



Оригинальная статья

© CC BY 4.0

УДК 616-002-092.9+612.135+615.47+616-073.75+577.29+616-07
<https://doi.org/10.56871/RBR.2026.48.50.003>

Применение лазерной доплеровской флоуметрии для исследования тканевого кровотока на модели каррагинан-индуцированного отека у мышей

Елена Валерьевна Белянина, Армен Алексанович Овсепян, Мария Сергеевна Аксенова, Юлия Владимировна Ишкова, Юлия Сергеевна Арилина, Виктория Николаевна Гаранова, Наталия Витальевна Бельская, Максим Валерьевич Лыков

АО «ГЕНЕРИУМ», R&D парк, 601125, Владимирская обл., Петушинский район, пос. Вольгинский, ул. Владимирская, д. 14, Российская Федерация

Для цитирования: Белянина Е.В., Овсепян А.А., Аксенова М.С., Ишкова Ю.В., Арилина Ю.С., Гаранова В.Н., Бельская Н.В., Лыков М.В. Применение лазерной доплеровской флоуметрии для исследования тканевого кровотока на модели каррагинан-индуцированного отека у мышей. *Российские биомедицинские исследования*. 2026;11(1):32–38. <https://doi.org/10.56871/RBR.2026.48.50.003>.

Поступила: 22.12.2025

Одобрена: 19.01.2026

Принята к печати: 27.03.2026

Автор для**корреспонденции:**

Елена Валерьевна

Белянина.

E-mail:

belyanina@ibcgenerium.ru

Резюме. Введение. Каррагинан-индуцированный отек — наиболее распространенная модель *in vivo* для оценки терапевтической эффективности противовоспалительных лекарственных препаратов. В основе патогенеза каррагинан-индуцированного отека лежит острое экссудативное воспаление, в котором важную роль играет нарушение микроциркуляции. Изучение патогенеза микроциркуляции представляет большой интерес, как диагностический, так и прогностический, при оценке функционального статуса организма. Одним из перспективных и успешно применяемых диагностических методов исследования тканевого кровотока является лазерная доплеровская флоуметрия, которая позволяет оценить изменения микроциркуляторных процессов. **Цель** — провести оценку тканевого кровотока в динамике у мышей методом лазерной доплеровской флоуметрии в сопоставлении с показателями плетизмометрии в модели каррагинан-индуцированного отека для изучения эффективности и фармакодинамики биомедицинских клеточных продуктов и фармацевтических субстанций в доклинической практике. **Материалы и методы.** В работе использовали 40 мышей (20 самцов и 20 самок) линии BALB/c в возрасте 8–10 недель. В процессе эксперимента моделировали каррагинан-индуцированный отек, проводили лазерную доплеровскую флоуметрию и плетизмометрию в области левой задней конечности экспериментального животного. По результатам исследования выполнены: 1) оценка тканевой перфузии у мышей в области подошвенного апоневроза в динамике; 2) плетизмометрия в динамике (оценка степени выраженности отека у животных по изменению объема лапы животного); 3) сопоставление показателей плетизмометрии и лазерной доплеровской флоуметрии. Установлено, что степень восстановления кровотока и выраженность отека коррелируют между собой (коэффициент корреляции составляет 96%). **Выводы.** Лазерная доплеровская флоуметрия в модели каррагинан-индуцированного отека у мышей позволяет прижизненно и в динамике оценить состояние микроциркуляции. Метод отличается точностью и высокой чувствительностью, с его помощью можно определить изменения микроциркуляции кровотока на ранних этапах, до «визуального» проявления отека. Наблюдается высокая корреляция между данными, полученными при использовании лазерной доплеровской флоуметрии и плетизмометра. В перспективе данный метод может быть широко применен в доклинической практике для оценки терапевтической эффективности и фармакодинамики разрабатываемых препаратов, влияющих на регионарное кровообращение и микроциркуляцию.

Ключевые слова: каррагинан-индуцированный отек, лазерная доплеровская флоуметрия, ЛДФ, биологическая тест-система

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

© Коллектив авторов, 2026



Original article

<https://doi.org/10.56871/RBR.2026.48.50.003>

Laser Doppler flowmetry for studying tissue blood flow in a model of carrageenan-induced edema in mice

Elena V. Belyanina, Armen A. Ovsepyan, Maria S. Aksenova, Yulia V. Ishkova, Yulia S. Arilina, Victoria N. Garanova, Natalia V. Belskaya, Maxim V. Lykov

JSC "GENERIUM", R&D park, 14 Vladimirskaia str., Vladimir Region, Petushinsky District, village Volginsky, 601125, Russian Federation

For citation: Belyanina E.V., Ovsepyan A.A., Aksenova M.S., Ishkova Yu.V., Arilina Yu.S., Garanova V.N., Belskaya N.V., Lykov M.V. Laser Doppler flowmetry for studying tissue blood flow in a model of carrageenan-induced edema in mice. *Russian Biomedical Research*. 2026;11(1):32–38. (In Russ.). <https://doi.org/10.56871/RBR.2026.48.50.003>.

Received: 22.12.2025

Revised: 19.01.2026

Accepted: 27.03.2026

Corresponding author:

Elena V. Belyanina.

E-mail:

belyanina@ibcgenerium.ru

Abstract. Introduction. Carrageenan-induced edema is the most common *in vivo* model for evaluating the therapeutic efficacy of anti-inflammatory drugs. The pathogenesis of carrageenan-induced edema is based on acute exudative inflammation, in which microcirculation disorders play an important role. The study of the pathogenesis of microcirculation is of great interest, both diagnostic and prognostic, in assessing the functional status of the organism. One of the promising and successfully applied diagnostic methods for studying tissue blood flow is laser Doppler flowmetry, which makes it possible to assess changes in microcirculatory processes. **The aim** is to evaluate tissue blood flow in mice using the laser Doppler flowmetry method in comparison with plethysmometry parameters in the carrageenan-induced edema model to study the efficacy and pharmacodynamics of biomedical cellular products and pharmaceutical substances in preclinical practice. **Materials and methods.** 40 mice (20 males and 20 females) of the BALB/c line aged 8–10 weeks were used in the study. During the experiment, carrageenan-induced edema was modeled, laser Doppler flowmetry and plethysmometry were performed in the area of the left hind limb of the experimental animal. According to the results of the conducted research, the following tasks were performed: 1) assessment of tissue perfusion in mice in the area of plantar aponeurosis in dynamics; 2) plethysmometry in dynamics (assessment of the severity of edema in animals by changes in the volume of the animal's paw); 3) comparison of plethysmometry and laser Doppler flowmetry. It was found that the degree of blood flow restoration and the severity of edema correlate with each other (the correlation coefficient is 96%). **Conclusions.** The use of laser Doppler flowmetry in the carrageenan-induced edema model in mice makes it possible to assess the state of microcirculation *in vivo* and dynamically. The method is characterized by accuracy and high sensitivity, which makes it possible to determine changes in blood microcirculation in the early stages, including before the "visual" manifestation of edema. At the same time, there is a high correlation between the data obtained using laser Doppler flowmetry and plethysmometer. In the future, this method can be widely used in preclinical practice to evaluate the therapeutic efficacy and pharmacodynamics of drugs under development that affect regional blood circulation and microcirculation.

Keywords: carrageenan-induced edema, laser Doppler flowmetry, LDF, biological test system

© 2026 by the authors

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

ВВЕДЕНИЕ

Микроциркуляторное русло — трофическое звено гемокрикуляции и косвенно отражает жизнеспособность тканей, их способность регенерировать, осуществлять иммунную и множество других физиологических функций, свойственных здоровым тканям организма. Нарушение тканевой перфузии не только указывает на поражение исследуемого органа или ткани, но и зачастую является результатом системных процессов в организме, приводящих к тяжелым последствиям. Изучение состояния микроциркуляции в условиях воспаления представляет значительный интерес в доклинической практике для оценки терапевтической эффективности противовоспалительных лекарственных препаратов [1–5].

Одна из наиболее распространенных моделей воспаления *in vivo* — каррагинан-индуцированный отек. Патогенез каррагинан-индуцированного отека обусловлен острым экссудативным воспалением, в котором одним из основных его компонентов считается расстройство микроциркуляции с экссудацией и эмиграцией. Лаконичным способом диагностики нарушений микроциркуляторного русла служит лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ), которая вызывает стойкий интерес исследователей по всему миру уже не первое десятилетие [5, 6].

Данный метод успешно используют для исследования тканевой микроциркуляции у человека, однако у животных в настоящее время его широко не применяют [2, 4, 7, 8].

Таким образом, ЛДФ остается перспективным направлением исследований в доклинической практике.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Провести оценку тканевого кровотока в динамике у мышей методом ЛДФ в сопоставлении с показателями плетизмометрии в модели каррагинан-индуцированного отека для изучения эффективности и фармакодинамики биомедицинских клеточных продуктов

и фармацевтических субстанций в доклинической практике.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Животные. В эксперименте использовали 40 мышей (20 самцов и 20 самок) линии BALB/c в возрасте 8–10 недель, SPF-категории, полученных из НПП «Питомник лабораторных животных» Филиала Института биоорганической химии им. академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова Российской академии наук, г. Пущино. Содержание, уход за животными и экспериментальное моделирование проводили в соответствии с международными европейскими биоэтическими стандартами, российскими этическими стандартами по содержанию и обращению с лабораторными животными, нормами и правилами, указанными в «Политике работы с животными АО «ГЕНЕРИУМ»».

Дизайн исследования. Было сформировано две группы животных: 1-я группа (n=20: 10 самок и 10 самцов) — моделирование каррагинан-индуцированного отека; 2-я группа (n=20: 10 самок и 10 самцов) — моделирование каррагинан-индуцированного отека + внутримышечное введение диклофенака, 25 мг/мл (Немофарм, Сербия), однократно, через минуту после моделирования каррагинан-индуцированного отека, в дозе 3 мг/кг.

Эксперимент состоял из трех этапов: *I этап* — моделирование каррагинан-индуцированного отека; *II этап* — ЛДФ; *III этап* — оценка степени выраженности отека у животных с помощью плетизмометра по изменению объема лапы животного.

I этап. Моделирование каррагинан-индуцированного отека

При воспроизведении модели каррагинан-индуцированного отека в левую заднюю конечность животного субплантарно под подошвенный апоневроз однократно вводили 1% раствор каррагинана (λ Carrageenan plant mucopolysaccharide (SIGMA-ALORICH/

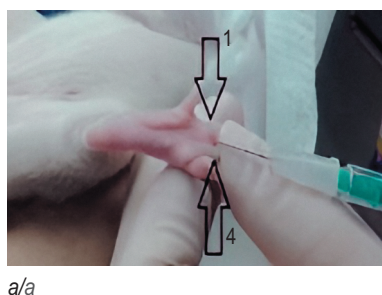


Рис. 1. Моделирование каррагинан-индуцированного отека и оценка микроциркуляции методом лазерной доплеровской флоуметрии: а — введение 1% раствора каррагинана (1 и 4 — подошвенные бугорки); б — лазерная доплеровская флоуметрия (фото авторов)

Fig. 1. Modeling of carrageenan-induced edema and assessment of microcirculation by laser Doppler flowmetry method: а — administration of 1% carrageenan solution (3 and 4 — plantar tubercles); б — laser Doppler flowmetry (photo by the authors)



LOT:1408463V)) в объеме 25 мкл (рис. 1, а). Подготовку 1% раствора каррагинана проводили согласно методике E. Phyllis и соавт. [9].

II этап. Лазерная доплеровская флоуметрия

Тканевую перфузию регистрировали на левой задней конечности животного в области подошвенного апоневроза [10].

ЛДФ выполняли с помощью датчика лазер-доплера TSD145 (BIOPAC Systems Inc, США) и программного обеспечения AcqKnowledge® 4.

Для каждой временной точки измерения проводили трижды в течение минуты у каждого животного и учитывали усредненное значение трех измерений (рис. 1, б).

Схема регистрации лазерной доплеровской флоуметрии

1. Точка «0» — до введения 1% раствора каррагинана.

2. Точки «5 минут», «10 минут», «15 минут», «30 минут», «1 ч» и «3 ч» — через 5, 10, 15, 30 минут, 1 и 3 часа после введения 1% раствора каррагинана.

Измерение «0» выполняли у животных всех экспериментальных групп на задних конечностях. Статистически достоверных различий между левой и правой задними конечностями при этом выявлено не было. Последующую регистрацию ЛДФ проводили на левой задней конечности. В ходе анализа ЛДФ-граммы рассчитывали капиллярный кровоток, характеризующий сохранность микроциркуляции во всех временных точках регистрации тканевой перфузии относительно нормы (точка «0»).

III этап. Оценка степени выраженности отека у животных с помощью плетизмометра по изменению объема лапы животного

Степень выраженности отека у животных оценивали с помощью плетизмометра (Ugo basile biological research apparatus, Italy) по изменению объема левой задней конечности животного, согласно методике C.J. Marris [11].

Объем лапы определяли трижды в каждой временной точке для каждого животного и брали усредненное значение трех измерений.

Схема оценки степени выраженности отека

1. Точка «0» — до введения 1% раствора каррагинана.

2. Точки «1 ч» и «3 ч» — через 1 и 3 часа после введения 1% раствора каррагинана.

Объем конечности в точке «0» оценивали у животных всех экспериментальных групп на задних конечностях. Статистически достоверных различий между левой и правой задними конечностями при этом выявлено не было. Последующую оценку объема проводили на левой задней конечности.

После измерения объема конечностей рассчитывали индекс отека (ИО) по формуле:

$$\text{ИО} = 100 \cdot (V_t - V_0) / V_0,$$

где V_0 , мл — объем лапы до введения 1% раствора каррагинана; V_t , мл — объем лапы спустя 1 час, 3 часа после введения 1% раствора каррагинана.

Статистическая обработка результатов. Полученные в ходе работы данные проверены на нормальность распределения. Статистический анализ включал вычисление среднего значения и стандартного отклонения. Для сравнения значений использовали параметрический показатель — *t*-критерий Стьюдента, так как выборка соответствовала закону нормального распределения. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$. Статистическую обработку данных проводили с применением программного пакета IBM SPSS Statistics (23 v, IBM Corp., США).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам оценки тканевой перфузии в области подошвенного апоневроза у мышей при моделировании каррагинан-индуцированного отека наблюдали статистически значимое снижение микроциркуляции во всех временных точках измерений после введения 1% раствора каррагинана относительно точки «0» у всех групп животных. После инъекции каррагинана у животных всех групп к 5-й минуте наблюдали сохранение микроциркуляции на 10–12%, что характерно для стадии кратковременного спазма сосудов. К 10-й минуте у животных регистрировали резко выраженное усиление капиллярного кровотока — артериальную гиперемию и сохранение микроциркуляции на уровне 56% относительно точки «0». На 15-й минуте отмечали состояние венозной гиперемии и сохранение микроциркуляции на уровне 30% исходного. При моделировании каррагинан-индуцированного отека по показателям ЛДФ в точках «5 минут», «10 минут» и «15 минут» не выявлено статистически значимых отличий внутри экспериментальных групп. На точках «30 минут», «1 ч» и «3 ч» при регистрации параметров микроциркуляции наблюдали статистически значимое улучшение кровотока у животных во 2-й экспериментальной группе по сравнению с 1-й группой. В точке «30 минут» в 1-й группе кровоток сохранен на 25%, во 2-й на 36%. В точках «1 ч» и «3 ч» в 1-й группе уровень микроциркуляции составлял 20 и 15% соответственно, во 2-й группе — 45 и 55% соответственно (рис. 2).

По данным плетизмографии в 1-й группе степень выраженности отека экспериментальной конечности по объему на 1–3 ч — 46–51% от точки «0» (пик выраженности отека отмечался на 3 ч — 51%). Во 2-й группе степень выраженности отека на 1–3 ч составляла 36–

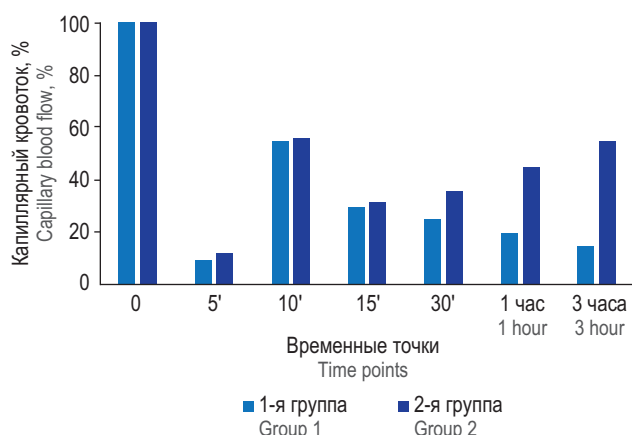


Рис. 2. Динамика изменения капиллярного кровотока (по данным лазерной доплеровской флоуметрии), %. 1-я группа — 1% раствор каррагинана; 2-я группа — 1% раствор каррагинана + диклофенак в дозе 3 мг/кг (рисунок авторов данной статьи)

Fig. 2. Dynamics of changes in capillary blood flow (according to laser Doppler flowmetry data), %. Group 1 — 1% carrageenan solution; Group 2 — 1% solution of carrageenan + Diclofenac, 3 mg/kg (figure by the authors of this article)

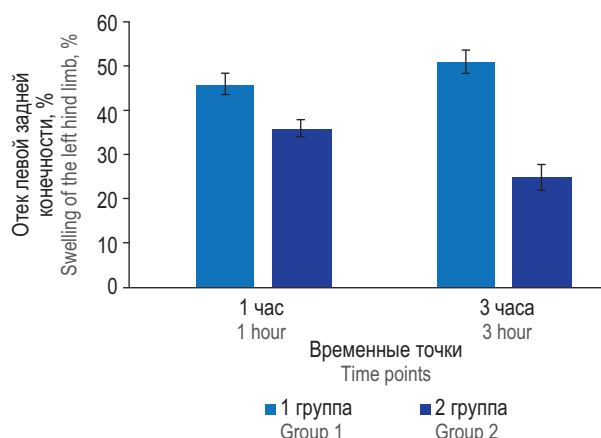


Рис. 3. Степень выраженности отека левой задней конечности (по объему; по данным плетизмографии), %. 1-я группа — 1% раствор каррагинана; 2-я группа — 1% раствор каррагинана + диклофенак в дозе 3 мг/кг (рисунок авторов данной статьи)

Fig. 3. The severity of edema of the left hind limb (by volume; according to plethysmography), %. Group 1 — 1% carrageenan solution; Group 2 — 1% solution of carrageenan + Diclofenac, 3 mg/kg (figure by the authors of this article)

25% нормы (пик выраженности отека зафиксирован на 1 ч — 36%) (рис. 3).

По результатам корреляционного анализа установлено, что степень восстановления кровотока и выраженность отека коррелируют между собой (коэффициент корреляции — 96%).

В представленных в литературе исследованиях, посвященных моделированию каррагинан-индуцированного отека, максимальный отек лап у мышей после

индукции каррагинана наблюдался через 3–5 часов и составлял 41% исходного объема лапы согласно плетизмографическому методу [9]. Метод плетизмографии широко используется и является точным, однако не позволяет определить состояние микроциркуляции в данной модели, что в ряде исследований служит основным критерием для оценки противовоспалительных свойств лекарственных препаратов. Кроме плетизмографии, степень выраженности отека оценивают при помощи метода ампутации лап, однако по результатам данного метода возможно получение данных от одного животного только в одной точке и технически его затруднительно применить на мышах [12]. В настоящее время, согласно литературным источникам, для определения степени воспаления в тканях в экспериментальных моделях, таких как кожно-нейрогенное воспаление [6, 7, 13], псориатический артрит [12], наиболее перспективной диагностикой является оценка состояния микроциркуляции. В основе данного метода лежит оценка микроциркуляции у крыс в области подошвенного апоневроза с использованием ЛДФ. Данный метод позволяет не только выявить индивидуальную изменчивость микроциркуляции, но и исследовать механизмы ее регуляции [4, 13].

Таким образом, оценка микроциркуляции ЛДФ в модели каррагинан-индуцированного отека у мышей для определения степени воспаления в динамике — достаточно перспективный метод. ЛДФ в данной модели в сопоставлении с методом плетизмографии позволяет прижизненно и в динамике оценить состояние микроциркуляции, составить предварительное представление об эффективности начала терапии для разработки противовоспалительных препаратов. При этом наблюдается высокий уровень корреляции между данными, полученными при использовании ЛДФ и плетизмометра (основной метод для оценки степени выраженности отека у биологических тест-систем).

ВЫВОДЫ

Таким образом, по результатам исследования у мышей в модели каррагинан-индуцированного отека выполнены оценка в динамике тканевого кровотока методом ЛДФ и сопоставление полученных данных с показателями плетизмографии.

Установлено, что ЛДФ:

- 1) дает возможность с высокой корреляцией между данными оценить состояние микроциркуляции на разных стадиях развития каррагинан-индуцированного отека;
- 2) характеризуется высокой точностью и чувствительностью, что позволяет определить изменения в микроциркуляции кровотока на ранних этапах, до «визуального» проявления отека.

Исходя из вышеописанного, данный метод может быть использован в доклинической практике при



оценке терапевтического воздействия разрабатываемых препаратов, влияющих на регионарное кровообращение и микроциркуляцию, в том числе и с учетом возможности ранней диагностики.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Е.В. Белянина — разработка концепции исследования, проведение экспериментального исследования, анализ полученных результатов, написание исходного текста статьи; А.А. Овсепян — консультация по концепции исследования, научное редактирование текста статьи; М.С. Аксенова — статистическая обработка результатов; Ю.В. Ишкова, Ю.С. Арилина, В.Н. Гаранова — ассистирование при проведении экспериментального исследования; Н.В. Бельская — научное и техническое редактирование текста статьи; М.В. Лыков — консультация по концепции исследования, научное и техническое редактирование статьи.

Все авторы прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

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

Эксперименты с животными проводили в соответствии с международными правилами (Директивой

2010/63/EU Европейского парламента и Совета Европейского союза от 22 сентября 2010 года по охране животных, используемых в научных целях).

ADDITIONAL INFORMATION

Author contribution. E.V. Belyanina — development of the research concept, conducting the experimental study, analysis of the obtained results, writing the original text of the article; A.A. Ovsepyan — consultation on the research concept, scientific editing of the article; M.S. Aksenova — statistical processing of the results; Yu.V. Ishkova, Yu.S. Arilina, V.N. Garanova — assistance in conducting the experimental study; N.V. Belskaya — scientific and technical editing of the article; M.V. Lykov — consultation on the research concept, scientific and technical editing of the article.

All authors read and approved the final version before publication.

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

Experiments with animals were carried out in accordance with international rules (Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of the European Union of September 22, 2010 on the protection of animals used for scientific purposes).

ЛИТЕРАТУРА

1. Калакутский Л.И., Манелис Э.С. Аппаратура и методы клинического мониторинга. Самара: СГАУ; 1999. 360 с.
2. Методы ветеринарной клинической лабораторной диагностики. Кондрахин И.П., ред. М.: КолосС; 2005. 520 с.
3. Конг Хонг Хань, Хазиахметова В.Н., Зиганшина Л.Е. Моделирование воспалительных отеков: взаимозаменяемы ли модели? *Экспериментальная и клиническая фармакология*. 2015;78(7):24–31. EDN: UBIDQB.
4. Кошкин В.М. и др. Исследование микроциркуляции при хронической венозной недостаточности нижних конечностей. В.С. Савельев, ред. М.: Изд-во ГОУ ВПО РГМУ Росздрава; 2006. 25 с.
5. Webster J.G. Medical instrumentation. Application and design. John Wiley & Sons; 2009. 675 p.
6. Фетодов А.А., Акулов С.А. Измерительные преобразователи биомедицинских сигналов систем клинического мониторинга. М.: Радио и связь; 2013. 250 с.
7. Чуюн Е.Н., Ананченко М.Н. Индивидуально-типологический подход к исследованию процессов микроциркуляции крови. *Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия: Биология. Химия*. 2009;22(3):159–173. EDN: VKWMXB.
8. Committee for the Update of the Guide for the Care and Use of Laboratory Animals. 8th Edition. National Research Council; 2010. 248 p.
9. Whiteley P.E., Dalrymple S.A. Models of inflammation: carrageenan-induced paw edema in the rat. *Curr Protoc*

Pharmacol. 1998;5.4.1.-5.4.3. URL: <https://www.sci-hub.ru/10.1002/0471141755.ph0504s00> (accessed: 06.01.2026).

10. Lin Q., Wu J., Willis W.D. Dorsal Root reflexes and cutaneous neurogenic inflammation after intradermal injection of capsaicin in Rats. *Neurogenic Inflammation Mediated by DRRS*. 1999;85(2):2602–2611.
11. Marris C.J. Carrageenan-induced paw edema in the rat and mouse. *Methods Mol Biol.* 2003;225:115–121. <https://doi.org/10.1385/1-59259-374-7:115>.
12. Шишкин А.Н., Николаева А.А. Особенности микроциркуляции при псориатическом артрите. *Региональное кровообращение и микроциркуляция*. 2021;20(3):11–17. <https://doi.org/10.24884/1682-6655-2021-20-3-11-17>. EDN: EDJZHJ.
13. Stefanovska A., Bracic M. Physics of the human cardiovascular system. *Contemporary Physics*. 1999;40(1):31–35.

REFERENCES

1. Kalakutskiy L.I., Manelis E.S. Equipment and methods of clinical monitoring. Samara: SSAU; 1999. 360 p. (In Russ.).
2. Methods of veterinary clinical laboratory diagnostics. Kondrakhin I.P., ed. M.: KolosS; 2005. 520 p. (In Russ.).
3. Kong Hong Han, Khaziakhmetova V.N., Ziganshina L.E. Modeling inflammatory edema: are the models interchangeable. *Experimental and Clinical Pharmacology*. 2015;78(7):24–31. (In Russ.). EDN: UBIDQB.
4. Koshkin V.M. et al. Study of microcirculation in chronic venous insufficiency of the lower extremities. V.S. Savelyev, ed. Moscow:



- Publishing house of the State Educational Institution of Higher Professional Education of the Russian State Medical University of Roszdrav; 2006. 25 p. (In Russ.).
5. Webster J.G. Medical instrumentation. Application and design. John Wiley & Sons; 2009. 675 p.
 6. Fetodov A.A., Akulov S.A. Measuring transducers of biomedical signals of clinical monitoring systems. Moscow: Radio i svyaz'; 2013. 250 p. (In Russ.).
 7. Chuyan E.N., Ananchenko M.N. Individual-typological approach to the study of blood microcirculation processes. *Uchenye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta im. V.I. Vernadskogo. Seriya: Biologiya. Khimiya*. 2009;22(3):159–173. (In Russ.). EDN: VKWMBX.
 8. Committee for the Update of the Guide for the Care and Use of Laboratory Animals. 8th Edition. National Research Council; 2010. 248 p.
 9. Whiteley P.E., Dalrymple S.A. Models of inflammation: carrageenan-induced paw edema in the rat. *Curr Protoc Pharmacol*. 1998;5.4.1.-5.4.3. URL: <https://www.sci-hub.ru/10.1002/0471141755.ph0504s00> (accessed: 06.01.2026).
 10. Lin Q., Wu J., Willis W.D. Dorsal Root reflexes and cutaneous neurogenic inflammation after intradermal injection of capsaicin in Rats. *Neurogenic Inflammation Mediated by DRRS*. 1999;85(2):2602–2611.
 11. Marris C.J. Carrageenan-induced paw edema in the rat and mouse. *Methods Mol Biol*. 2003;225:115–121. <https://doi.org/10.1385/1-59259-374-7:115>.
 12. Shishkin A.N., Nikolaeva A.A. Features of microcirculation in psoriatic arthritis. Regional Hemodynamics and Microcirculation. 2021;20(3):11–17. (In Russ.). <https://doi.org/10.24884/1682-6655-2021-20-3-11-17>. EDN: EDJZHJ.
 13. Stefanovska A., Bracic M. Physics of the human cardiovascular system. *Contemporary Physics*. 1999;40(1):31–35.

Об авторах

* **Елена Валерьевна Белянина** — к.вет.н., научный сотрудник, Центр доклинических исследований. E-mail: belyanina@ibcgenerium.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1304-9009>; SPIN: 8813-2932

Армен Алексанович Овсепян — старший научный сотрудник, Центр доклинических исследований. E-mail: ovsepyan@ibcgenerium.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0628-5513>; SPIN: 3777-6040

Мария Сергеевна Аксенова — научный сотрудник, Центр доклинических исследований. E-mail: Aksenova@ibcgenerium.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3105-7929>

Юлия Владимировна Ишкова — старший лаборант, Центр доклинических исследований. E-mail: u.ishkova@generium.ru; <https://orcid.org/0009-0006-3863-7834>

Юлия Сергеевна Арилина — старший лаборант, Центр доклинических исследований. E-mail: arilina@ibcgenerium.ru; <https://orcid.org/0009-0000-6125-4686>

Виктория Николаевна Гаранова — старший лаборант, Центр доклинических исследований. E-mail: Garanova@ibcgenerium.ru; <https://orcid.org/0009-0009-2191-2360>; SPIN: 4677-3691

Наталья Витальевна Бельская — д.м.н., заместитель руководителя, Центр доклинических исследований. E-mail: nvbelskaya@generium.ru; <https://orcid.org/0009-0003-6359-8839>; SPIN: 2168-3093

Максим Валерьевич Лыков — к.м.н., руководитель Центра доклинических исследований. E-mail: Lykov@ibcgenerium.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5740-6664>; SPIN: 1699-7425

* Автор, ответственный за переписку.
Corresponding author.

Authors' info

* **Elena V. Belyanina** — Cand. Sci. (Veterinary), Researcher, Center for Preclinical Research. E-mail: belyanina@ibcgenerium.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1304-9009>; SPIN: 8813-2932

Armen A. Ovsepyan — Senior Researcher, Center for Preclinical Research. E-mail: ovsepyan@ibcgenerium.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0628-5513>; SPIN: 3777-6040

Maria S. Aksenova — Researcher, Center for Preclinical Research. E-mail: Aksenova@ibcgenerium.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3105-7929>

Yulia V. Ishkova — Senior Laboratory Assistant, Preclinical Research Center. E-mail: u.ishkova@generium.ru; <https://orcid.org/0009-0006-3863-7834>

Yulia S. Arinina — Senior Laboratory Assistant, Preclinical Research Center. E-mail: arilina@ibcgenerium.ru; <https://orcid.org/0009-0000-6125-4686>

Victoria N. Garanova — Senior Laboratory Assistant, Preclinical Research Center. E-mail: Garanova@ibcgenerium.ru; <https://orcid.org/0009-0009-2191-2360>; SPIN: 4677-3691

Natalia V. Belskaya — Dr. Sci. (Med.), Deputy Head, Center for Preclinical Research Center. E-mail: nvbelskaya@generium.ru; <https://orcid.org/0009-0003-6359-8839>; SPIN: 2168-3093

Maxim V. Lykov — Cand. Sci. (Med.), Head of the Preclinical Research Center. E-mail: Lykov@ibcgenerium.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5740-6664>; SPIN: 1699-7425