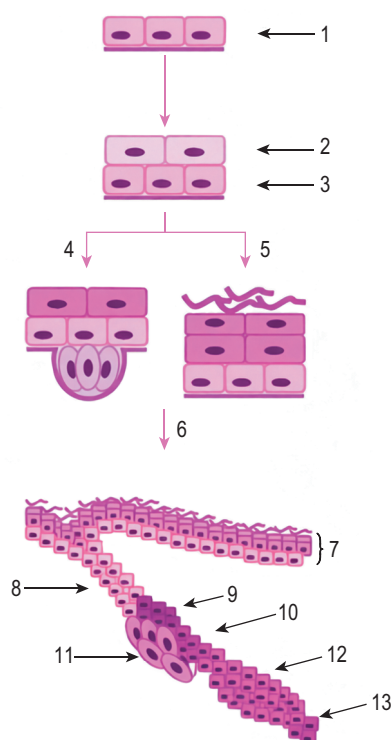


Рис. 3. Линейно-иерархическая модель стволовых клеток межфолликулярного эпидермиса: 1 — эмбриональный эпидермис; 2 — перидерма; 3 — эпидермальный базальный слой; 4 — эпителий волоса; 5 — многослойный эпителий; 6 — взрослая кожа; 7 — межфолликулярный эпителий кожи; 8 — волосяная воронка; 9 — соединительная зона; 10 — корень; 11 — сальная железа; 12 — зона роста волосяного фолликула; 13 — стволовые клетки волосяного фолликула (сделано авторами с помощью Inkscape)

Fig. 3. Linear-hierarchical model of interfollicular epidermal stem cells: 1 — embryonic epidermis; 2 — periderm; 3 — epidermal basal layer; 4 — hair epithelium; 5 — stratified epithelium; 6 — adult skin; 7 — interfollicular skin of the epidermis; 8 — infundibulum; 9 — junctional zone; 10 — isthmus; 11 — sebaceous gland; 12 — bulge; 13 — hair germ (created by the authors with Inkscape)

фенотипами, что необходимо для начала дифференцировки эпителиоцитов [15]. Однако самым главным фактором запуска процесса кератинизации является потеря контакта с базальной мембраной [16]. Изучение, как СКМЭ обеспечивают обновление эпидермиса посредством симметричного и асимметричного деления, привело к появлению различных моделей. На протяжении более 10 лет в центре этой дискуссии находились стохастическая и иерархическая модели (рис. 1) [8]. Стохастическая модель предполагает, что случайное самообновление и дифференцировка одинаковых СКМЭ приводят к образованию как базальных, так и созревающих дочерних клеток [17]. В то время как иерархическая модель постулирует, что

редкие деления СКМЭ продуцируют полустволовые клетки (ПСК), которые, в свою очередь, генерируют дифференцированные клетки в вышележащих слоях (рис. 2) [18].

Однако современные данные указывают на более сложный процесс, предполагающий постепенный переход от СКМЭ к дифференцированным кератиноцитам. Исследования транскриптома единичных клеток привели к появлению современной «иерархически-линейной» модели регенерации эпидермиса. Данная модель признает существование множественных состояний стволовых клеток и клеток-предшественников (рис. 3) [19, 20].

СТВОЛОВЫЕ КЛЕТКИ ВОЛОСЯНОГО ФОЛЛИКУЛА

Волосяной фолликул (ВФ) функционирует как «мини-орган», циклически переходя между инволюцией и регенерацией на протяжении всей жизни, что имеет решающее значение для роста волос и регуляции температуры тела [21]. Морфологически ВФ представляет собой цилиндрическое образование из эпителия и соединительнотканного волосяного сосочка. Он пространственно разделен на волосяную воронку, корень, волосяную луковицу и прилегающую к нему сальную железу [22]. В области волосяной луковицы расположены СК волоса: питание и регуляция их активности во многом обеспечивается клетками волосяного сосочка [23]. Стволовые клетки ВФ (СКВФ) изначально обнаружены в волосяной луковице, однако в настоящее время показано их присутствие во всех частях ВФ [5]. В случае повреждения или трансплантации СК из волосяной луковицы и корня могут дифференцироваться в различные клеточные линии, давая начало, например, межфолликулярному эпидермису, ВФ и сальной железе [14, 24]. Недавно была предложена «телескопическая модель» развития ВФ, иллюстрирующая концентрическое расположение предшественников эпителиальных линий в базальном слое волосяной плакоды, представляющей собой утолщение эпидермиса, содержащее зачатки волоса. Эти предшественники простираются в направлении дермы, формируя цилиндрическую структуру с продольно выровненными компартментами (рис. 4) [25].

Завершение цикла роста волоса зависит от скоординированных действий СКВФ. Он включает продолжительный рост волоса (анаген), кратковременную дегенерацию (катаген) и фазу покоя (телоген) [14]. В фазе телогена СК как в волосяной луковице, так и в зародыше волоса находятся в состоянии покоя. С началом фазы анагена СК зародыша волоса быстро пролиферируют, формируя субпопуляцию с активно делящимися полустволовыми клетками, которые образуют стержень волоса и внутреннее эпителиальное

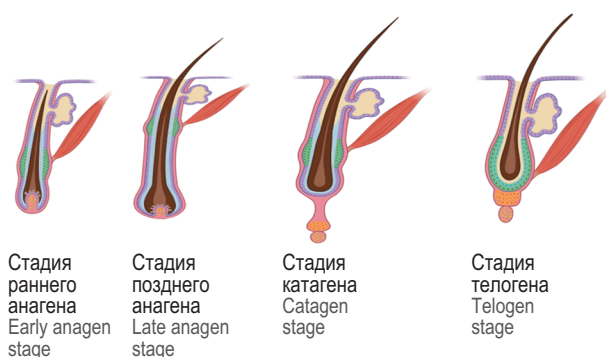


Рис. 4. Развитие волосного фолликула (сделано авторами с помощью BioRender.com)

Fig. 4. Development of hair follicle (created by the authors with BioRender.com)

влагалище корня. СКВЛ активируются позже, образуя наружное эпителиальное влагалище корня. Во время катагена полустволовые клетки и клетки внутреннего эпителиального влагалища в области корня подвергаются апоптозу [26]. Между тем некоторые клетки наружного эпителиального влагалища формируют новый волосной зачаток, подготавливаясь к следующему циклу роста волоса [21]. Важно отметить, что в недавних исследованиях методом секвенирования РНК единичных клеток ВФ кожи головы человека выявлены значительные отличия в процессах восстановления волоса по сравнению с мышью, такие как наличие признаков эпителиально-мезенхимального перехода, уникальных для человеческих СКВФ [27].

Стволовые клетки меланоцитов (СКМ), происходящие из нервного гребня, в частности, разделяют нишу ВЛ с СКВФ, внося вклад в пигментацию волоса [28]. СКМ дифференцируют в зрелые меланоциты, которые мигрируют с созревающими полустволовыми клетками в начале каждой фазы анагена и подвергаются апоптозу вместе в фазе катагена [27]. Недавние исследования показали, что поддержание пула СКМ включает не только резидентные стволовые клетки, но и клетки, возвращающиеся из транзиторно-амплифицирующего (полустволового) состояния [29, 30]. Более того, было обнаружено, что стареющие меланоциты, секретирующие остеопонтин, стимулируют активность соседних СКВФ и регенерацию волос, что указывает на динамичное взаимодействие между эпидермальными СК и меланоцитами [31].

СТВОЛОВЫЕ КЛЕТКИ ПОТОВОЙ ЖЕЛЕЗЫ

Потовые железы присутствуют во всех типах кожи человека, подразделяются на меракринные и апокринные, причем меракринные железы составляют около 90% их общего числа [4]. Эккринные железы имеют трубчатый концевой отдел, образующий

клубочек на границе дермы и гиподермы. Состоит концевой отдел из миоэпителиальных и секреторных клеток. Проток потовых желез не ветвится, выстлан многослойным (обычно 2–3 слоя клеток) кубическим эпителием [32]. Исследования клеток-предшественников и стволовых клеток потовых желез все еще находятся на начальной стадии. В ходе эмбрионального развития в протоках потовых желез выявлены две популяции клеток-предшественников: мультипотентные СК, дающие начало миоэпителиальным и полустволовым клеткам, и клетки, дающие начало секреторным клеткам [33]. В зрелой потовой железе выделяют четыре популяции СК, проявляющие различную динамику в таких процессах, как физиологическая регенерация, репаративная регенерация и трансплантация. Интересно отметить, что протоки потовых желез обновляются так же быстро, как и эпидермис, в то же время клетки концевой отдела обновляются значительно медленнее [34].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ЭСК обнаружены в различных областях, включая интерфолликулярный эпителий, волосной фолликул, а также сальные и потовые железы. Регуляция активности этих СК контролируется сложной сетью молекулярных сигналов, обеспечивающей баланс между состоянием покоя, самообновлением и дифференцировкой. Нарушение такого тонкого равновесия может привести к истощению пула СК, нарушению процесса заживления ран и развитию патологических состояний. Использование СК открывает широкие возможности для улучшения клинических результатов в области заживления ран, коррекции возрастных изменений, регенерации волосных фолликулов и в косметологии. В частности, исследователям следует стремиться к модуляции молекулярных путей с целью усиления регенеративной способности ЭСК.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Концепция и дизайн исследования — А.О. Дробинцева; анализ литературных данных, написание текста — Т.И. Миронов; написание текста — П.Э. Самарина; редактирование — Е.Д. Королькова.

Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ADDITIONAL INFORMATION

Author contribution. Study concept and design — A.O. Drobintseva; literature review, text writing — T.I. Mironov; text writing — P.E. Samarina; editing — E.D. Korolkova.

All authors made a substantial contribution to the conception of the study, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the article, final

approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the study.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Mescher A.L. Junqueira's basic histology: text and atlas. 15th ed. New York: McGraw-Hill Education; 2016.
- Pastushenko I., Prieto-Torres L., Gilaberte Y., Blanpain C. Skin stem cells: at the frontier between the laboratory and clinical practice. Part 1: epidermal stem cells. *Actas Dermosifiliogr.* 2015;106(9):725–732. <https://doi.org/10.1016/j.ad.2015.05.008>.
- Dermitzakis I., Kampitsi D.D., Manthou M.E., Evangelidis P., Vakirlis E., Meditskou S. et al. Ontogeny of skin stem cells and molecular underpinnings. *Curr Issues Mol Biol.* 2024;46(8):8118–8147. <https://doi.org/10.3390/cimb46080481>.
- Castellano-Pellicena I., Morrison C.G., Bell M., O'Connor C., Tobin D.J. Melanin distribution in human skin: influence of cytoskeletal, polarity, and centrosome-related machinery of stratum basale keratinocytes. *Int J Mol Sci.* 2021;22(6):3143. <https://doi.org/10.3390/ijms22063143>.
- Cichorek M., Wachulska M., Stasiewicz A., Tyminska A. Skin melanocytes: biology and development. *Postepy Dermatol Allergol.* 2013;30(1):30–41. <https://doi.org/10.5114/pdia.2013.33376>.
- Abraham J., Mathew S. Merkel cells: a collective review of current concepts. *Int J Appl Basic Med Res.* 2019;9(1):9–13. https://doi.org/10.4103/ijabmr.IJABMR_34_18.
- Smack D.P., Korge B.P., James W.D. Keratin and keratinization. *J Am Acad Dermatol.* 1994;30(1):85–102. [https://doi.org/10.1016/S0190-9622\(94\)70012-5](https://doi.org/10.1016/S0190-9622(94)70012-5).
- Gonzales K.A., Fuchs E. Skin and its regenerative powers: an alliance between stem cells and their niche. *Dev Cell.* 2017;43(4):387–401.e6. <https://doi.org/10.1016/j.devcel.2017.10.001>.
- Ankawa R., Goldberger N., Yosefzon Y., Koren E., Yusupova M., Rosner D. et al. Apoptotic cells represent a dynamic stem cell niche governing proliferation and tissue regeneration. *Dev Cell.* 2021;56(13):1900–1916.e5. <https://doi.org/10.1016/j.devcel.2021.06.008>.
- Fujiwara H., Ferreira M., Donati G., Marciano D.K., Linton J.M., Sato Y. et al. The basement membrane of hair follicle stem cells is a muscle cell niche. *Cell.* 2011;144(4):577–589. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2011.01.014>.
- Fuchs E., Blau H.M. Tissue stem cells: architects of their niches. *Cell Stem Cell.* 2020;27(4):532–556. <https://doi.org/10.1016/j.stem.2020.09.011>.
- Stanley J.R. Synergy of understanding dermatologic disease and epidermal biology. *J Clin Invest.* 2012;122(2):436–439. <https://doi.org/10.1172/JCI62237>.
- Tang X., Wang J., Chen J., Liu W., Qiao P., Quan H. et al. Epidermal stem cells: skin surveillance and clinical perspective. *J Transl Med.* 2024;22(1):779. <https://doi.org/10.1186/s12967-024-05600-1>.
- Blanpain C., Fuchs E. Epidermal stem cells of the skin. *Annu Rev Cell Dev Biol.* 2006;22:339–373. <https://doi.org/10.1146/annurev.cellbio.22.010305.104357>.
- Lechler T., Fuchs E. Asymmetric cell divisions promote stratification and differentiation of mammalian skin. *Nature.* 2005;437(7056):275–280. <https://doi.org/10.1038/nature03922>.
- Damen M., Wirtz L., Soroka E., Khatif H., Kukat C., Simons B.D. et al. High proliferation and delamination during skin epidermal stratification. *Nat Commun.* 2021;12(1):3227. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-23386-4>.
- Clayton E., Doupe D.P., Klein A.M., Winton D.J., Simons B.D., Jones P.H. A single type of progenitor cell maintains normal epidermis. *Nature.* 2007;446(7132):185–189. <https://doi.org/10.1038/nature05574>.
- Slack J.M. Origin of stem cells in organogenesis. *Science.* 2008;322(5907):1498–1501. <https://doi.org/10.1126/science.1162782>.
- Benitah S.A., Frye M. Stem cells in ectodermal development. *J Mol Med (Berl).* 2012;90(7):783–790. <https://doi.org/10.1007/s00109-012-0908-x>.
- Roy E., Neufeld Z., Cerone L., Wong H.Y., Hodgson S., Livet J. et al. Bimodal behaviour of interfollicular epidermal progenitors regulated by hair follicle position and cycling. *EMBO J.* 2016;35(24):2658–2670. <https://doi.org/10.15252/embj.201693806>.
- Chen C.L., Huang W.Y., Wang E.H.C., Tai K.Y., Lin S.J. Functional complexity of hair follicle stem cell niche and therapeutic targeting of niche dysfunction for hair regeneration. *J Biomed Sci.* 2020;27(1):43. <https://doi.org/10.1186/s12929-020-0624-8>.
- Peterson A., Nair L.S. Hair follicle stem cells for tissue regeneration. *Tissue Eng Part B Rev.* 2022;28(4):695–706. <https://doi.org/10.1089/ten.TEB.2021.0098>.
- Fuchs E. Scratching the surface of skin development. *Nature.* 2007;445(7130):834–842. <https://doi.org/10.1038/nature05659>.
- Snippert H.J., Haegebarth A., Kasper M., Jaks V., van Es J.H., Barker N. et al. Lgr6 marks stem cells in the hair follicle that generate all cell lineages of the skin. *Science.* 2010;327(5971):1385–1389. <https://doi.org/10.1126/science.1184733>.
- Morita R., Sanzen N., Sasaki H., Hayashi T., Umeda M., Yoshimura M. et al. Tracing the origin of hair follicle stem cells. *Nature.* 2021;594(7864):547–552. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03638-5>.
- Hsu Y.C., Li L., Fuchs E. Emerging interactions between skin stem cells and their niches. *Nat Med.* 2014;20(8):847–856. <https://doi.org/10.1038/nm.3643>.
- Wu S., Yu Y., Liu C., Zhang X., Zhu P., Peng Y. et al. Single-cell transcriptomics reveals lineage trajectory of human scalp



- hair follicle and informs mechanisms of hair graying. *Cell Discov.* 2022;8(1):49. <https://doi.org/10.1038/s41421-022-00394-2>.
28. Steingrímsson E., Copeland N.G., Jenkins N.A. Melanocyte stem cell maintenance and hair graying. *Cell.* 2005;121(1):9–12. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2005.03.021>.
 29. Sun Q., Lee W., Hu H., Ogawa T., De Leon S., Katehis I. et al. Dedifferentiation maintains melanocyte stem cells in a dynamic niche. *Nature.* 2023;616(7958):774–782. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-05960-6>.
 30. Зиновьев Е.В., Юдин В.Е., Асадулаев М.С., Цыган В.Н., Костяков Д.В., Шабунин А.С. и др. Опыт применения стволовых клеток при лечении ожогов кожи. *Педиатр.* 2018;9(4):12–27. <https://doi.org/10.17816/PED9412-27>.
Zinovyev E.V., Yudin V.E., Asadulaev M.S. et al. Experience of stem cell use in treatment of skin burns. *Pediatrician (St. Petersburg).* 2018;9(4):12–27. <https://doi.org/10.17816/PED9412-27>.
 31. Wang X., Ramos R., Phan A.Q., Yamaga K., Flesher J.L., Jiang S. et al. Signalling by senescent melanocytes hyperactivates hair growth. *Nature.* 2023;618(7966):808–817. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06172-8>.
 32. Chen R., Zhu Z., Ji S., Geng Z., Hou Q., Sun X. et al. Sweat gland regeneration: current strategies and future opportunities. *Biomaterials.* 2020;255:120201. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2020.120201>.
 33. Кожухарь В.Г., Иванов Д.О. Основные этапы формирования органов и систем плода. В кн.: Руководство по перинатологии. Иванов Д.О., ред. В 2 т. 2-е изд., перераб и доп. СПб.: Информ-Навигатор; 2019. Т. 1. С. 295–337. EDN: YZOVGD.
Kozhukhar V.G., Ivanov D.O. The main stages of formation of organs and systems of the fetus. In the book: Handbook of Perinatology. Ivanov D.O., ed. In 2 volumes. 2nd ed., revised and enlarged. Saint Petersburg: Inform-Navigator; 2019. Vol. 1. P. 295–337. (In Russ.). EDN: YZOVGD.
 34. Lu C.P., Polak L., Rocha A.S., Pasolli H.A., Chen S.C., Sharma N. et al. Identification of stem cell populations in sweat glands and ducts reveals roles in homeostasis and wound repair. *Cell.* 2012;150(1):136–150. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2012.04.045>.

Об авторах

* Тимофей Иванович Миронов — к.б.н., доцент кафедры гистологии и эмбриологии имени профессора А.Г. Кнорре. E-mail: anthead.market@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-2057-4525>; SPIN: 8942-2617

Полина Эдуардовна Самарина — студентка 5-го курса лечебного факультета, направление «Медицинская биофизика»; лаборант кафедры гистологии и эмбриологии имени профессора А.Г. Кнорре; лаборант кафедры общей гигиены. E-mail: psamarinaaa1309@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0003-9173-1414>; SPIN: 1347-4493

Елена Дмитриевна Королькова — старший лаборант, кафедра гистологии и эмбриологии имени профессора А.Г. Кнорре. E-mail: korolkovaelena@yahoo.com;

<https://orcid.org/0000-0002-4184-6446>; SPIN: 6061-3281

Анна Олеговна Дробинцева — к.б.н., доцент, заведующая кафедрой гистологии и эмбриологии имени профессора А.Г. Кнорре. E-mail: ao.drobintseva@gpmu.org

<https://orcid.org/0000-0002-6833-6243>; SPIN: 4277-0122

* Автор, ответственный за переписку.

Corresponding author.

Authors' info

* Timofey I. Mironov — Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor of the Department of Histology and Embryology named after Professor A.G. Knorre. E-mail: anthead.market@gmail.com;

<https://orcid.org/0000-0002-2057-4525>; SPIN: 8942-2617

Polina E. Samarina — 5th year student of the Faculty of Medicine, specialty “Medical Biophysics”; Laboratory Assistant, Department of Histology and Embryology named after Professor A.G. Knorre; Laboratory Assistant Department of General Hygiene. E-mail: psamarinaaa1309@mail.ru

<https://orcid.org/0009-0003-9173-1414>; SPIN: 1347-4493

Elena D. Korolkova — Senior Laboratory Assistant, Department of Histology and Embryology named after Professor A.G. Knorre. E-mail: korolkovaelena@yahoo.com;

<https://orcid.org/0000-0002-4184-6446>; SPIN: 6061-3281

Anna O. Drobintseva — Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor, Head of the Department of Histology and Embryology named after Professor A.G. Knorre. E-mail: ao.drobintseva@gpmu.org

<https://orcid.org/0000-0002-6833-6243>; SPIN: 4277-0122