

Современные концепции о роли и представленности макрофагов в различных тканях организма

Камилла Унгириевна Ким¹, Наталья Андреевна Баранова¹,
Богдан Олегович Щеглов^{1,✉}, Галина Витальевна Рева¹

¹Дальневосточный федеральный университет,
Владивосток Российская Федерация
✉ b.shcheglov@mail.ru

Аннотация. Макрофаги играют ключевую роль в иммунной системе, участвуя в процессах воспаления, регенерации тканей и поддержания гомеостаза. Современные исследования фокусируются на пластичности и функциональной гетерогенности макрофагов, их взаимодействии с клетками микроокружения и участии в патогенезе различных заболеваний, включая рак, атеросклероз и нейродегенеративные расстройства. В обзоре систематизированы данные, опубликованные за последние пять лет, об особенностях и дополнительных свойствах макрофагов в различных тканях, их роли в иммунном ответе и возможностях терапевтической модуляции. Представленные результаты подчёркивают перспективы использования макрофагов как мишеней для разработки новых подходов к лечению.

Ключевые слова: макрофаги, поляризация, иммунный ответ, воспаление, регенерация, терапевтическая модуляция

Для цитирования: Ким К.У., Баранова Н.А., Щеглов Б.О., Рева Г.В. Современные концепции о роли и представленности макрофагов в различных тканях организма // Клиническая и фундаментальная медицина. 2025. Т. 1, № 1. С. 71–79.

Review article

Modern concepts about the role and representation of macrophages in various tissues of the body

Kamilla U. Kim¹, Natalia A. Baranova¹, Bogdan O. Shcheglov^{1,✉}, Galina V. Reva¹

¹Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia
✉ b.shcheglov@mail.ru

Abstract. Macrophages have an essential role in the immune system, participating in the processes of inflammation, tissue regeneration and homeostasis maintenance. Modern studies focus on the plasticity and functional heterogeneity of macrophages, their interaction with microenvironment cells and their involvement in the pathogenesis of various diseases, including cancer, atherosclerosis and neurodegenerative disorders. The review systematizes data published over the past five years on the characteristics and additional properties of macrophages in various tissues, their role in the immune response and the possibilities of therapeutic modulation. The presented results highlight the prospects for using macrophages as targets for developing new approaches to treatment.

Keywords: macrophages, polarization, immune response, inflammation, regeneration, therapeutic modulation

For citation: Kim K.U., Baranova N.A., Shcheglov B.O., Reva G.V. Modern concepts about the role and representation of macrophages in various tissues of the body. *Clinical and Fundamental Medicine*, 2025, vol. 1, no. 1, pp. 71–79. (In Russ.).

Введение

Макрофаги, впервые описанные нашим соотечественником И.И. Мечниковым во второй половине 19 века как ключевые элементы фагоцитоза, представляют собой высокоспециализированные клетки врождённого иммунного ответа. За данное открытие И.И. Мечников получил Нобелевскую премию по медицине и физиологии в начале 20 века.

Основная роль макрофагов заключается в поддержании гомеостаза, развитии воспалительного процесса и активации последующего адаптивного иммунного ответа [1–3]. Располагаясь в различных тканях и органах, макрофаги демонстрируют фенотипическую и функциональную гетерогенность [2, 4–7]. Они циркулируют в крови как моноциты, трансформируются в тканевые макрофаги и выстилают слизистые оболочки, располагаются в соединительной ткани, а также образуют специализированные субпопуляции в органах [8–11].

Данный тип иммунных клеток функционируют как система быстрого реагирования организма, способная обнаруживать микроорганизмы и повреждения тканей [12–16]. Макрофаги проявляют мощную антипатогенную активность и играют роль дозорных органов, вызывая и координируя локальные и системные иммунные реакции [22–27]. Данный эффект достигается благодаря выработке цитокинов, хемокинов и факторов роста, а также представляя антигены адаптивным иммунным клеткам, таким как Т-лимфоциты, соединяя врождённую и адаптивную иммунные системы. Например, интерлейкин-1 (ИЛ-1), фактор некроза опухоли-альфа (ФНО- α) и интерлейкин-6 (ИЛ-6) являются критическими цитокинами, секретируемыми активированными макрофагами, вызывая воспаление и привлекая дополнительные иммунные клетки к местам инфекции или травмы [2, 6, 14, 19, 22].

Растущее количество исследований также указывает на участие макрофагов в патогенезе различных заболеваний, включая хронические воспалительные заболевания, рак и метаболические синдромы [28–30].

Материалы и методы

Обзор был проведён путём поиска и анализа рецензированных научных статей, опубликованных за последние пять лет (2019–2024 гг.) в базах данных PubMed, Scopus, Web of Science (WoS) и eLibrary.ru. Поискковые термины включали: поляризация макрофагов, макрофаги при раке, макрофаги и воспаление, терапия, нацеленная на макрофаги, и макрофаги при регенерации тканей. Статьи были отобраны по релевантности, с упором на оригинальные исследования и комплексные обзоры.

Общие научные методы, используемые в этом обзоре, связаны с анализом научных публикаций, использованных для систематического изучения рецензируемых статей, выявления повторяющихся тем, тенденций и значимых открытий в исследовании макрофагов. Сравнительный анализ позволил оценить различные методологии и результаты в различных исследованиях, подчеркнув как последовательности, так и расхождения в результатах различных исследований.

Результаты

В результате проведённого обзора исследований была составлена таблица 1. В ней приведена краткая информация об особенностях макрофагов и их представленности в различных органах и тканях организма.

Особенности макрофагов в различных тканях
Features of macrophages in different tissues

Орган	Особенности макрофагов
Печень	КК и ММФ регулируют системный гомеостаз, воспалительные реакции, восстановление печени после повреждений и разрешение фиброза. КК удаляют апоптотические клетки, предотвращают проникновение патогенов и участвуют в обмене белков и липидов [8–10]
ЦНС	Микроглия отвечает на патологические изменения и регулирует нейрональную активность при гипо- и гиперфункциональных состояниях. Обладает высокой пластичностью, поддерживая нейрональный гомеостаз [1–3]
Лёгкие	АМ поддерживают гомеостаз лёгких и защищают их от патогенов; регулируют воспаление при остром повреждении лёгких. Данные, полученные методом секвенирования на основе анализа отдельных клеток, показали их функциональную пластичность и роль при заболеваниях, таких как пневмония и астма [11–13]
Костная ткань	Остеокласты влияют на обмен кальция в костях через взаимодействие с остеобластами; секретируют онкостатин М и BMP-2, способствующие экспрессии остеокальцина, и остеопонтин в мезенхимальных стволовых клетках (МСК), способствуя, таким образом, образованию и ремоделированию Ca в костях [14–16]
Хрящевая ткань	Специализированные макрофаги, разрушающие изношенный хрящ с помощью лизосомальных ферментов. Обладают большим количеством митохондрий, имеют крупный размер и играют важную роль в поддержании целостности и ремоделировании хряща [17–19]
Кожа	Клетки Лангерганса находятся в эпидермисе; содержат бирбековские гранулы (по форме напоминающие теннисные ракетки), участвующие в обработке антигенов. Данные клетки также вырабатывают метенкефалин, который действует как модулятор боли и стимулятор нервной системы [20–22]
Селезёнка	Селезёнка содержит наибольшее количество макрофагов среди всех органов. Они включают веретеновидные клетки в синусах, сферические макрофаги и ветвящиеся клетки в красной и белой пульпе. Обладают высокой активностью, хорошо развитой эндоплазматической сетью, лизосомами, комплексом Гольджи и микротрубочками для поддержания формы и транспортировки веществ [23–25]
Плацента	Хофбауэрские макрофагальные клетки плацентарных ворсин; расположены на границе материнско-плацентарного барьера. Стимулируют пролиферацию материнских лимфоцитов и защищают плод от бактерий при проникновении патогенов [26–30]

В печени находятся два основных типа макрофагов: клетки Купфера (КК), резидентные макрофаги, и моноцитарные макрофаги (ММФ), рекрутируемые из крови [8, 10]. Данная субпопуляция макрофагов необходима для поддержания системного гомеостаза, реагирования на инфекции, инициирования воспалительных процессов при повреждении печени и регулирования прогрессирования и разрешения фиброза [8, 9]. КК, расположенные в синусоидах печени, образуют критический компонент системы мононуклеарных фагоцитов. Действуя как барьер, они предотвращают попадание патогенов и токсинов в системный кровоток, способствуют метаболизму белков и липидов и удаляют апоптотические клетки. Данное функциональное разнообразие зависит от их тканевой ниши, которая формирует их популяционную динамику и реакцию на сигналы окружающей среды.

Микроглия – это врождённые иммунные клетки центральной нервной системы (ЦНС), играющие двойную роль в иммунитете и нейронной регуляции [1–3]. Данные клетки несут на

своей поверхности рецепторы для восприятия внеклеточных сигналов и реагирования на патологические состояния, такие как инфекции и нейродегенеративные заболевания. Микроглия также регулирует нейронную активность, выявляя изменения в синаптической функции и нейронной сигнализации. Это достигается посредством взаимодействия с внеклеточными молекулами и рецепторами, что позволяет макрофагам модулировать гомеостаз ЦНС во время гипо- и гиперактивности. Их способность менять функциональные роли подчёркивает их пластичность и важность в поддержании баланса нервной системы.

Альвеолярные макрофаги (АМ) играют ключевую роль в поддержании гомеостаза лёгких и защите от патогенов, передающихся воздушно-капельным путём [12]. Способность регулировать воспалительные реакции во время острого повреждения лёгких позиционирует их как ключевых медиаторов иммунной защиты и разрешения воспаления [11]. В результате секвенирования РНК отдельных клеток было установлено, что при модулировании данных клеток можно добиться улучшения терапии таких заболеваний, как пневмония, астма и хроническая обструктивная болезнь лёгких [13].

Костные макрофаги регулируют гомеостаз костей, взаимодействуя с остеобластами и секретируя такие факторы, как онкостатин М и костный морфогенетический белок-2 (ВМР-2) [14–16]. Макрофаги данного типа стимулируют формирование костей, вызывая экспрессию остеокальцина и остеопонтина в мезенхимальных стволовых клетках костного мозга (МСК). Они также поддерживают микросреду костей и процесс ремоделирования, играя решающую роль в обмене кальция между костями и кровью [15].

Хондрокласты – это специализированные макрофаги, которые разрушают хрящ, высвобождая лизосомальные ферменты [17, 18]. Данные крупные, богатые митохондриями клетки играют решающую роль в обновлении повреждённого или старого хряща. В отличие от хондроцитов, хондрокласты не образуют изогенных групп, а вместо этого сосредотачиваются на очистке от отмерших клеток для поддержания целостности хряща [19].

Клетки Лангерганса, или внутриэпидермальные макрофаги, находятся в эпидермисе кожи [20]. Данные клетки обладают большим ядром и хорошо развитыми органеллами, включая рибосомы и лизосомы. Уникальными для клеток Лангерганса являются гранулы Бирбека, которые напоминают теннисные ракетки, участвующие в маркировании антигенов [21, 22]. Они также вырабатывают мет-энкефалин, эндогенный модулятор боли, что подчёркивает их роль в иммунном надзоре и нейрональной сигнализации [22].

Селезёнка содержит самую высокую плотность макрофагов среди всех органов. Данные клетки классифицируются на веретенообразные макрофаги, выстилающие синусы, сфероидные макрофаги и разветвлённые макрофаги в красной и белой пульпе [23, 25]. Макрофаги селезёнки очень активны, с хорошо развитыми лизосомами и мощным эндоплазматическим ретикуломом для синтеза ферментов [24]. Данные процессы обеспечивают эффективный фагоцитоз и транспорт веществ, что делает их незаменимыми в фильтрации крови, переработке железа и иммунной защите организма.

Плацентарные макрофаги, также известные как клетки Хофбауэра, расположены на границе матери и плода в стромах хорионических ворсин [26, 28]. Возникая из плодной ткани, данные клетки являются преобладающей популяцией иммунокомпетентных клеток на ранних стадиях беременности [27]. Клетки Хофбауэра стимулируют пролиферацию материнских лимфоцитов и способствуют развитию неспецифических защитных механизмов плаценты [29].

Они играют важную роль против вторжения патогенов, фагоцитируя бактерии и другие микроорганизмы, тем самым оберегая плод от инфекционной инвазии. Их двойная функция в иммунной модуляции и реализации иммунного ответа связана с обеспечением успешного исхода беременности и развития плода с формированием собственного иммунитета [26–29].

Обсуждение результатов

Макрофаги, несмотря на единство происхождения из предшественников красного костного мозга, демонстрируют уникальное сочетание пластичности и специализации. Различные функции, связанные не только с фагоцитозом патогенов, но и регуляцией процессов органа с определённой специализацией, являются не просто проявлением биологической активности и внутриорганной эволюции, но и возможностью вмешательства для улучшения состояния пациентов.

Однако полное понимание всех механизмов, управляющих деятельностью макрофагов, всё ещё остаётся вне досягаемости. Это связано как с их сложностью, так и с их фенотипическим многообразием, отличающихся в разных тканях и органах. Современные исследования, включая методы секвенирования, клеточной визуализации и анализа микроокружения, открывают новые горизонты для изучения этих удивительных клеток.

В перспективе возможность направленной модуляции функций макрофагов может стать основой для персонализированной медицины, где лечение будет адаптироваться под конкретные характеристики заболевания и пациента. Несмотря на многочисленные открытые вопросы, исследования макрофагов уже сегодня дают надежду на разработку принципиально новых методов терапии.

Заключение

Макрофаги, как важнейшие клетки иммунной системы, остаются объектом пристального внимания учёных и клиницистов. Несмотря на значительные успехи в изучении их функций и механизмов взаимодействия с другими клетками и тканями, данные универсальные иммунные клетки врождённого иммунитета всё ещё не раскрыли до конца все свои секреты. Их способность адаптироваться к условиям микроокружения, изменять своё функциональное состояние в зависимости от сигналов организма и участвовать в самых разнообразных физиологических и патологических процессах делает их объектом интенсивного изучения.

Одной из наиболее интересных областей исследований является модификация и модулирование функций макрофагов с целью терапии различных заболеваний. Современные методы, такие как генетическое редактирование, клеточная терапия и применение специфических молекул, позволяют целенаправленно влиять на поведение макрофагов. Это открывает безграничные перспективы для разработки инновационных подходов к лечению инфекций, аутоиммунных заболеваний, нейродегенеративных процессов, а также для регенеративной медицины.

Вклад авторов / *Contribution of the authors*

Б.О. Щеглов, Г.В. Рева – разработка концепции и дизайна исследования; К.У. Ким, Н.А. Баранова – сбор данных; К.У. Ким, Н.А. Баранова, Б.О. Щеглов – анализ и интерпретация результатов; Б.О. Щеглов, Г.В. Рева – подготовка и редактирование текста. Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

B.O. Shcheglov, G.V. Reva – development of the concept and design of the study; K.U. Kim, N.A. Baranova – data collection; K.U. Kim, N.A. Baranova, B.O. Shcheglov – analysis and interpretation of results; B.O. Shcheglov, G.V. Reva – draft preparation and editing. All authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Соблюдение этических стандартов / Compliance with ethical standards

В этой статье не содержится никаких исследований, выполненных кем-либо из авторов, с участием людей или животных как объектов исследования.

This article does not contain any studies with human participants or animals performed by any of the authors.

Информированное согласие было получено от всех участников исследования.

Informed consent was obtained from all individual participants included in the study.

Конфликт интересов / Conflict of interest

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflict of interest.

Список источников / References

1. Федоров А.А., Ермак Н.А., Геращенко Т.С., Топольницкий Е.Б., Шефер Н.А., Родионов Е.О., Стахеева М.Н. Поляризация макрофагов: механизмы, маркеры и факторы индукции // Сибирский онкологический журнал. 2022. Т. 21, № 4. С. 124–136. DOI: <https://doi.org/10.21294/1814-4861-2022-21-4-124-136>
Fedorov A.A., Ermak N.A., Gerashchenko T.S., Topolnitskii E.B., Shefer N.A., Rodionov E.O., Stakheyeva M.N. Polarization of macrophages: mechanisms, markers and factors of induction. *Siberian Journal of Oncology*, 2022, vol. 21, no. 4, pp. 124–136. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21294/1814-4861-2022-21-4-124-136>
2. Park M.D., Silvin A., Ginhoux F., Merad M. Macrophages in health and disease. *Cell*, 2022, vol. 185, no. 23, pp. 4259–4279. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cell.2022.10.007>
3. Жгулева А.С., Зементова М.С., Сельков С.А., Соколов Д.И. Макрофаги M1/M2: происхождение, фенотип, способы получения, взаимодействие с естественными киллерами и трофобластом // Медицинская иммунология. 2024. Т. 26, № 3. С. 425–448. DOI: <https://doi.org/10.15789/1563-0625-ММО-2877>
Zhguleva A.S., Zementova M.S., Selkov S.A., Sokolov D.I. M1/M2 macrophages: origin, phenotype, methods of production, interaction with natural killer cells and trophoblast. *Medical Immunology (Russia)*, 2024, vol. 26, no. 3, pp. 425–448. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15789/1563-0625-ММО-2877>
4. Юрова К.А., Хазиахматова О.Г., Малащенко В.В., Норкин И.К., Иванов П.А., Хлусов И.А., Шунькин Е.О., Годосенко Н.М., Мелашенко Е.С., Литвинова Л.С. Клеточно-молекулярные аспекты воспаления, ангиогенеза и остеогенеза. Краткий обзор // Цитология. 2020. Т. 62, № 5. С. 305–315. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0041377120050090>
Yurova K.A., Khaziakhmatova O.G., Todosenko N.M., Litvinova L.S. The role of γ C cytokines (IL-2, IL-7, and IL-15) in regulation of activation-induced cell death of memory T cells. *Cell and Tissue Biology*, 2020, vol. 14, no. 6, pp. 419–426. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1990519X20060115>
5. Сахаров В.Н., Литвицкий П.Ф. Возможности управления процессом перепрограммирования фенотипа макрофагов // Сеченовский вестник. 2014. № 4. С. 89–96.
Sakharov V.N., Litvitsky P.F. Opportunities for management of macrophage phenotype reprogramming. *Sechenov Medical Journal*, 2014, no. 4, pp. 89–96.
6. Chen S., Saeed A.F.U.H., Liu Q., Jiang Q., Xu H., Xiao G.G., Rao L., Duo Y. Macrophages in immunoregulation and therapeutics. *Signal Transduction and Targeted Therapy*, 2023, vol. 8, art. 207. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41392-023-01452-1>

7. Ковалева О.В., Подлесная П.А., Грачев А.Н. Цитотоксическая активность макрофагов и ее роль в патогенезе опухолей // Альманах клинической медицины. 2022. Т. 50. № 1. С. 13–20. DOI: <https://doi.org/10.18786/2072-0505-2022-50-008>
Kovaleva O.V., Podlesnaya P.A., Gratchev A.N. Macrophage cytotoxic activity and its role in the tumor pathogenesis. *Almanac of Clinical Medicine*, 2022, vol. 50, no. 1, pp. 13–20. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18786/2072-0505-2022-50-008>
8. Susilawati T.N., Rahayuningtyas W., Pramana T.Y. Proinflammatory cytokines and its correlation with liver injury. *The Indonesian Journal of Gastroenterology, Hepatology, and Digestive Endoscopy*, 2021, vol. 22, no. 3, pp. 210–216. DOI: <https://doi.org/10.24871/2232021210-216>
9. Wen Y., Lambrecht J., Ju C., Tacke F. Hepatic macrophages in liver homeostasis and diseases-diversity, plasticity and therapeutic opportunities. *Cellular & Molecular Immunology*, 2021, vol. 18, pp. 45–56. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41423-020-00558-8>
10. Wang C., Ma C., Gong L., Guo Y., Fu K., Zhang Y., Zhou H., Li Y. Macrophage polarization and its role in liver disease. *Frontiers in Immunology*, 2021, vol. 12, art. 803037. DOI: <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.803037>
11. Максимова А.А., Шевела Е.Я., Черных Е.Р. Роль макрофагов в патогенезе легочного фиброза // Иммунология. 2024. Т. 45, № 2. С. 235–244. DOI: <https://doi.org/10.33029/1816-2134-2024-45-2-235-244>
Maksimova A.A., Shevela E.Ya., Chernykh E.R. The role of macrophages in the pathogenesis of pulmonary fibrosis. *Immunologiya*, 2024, vol. 45, no. 2, pp. 235–244. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33029/1816-2134-2024-45-2-235-244>
12. Зинина Е.П., Царенко С.В., Логунов Д.Ю., Тухватулин А.И., Бабаянц А.В., Аврамов А.А. Роль провоспалительных и противовоспалительных цитокинов при бактериальной пневмонии. Обзор литературы // Вестник интенсивной терапии имени А.И. Салтанова. 2021. № 1. С. 77–89. DOI: <https://doi.org/10.21320/1818-474X-2021-1-77-89>
Zinina E.P., Tsarenko S.V., Logunov D.Y., Tukhvatulina A.I., Babayants A.V., Avramov A.A. The role of proinflammatory and anti-inflammatory cytokines in bacterial pneumonia. Review. *Annals of Critical Care*, 2021, no. 1, pp. 77–89. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21320/1818-474X-2021-1-77-89>
13. Буслаев В.Ю., Минин А.В., Катаныхова М.В., Шабалдин А.В. Роль факторов иммунного ответа в развитии рака лёгкого у пациентов в зависимости от статуса курения (систематический обзор) // Фундаментальная и клиническая медицина. 2024. Т. 9, № 3. С. 86–97. DOI: <https://doi.org/10.23946/2500-0764-2024-9-3-86-97>
Buslaev V.Yu., Minin A.V., Katanakhova M.V., Shabalдин A.V. Immune response, smoking, and lung cancer: a systematic review. *Fundamental and Clinical Medicine*, 2024, vol. 9, no. 3, pp. 86–97. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.23946/2500-0764-2024-9-3-86-97>
14. Мироманов А.М., Гусев К.А., Старосельников А.Н., Миронова О.Б., Мироманова Н.А. Современные генетические и иммунологические аспекты патогенеза нарушения консолидации переломов (обзор литературы) // Acta Biomedica Scientifica. 2022. Т. 7. № 2. С. 49–64. DOI: <https://doi.org/10.29413/ABS.2022-7.2.6>
Miromanov A.M., Gusev K.A., Staroselnikov A.N., Mironova O.B., Miromanova N.A. Modern genetic and immunological aspects of the pathogenesis of impaired consolidation of fractures (literature review). *Acta Biomedica Scientifica*, 2022, vol. 7, no. 2, pp. 49–64. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.29413/ABS.2022-7.2.6>
15. Ширинский В.С., Ширинский И.В. Остеоиммунология: междисциплинарный подход к изучению взаимодействия клеток иммунной системы и костной ткани // Медицинская иммунология. 2022. Т. 24, № 5. С. 911–930. DOI: <https://doi.org/10.15789/1563-0625-OAI-1521>

- Shirinsky V.S., Shirinsky I.V. Osteoimmunology: an interdisciplinary approach to studying the relationships between immune and bone cells. *Medical Immunology*, 2022, vol. 24, no. 5, pp. 911–930. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15789/1563-0625-OAI-1521>
16. McDonald M.M., Kim A.S., Mulholland B.S., Rauner M. New insights into osteoclast biology. *JBM R Plus*, 2021, vol. 5, no. 9, art. e10539. DOI: <https://doi.org/10.1002/jbm4.10539>
17. Khan N.M., Clifton K.B., Lorenzo J., Hansen M.F., Drissi H. Comparative transcriptomic analysis identifies distinct molecular signatures and regulatory networks of chondroclasts and osteoclasts. *Arthritis Research & Therapy*, 2020, vol. 22, art. 168. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13075-020-02259-z>
18. McClure S.F., McClure J. Aspects of the glycome of endochondral ossification. *BioRxiv*, 2022, art. 2022.05.12.491629. DOI: <https://doi.org/10.1101/2022.05.12.491629>
19. Hyc A., Moskalewski S., Osiecka-Iwan A. Growth factors in the initial stage of bone formation, analysis of their expression in chondrocytes from epiphyseal cartilage of rat costochondral junction. *Folia Histochemica et Cytobiologica*, 2021, vol. 59, no. 3, pp. 178–186. DOI: <https://doi.org/10.5603/fhc.a2021.0017>
20. Yan B., Liu N., Li J., Li J., Zhu W., Kuang Y., Chen X., Peng C. The role of Langerhans cells in epidermal homeostasis and pathogenesis of psoriasis. *Journal of Cellular and Molecular Medicine*, 2020, vol. 24, no. 20, pp. 11646–11655. DOI: <https://doi.org/10.1111/jcmm.15834>
21. Neagu M., Constantin C., Jugulete G., Cauni V., Dubrac S., Szöllösi A.G., Zurac S. Langerhans cells – revising their role in skin pathologies. *Journal of Personalized Medicine*, 2022, vol. 12, no. 12, art. 2072. DOI: <https://doi.org/10.3390/jpm12122072>
22. Wang Z.-C., Hu Y.-Y., Shen X.Z., Tan W.-Q. Absence of Langerhans cells resulted in over-influx of neutrophils and increased bacterial burden in skin wounds. *Cell Death & Disease*, 2024, vol. 15, art. 760. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41419-024-07143-1>
23. Klei T.R.L., Dalimot J., Nota B., Veldhuis M., Mul F.P.J., Rademakers T., Hoogenboezem M., Nagelkerke S.Q., van IJcken W.F.J., Oole E., Svendsen P., Moestrup S.K., van Alphen F.P.J., Meijer A.B., Kuijpers T.W., van Zwieten R., van Bruggen R. Hemolysis in the spleen drives erythrocyte turnover. *Blood*, 2020, vol. 136, no. 14, pp. 1579–1589. DOI: <https://doi.org/10.1182/blood.2020005351>
24. Norris P.A.A., Segel G.B., Burack W.R., Sachs U.J., Lissenberg-Thunnissen S.N., Vidarsson G., Bayat B., Cserti-Gazdewich C.M., Callum J., Lin Y., Branch D., Kapur R., Semple J.W., Lazarus A.H. FcγRI and FcγRIII on splenic macrophages mediate phagocytosis of anti-glycoprotein IIb/IIIa auto-antibody-opsonized platelets in immune thrombocytopenia. *Haematologica*, 2021, vol. 106, no. 1, pp. 250–254. DOI: <https://doi.org/10.3324/haematol.2020.248385>
25. Chen Y., Xiang J., Qian F., Diwakar B.T., Ruan B., Hao S., Prabhu K.S., Paulson R.F. Epo receptor signaling in macrophages alters the splenic niche to promote erythroid differentiation. *Blood*, 2020, vol. 136, no. 2, pp. 235–246. DOI: <https://doi.org/10.1182/blood.2019003480>
26. Fakonti G., Pantazi P., Bokun V., Holder B. Placental macrophage (Hofbauer cell) responses to infection during pregnancy: A systematic scoping review. *Frontiers in Immunology*, 2022, vol. 12, art. 756035. DOI: <https://doi.org/10.3389/fimmu.2021.756035>
27. Bezemer R.E., Faas M.M., van Goor H., Gordijn S.J., Prins J.R. Decidual macrophages and Hofbauer cells in fetal growth restriction. *Frontiers in Immunology*, 2024, vol. 15, art. 1379537. DOI: <https://doi.org/10.3389/fimmu.2024.1379537>
28. Thomas J.R., Appios A., Zhao X., Dutkiewicz R., Donde M., Lee C.Y.C., Naidu P., Lee C., Cerveira J., Liu B., Ginhoux F., Burton G., Hamilton R.S., Moffett A., Sharkey A., McGovern N. Phenotypic and functional characterization of first-trimester human placental macrophages, Hofbauer cells. *Journal of Experimental Medicine*, 2021, vol. 218, no. 1, e20200891. DOI: <https://doi.org/10.1084/jem.20200891>

29. Mercnik M.H., Wadsack C., Schlieffsteiner C. Unlocking the secrets of Hofbauer cells in placental (patho-) physiology: Isolation and quality assessment in human term placenta. *Placenta*, 2024, Jul 10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.placenta.2024.07.004>
30. Azari S., Johnson L.J., Webb A., Kozlowski S.M., Zhang X., Rood K., Amer A., Seveau S. Hofbauer cells spread listeria monocytogenes among placental cells and undergo pro-inflammatory reprogramming while retaining production of tolerogenic factors. *MBio*, 2021, vol. 12, no. 4, art. 10.1128/mbio.01849-21. DOI: <https://doi.org/10.1128/mbio.01849-21>

Информация об авторах / Information about the authors

Ким Камилла Унгириева – студент 2-го курса направления «Лечебное дело» Школы медицины и наук о жизни, Дальневосточный федеральный университет (Владивосток, Российская Федерация),

✉ kim.ku@dvfu.ru

Kamilla U. Kim, 2nd year student of the General Medicine program of the School of Medicine and Life Sciences, Far Eastern Federal University (Vladivostok, Russian Federation).

Баранова Наталья Андреевна – студент 2-го курса направления «Лечебное дело» Школы медицины и наук о жизни, Дальневосточный федеральный университет (Владивосток, Российская Федерация),

✉ baranova.nan@dvfu.ru

Natalia A. Baranova, 2nd year student of the General Medicine program of the School of Medicine and Life Sciences, Far Eastern Federal University (Vladivostok, Russian Federation).

Щеглов Богдан Олегович – ассистент департамента фундаментальной медицины Школы медицины и наук о жизни, Дальневосточный федеральный университет (Владивосток, Российская Федерация)

✉ b.shcheglov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2262-1831>

Bogdan O. Shcheglov, Assistant, Department of Fundamental Medicine of the School of Medicine and Life Sciences, Far Eastern Federal University (Vladivostok, Russian Federation).

Рева Галина Витальевна – доктор медицинских наук, профессор, профессор департамента фундаментальной медицины Школы медицины и наук о жизни, Дальневосточный федеральный университет (Владивосток, Российская Федерация),

✉ reva.gv@dvfu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6502-4271>

Galina V. Reva, Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor of the Department of Fundamental Medicine of the School of Medicine and Life Sciences, Far Eastern Federal University (Vladivostok, Russian Federation).

Статья поступила / Received: 09.12.2024.

Одобрена после рецензирования / Revised: 11.12.2024.

Принята к публикации / Accepted: 22.01.2025.