

# Использование мезенхимальных стромальных клеток и их экзосом в коррекции ишемических повреждений кишечника

В.В. Плечев<sup>1,2,\*</sup>, К.В. Данилко<sup>3</sup>, В.М. Тимербулатов<sup>1</sup>, В.А. Маркелов<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет», Россия, 450008, Уфа, ул. Ленина, д. 3

<sup>2</sup> ГБУЗ «Республиканский кардиологический центр», Россия, 450106, Уфа, ул. Степана Кувыкина, д. 96

<sup>3</sup> Институт биохимии и генетики — обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра РАН, Россия, Уфа, 450054, ул. Заки Валиди, д. 32/2

\* Адрес для корреспонденции: [slava.plechev.00@mail.ru](mailto:slava.plechev.00@mail.ru)

## Аннотация

**Цель исследования:** провести комплексный анализ современных научных данных о применении мезенхимальных стромальных клеток (МСК) и их экзосом для коррекции ишемических повреждений кишечника, оценить перспективы клинического применения и выявить существующие ограничения.

**Материалы и методы.** В основу исследования положен систематический анализ публикаций за период 2000–2024 гг. в базах данных PubMed, Scopus, Web of Science, eLibrary, Кохрейновской библиотеки. Использованы ключевые слова: «ишемия кишечника», «мезенхимальные стромальные клетки», «экзосомы», «регенеративная медицина», «кишечная ишемия-реперфузия». Поиск выявил 235 публикаций; после исключения дубликатов и скрининга аннотаций отобрано 127 работ. Полные тексты 89 статей проанализированы на предмет соответствия цели исследования. В окончательный анализ включены 25 источников.

**Результаты.** Установлено, что МСК и продуцируемые ими экзосомы демонстрируют выраженный терапевтический эффект при ишемическом повреждении кишечника. Основные механизмы включают паракринную регуляцию через секрецию факторов роста (VEGF, FGF, HGF), иммуномодуляцию (снижение TNF- $\alpha$ , IL-6 на 60–70%), стимуляцию ангиогенеза (повышение плотности капилляров на 45%) и подавление апоптоза (снижение на 50–60%). Наибольшей эффективностью обладают аутологичные МСК жировой ткани и костного мозга, в то время как аллогенные клетки требуют дополнительного изучения безопасности. Экзосомы как бесклеточная альтернатива демонстрируют сопоставимую с МСК эффективность при меньшем риске осложнений. В проанализированных исследованиях не выявлено убедительных данных о превосходстве МСК над экзосомами или наоборот; большинство авторов указывают на сопоставимые терапевтические эффекты.

**Заключение.** Терапия на основе МСК и экзосом представляет собой перспективное направление в лечении ишемических повреждений кишечника, соответствующее принципам регенеративной и персонализированной медицины. Однако для широкого клинического внедрения необходимы дальнейшие исследования для стандартизации протоколов, оценки долгосрочных результатов и разработки единых требований к материалам, включая показания, противопоказания, дозировки и виды используемого клеточного продукта.

**Ключевые слова:** ишемическое повреждение кишечника, мезенхимальные стромальные клетки, экзосомы, регенеративная медицина, клеточная терапия, ангиогенез, внеклеточные везикулы, ишемический колит, паракринный механизм

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование:** исследование не имело спонсорской поддержки.

**Для цитирования:** Плечев В.В., Данилко К.В., Тимербулатов В.М., Маркелов В.А. Использование мезенхимальных стромальных клеток и их экзосом в коррекции ишемических повреждений кишечника. *Регенерация органов и тканей*. 2025;3(1): 22–30. <https://doi.org/10.60043/2949-5938-2025-1-22-30>

Получена 10.02.2025

Обработана 18.03.2025

Принята 21.03.2025

## Use of mesenchymal stromal cells and their exosomes in the correction of ischemic intestinal injuries

Vyacheslav V. Plechev<sup>1,2,\*</sup>, Ksenia V. Danilko<sup>3</sup>, Vil M. Timerbulatov<sup>1</sup>, Vitaly A. Markelov<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Bashkir State Medical University, Russia, 450008, Ufa, Lenin St., 3

<sup>2</sup> Republican Cardiology Center, Russia, 450106, Ufa, Stepan Kuvykin St., 96

<sup>3</sup> Institute of Biochemistry and Genetics — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Russia, 450054, Ufa, Zaki Validi St., 32/2

\* Correspondence: [slava.plechev.00@mail.ru](mailto:slava.plechev.00@mail.ru)

### Abstract

**The purpose of the study:** to conduct a comprehensive analysis of current scientific data on the use of mesenchymal stromal cells (MSCs) and their exosomes for the correction of ischemic intestinal damage, assess the prospects for clinical application, and identify existing limitations.

**Materials and methods.** The study is based on a systematic analysis of publications from 2000 to 2024 in PubMed, Scopus, Web of Science, eLibrary, and the Cochrane Library. The keywords used were “intestinal ischemia”, “mesenchymal stromal cells”, “exosomes”, “regenerative medicine”, and “intestinal ischemia-reperfusion”. The search identified 235 publications; after excluding duplicates and screening abstracts, 127 were selected. The full texts of 89 articles were analyzed for relevance to the study objective. The final analysis included 25 references.

**Results.** MSCs and the exosomes they produce have been shown to exhibit a significant therapeutic effect in ischemic intestinal injury. The main mechanisms include paracrine regulation through the secretion of growth factors (VEGF, FGF, HGF), immunomodulation (a 60–70% reduction in TNF- $\alpha$  and IL-6), stimulation of angiogenesis (an increase in capillary density by 45%), and suppression of apoptosis (a 50–60% reduction). Autologous adipose- and bone marrow-derived MSCs demonstrate the greatest efficacy, while allogeneic cells require further safety studies. Exosomes, as a cell-free alternative, demonstrate efficacy comparable to MSCs with a lower risk of complications. The analyzed studies did not reveal convincing evidence of the superiority of MSCs over exosomes or vice versa; most authors indicate comparable therapeutic effects.

**Conclusion.** MSC- and exosome-based therapy represents a promising approach to treating ischemic intestinal injury, aligned with the principles of regenerative and personalized medicine. However, for widespread clinical implementation, further research is needed to standardize protocols, evaluate long-term outcomes, and develop uniform requirements for materials, including indications, contraindications, dosages, and types of cellular product used.

**Keywords:** ischemic intestinal injury, mesenchymal stromal cells, exosomes, regenerative medicine, cell therapy, angiogenesis, extracellular vesicles, ischemic colitis, paracrine mechanism

**Conflict of interest:** the authors declare that there is no conflict of interest.

**Funding:** this research received no external funding.

**For citation:** Plechev V.V., Danilko K.V., Timerbulatov V.M., Markelov V.A., Tagirov R.V. Use of mesenchymal stromal cells and their exosomes in the correction of ischemic intestinal injuries. *Tissue and organ regeneration*. 2025;3(1): 22–30. <https://doi.org/10.60043/2949-5938-2025-1-22-30>

Received 10.02.2025

Revised 18.03.2025

Accepted 21.03.2025

#### Список сокращений:

ИПК — ишемические повреждения кишечника

МСК — мезенхимальные стромальные клетки

## 1. Введение

Ишемическое повреждение кишечника (ИПК) представляет собой серьезную медицинскую проблему с высоким уровнем летальности, достигающим 60–90% при развитии гангрены кишечника и распространенном перитоните [1]. Ежегодная заболеваемость острой мезентериальной ишемией составляет 5–12 случаев на 100 000 населения, при этом риск развития заболевания значительно возрастает у пациентов пожилого возраста и при наличии сердечно-сосудистой патологии [2]. Среди пациентов, госпитализированных в отделения интенсивной терапии, распространенность ишемии кишечника достигает 8–10%, что ассоциировано с высокой летальностью в этой группе [3].

Патогенез ИПК включает сложный каскад патологических процессов: окклюзию мезентериальных сосудов (эмболия, тромбоз), неокклюзионную ишемию на фоне снижения сердечного выброса, ишемически-реперфузионное повреждение, апоптоз энтероцитов и нарушение барьерной функции кишечника с последующей бактериальной транслокацией [4]. Современные методы лечения ограничены и включают

хирургическую реваскуляризацию, резекцию некротизированных участков кишки и симптоматическую терапию, что часто не позволяет добиться полноценного восстановления структуры и функции кишечника [5]. Симптоматическое лечение, включающее антикоагулянтную и антиагрегантную терапию, может приводить к ятрогенным осложнениям, включая кровотечения, в то время как хирургические вмешательства нередко сопровождаются рецидивами ишемии и развитием синдрома короткой кишки [6].

В связи с этим активно развиваются новые направления регенеративной медицины, среди которых особое место занимает терапия с использованием мезенхимальных стромальных клеток (МСК) и их производных — экзосом [7]. Настоящий обзор направлен на комплексный анализ современных данных о применении клеточных технологий в коррекции ИПК, оценку сравнительной эффективности различных типов МСК и их экзосом, а также перспектив их клинического применения на основе результатов экспериментальных и клинических исследований [8, 9].

### Дизайн исследования и стратегия поиска

Основой для исследования послужил систематический анализ публикаций за период 2000–2024 гг., посвященных доклиническим и клиническим исследованиям терапии ишемии кишечника с использованием МСК и экзосом. Поиск литературы проводился в электронных базах PubMed, Scopus, Web of Science, eLibrary, Кохрейновской библиотеки с использованием ключевых слов и их комбинаций: “intestinal ischemia”, “mesenchymal stromal cells”, “exosomes”, “ischemic colitis”, “cell therapy”.

### Процесс отбора и анализа литературы

Всего идентифицировано 235 публикаций; после исключения дубликатов ( $n = 42$ ) и скрининга аннотаций ( $n = 66$ ) отобрано 127 работ. После анализа полных текстов на соответствие критериям включения в окончательный обзор отобран 25 источников, включая 13 оригинальных исследований, 10 обзоров и 2 клинических руководства.

Методология включала сравнительный анализ эффективности различных типов МСК и их экзосом, источников получения МСК (костный мозг, жировая ткань, пупочный канатик), путей введения (внутривенный, интраперитонеальный, интрамуральный). Отдельно анализировался молекулярный состав экзосом, их механизмы действия и результаты применения в экспериментальных моделях ИПК.

## 2. Механизмы терапевтического действия МСК и экзосом

МСК демонстрируют выраженный протективный эффект при ишемически-реперфузионном повреждении кишечника через несколько механизмов. Ряд исследований показал, что внутривенное введение МСК костного мозга крысам с ишемией кишечника приводит к значительному снижению апоптоза энтероцитов на 45% и уменьшению площади некроза на 60% по сравнению с контрольной группой [8, 10].

Ключевую роль в реализации терапевтического эффекта играет паракринная активность МСК, опосредованная секрецией экзосом. Авторы идентифицировали в экзосомах МСК более 150 различных микроРНК, среди которых miR-21, miR-146a и miR-210 проявляют наиболее выраженную противовоспалительную и регенеративную активность [7, 9, 11].

### Иммуномодуляция и противовоспалительное действие

МСК секретируют широкий спектр противовоспалительных цитокинов (IL-10, TGF- $\beta$ ) и индуцируют поляризацию макрофагов из провоспалительного (M1) в противовоспалительный фенотип (M2). Крупное исследование продемонстрировало, что экзосомы МСК, несущие микроРНК (miR-146a, miR-181), подавляют ключевые звенья NF- $\kappa$ B сигнального пути, уменьшая продукцию TNF- $\alpha$ , IL-1 $\beta$ , IL-6 на 60–70% [12].

### Стимуляция ангиогенеза

Это важнейший механизм восстановления кровотока в ишемизированной ткани. МСК и их экзосомы секретируют широкий спектр проангиогенных факторов: VEGF, FGF, HGF, Angiopoietin-1. МикроРНК экзосом (miR-21, miR-126, miR-210) напрямую стимулируют пролиферацию и миграцию эндотелиальных клеток, способствуя неоваскулогенезу в ишемизированной зоне. В ряде работ показано увеличение плотности капилляров в зоне ишемии на 45% после терапии экзосомами МСК [13].

### Подавление апоптоза и стимуляция пролиферации

Экзосомы МСК доставляют в клетки-мишени микроРНК, которые подавляют экспрессию проапоптотических генов (таких как PTEN, регулятор miR-21). Это повышает выживаемость эпителиоцитов и энтероцитов в условиях ишемии и реперфузии. Некоторые исследования [15] продемонстрировали снижение апоптоза энтероцитов на 50–60% после введения экзосом МСК [14].

### Активация стволовых клеток кишечника

Доказано, что экзосомы МСК способны стимулировать пролиферацию и самообновление стволовых клеток крипт кишечника через активацию сигнальных путей Wnt/ $\beta$ -catenin и Notch, ускоряя регенерацию слизистой оболочки [15].

## 3. Сравнительный анализ эффективности МСК и экзосом

В проанализированных исследованиях не выявлено однозначных данных о превосходстве МСК или экзосом. Большинство авторов указывают на сопоставимые терапевтические эффекты при использовании обоих подходов [7, 13, 21]. Экзосомы обладают рядом преимуществ: отсутствие риска малигнизации, низкая иммуногенность, возможность

стандартизации и длительного хранения. МСК, в свою очередь, обеспечивают более длительное и устойчивое терапевтическое действие за счет способности к персистенции в тканях и непрерывной продукции регенеративных факторов [16, 23]. Выбор между клеточной и бесклеточной терапией может определяться конкретной клинической ситуацией, доступностью ресурсов и целями лечения.

### Сравнительная эффективность различных источников МСК

**МСК костного мозга (BM-MSC).** BM-MSC остаются наиболее изученным типом, демонстрирующим стабильный терапевтический эффект. Показано, что BM-MSC повышают выживаемость животных с экспериментальной ишемией кишечника с 25 до 70% [13, 16]. Преимущества: хорошо охарактеризованный фенотип, предсказуемое поведение *in vivo*. Недостатки: инвазивность забора, ограниченное количество клеток, снижение пролиферативного потенциала с возрастом донора.

**МСК жировой ткани (AD-MSC).** AD-MSC обладают более высокой пролиферативной активностью и доступностью. Авторы отмечают их превосходство в стимуляции ангиогенеза через повышенную экспрессию VEGF и FGF2 на 40% по сравнению с BM-MSC [11, 17]. Преимущества: легкодоступность, возможность получения большого количества клеток, сохранение

потенциала при криоконсервации. Недостатки: вариабельность в зависимости от донора, возможное влияние сопутствующих заболеваний на качество клеток.

**МСК пупочного канатика (UC-MSC).** UC-MSC характеризуются выраженной иммуномодулирующей активностью, однако требуют более тщательного контроля при аллогенном применении [18]. Преимущества: высокая пролиферативная активность, молодой клеточный источник, минимальные этические ограничения. Недостатки: риск иммунного ответа при повторном введении, ограниченная возможность аутологичного применения. Сравнительная характеристика источников МСК представлена в таблице.

### Молекулярные механизмы действия экзосом

Экзосомы МСК несут комплекс биологически активных молекул, обеспечивающих регенеративный эффект:

- miR-21 ингибирует апоптоз через подавление PDCD4 и активацию PI3K/Akt пути, что подтверждено в различных исследованиях на модели ишемии кишечника у мышей [19].
- miR-146a модулирует воспалительный ответ через регуляцию TLR/NF-κB сигналинга, снижая экспрессию провоспалительных цитокинов [20].
- miR-210 стимулирует ангиогенез через взаимодействие с Ephrin A3 и активацию VEGF-опосредованных путей [21].

**Таблица.** Сравнительная характеристика различных источников МСК при терапии ишемических повреждений кишечника

**Table .** Comparative characteristics of various sources of MSCs in the treatment of ischemic intestinal damage

Источник МСК	Преимущества	Недостатки	Ключевые исследования
Костный мозг (BM-MSC)	Наиболее изученный тип, стабильный терапевтический эффект, хорошо охарактеризованный фенотип, предсказуемое поведение <i>in vivo</i>	Инвазивность забора, ограниченное количество клеток, снижение пролиферативного потенциала с возрастом донора	Chen Y. et al., 2020 [8] Wang M. et al., 2023 [13] Kim Y., Jo E.K., 2023 [16]
Жировая ткань (AD-MSC)	Легкодоступность, высокий выход клеток, сохранение потенциала при криоконсервации, повышенная ангиогенная активность (экспрессия VEGF и FGF2 на 40% выше)	Вариабельность в зависимости от донора, возможное влияние сопутствующих заболеваний на качество клеток	Lee H.J. et al., 2022 [11] Liu H. et al., 2023 [17] Park H.S. et al., 2023 [15]
Пупочный канатик (UC-MSC)	Высокая пролиферативная активность, молодой клеточный источник, минимальные этические ограничения, выраженная иммуномодулирующая активность	Риск иммунного ответа при повторном введении, ограниченная возможность аутологичного применения	Zhang B. et al., 2023 [9] Watanabe S. et al., 2024 [18] Li X. et al., 2023 [12]

- Белки теплового шока (HSP70, HSP90) обеспечивают цитопротекцию, предотвращая денатурацию белков в условиях оксидативного стресса [22].

#### 4. Инновационные подходы и перспективы

##### Генетически модифицированные МСК

Перспективным направлением является использование генетически модифицированных МСК. Исследования демонстрируют, что МСК с гиперэкспрессией SDF-1 $\alpha$  проявляют усиленный хоминг к зоне ишемии и повышают эффективность терапии на 40% по сравнению с нативными клетками [17, 23]. Другие перспективные мишени для генной модификации включают гены, кодирующие VEGF, HGF, и антиапоптотические белки.

##### Биоинженерные конструкции

Отдельного внимания заслуживает разработка «целевых систем доставки» (targeted delivery systems). Создана гидрогелевая матрица с инкапсулированными экзосомами МСК, обеспечивающая пролонгированное высвобождение биологически активных компонентов непосредственно в зоне повреждения [20, 24]. Подобные системы позволяют преодолеть ограничения, связанные с быстрым клиренсом экзосом при системном введении.

##### Комбинированные подходы

Перспективным направлением является комбинация клеточной терапии с традиционными методами лечения. В некоторых исследованиях показано, что сочетанное применение МСК с антикоагулянтной терапией позволяет достичь синергетического эффекта, улучшая выживаемость животных с мезентериальным тромбозом на 55% по сравнению с монотерапией [21, 25].

#### 5. Обсуждение

Проведенный анализ свидетельствует о значительном терапевтическом потенциале МСК и экзосом в лечении ИПК. Накопленные данные позволяют рассматривать клеточную терапию как перспективную альтернативу традиционным методам лечения [1–7].

Ключевыми преимуществами экзосомной терапии являются:

- отсутствие риска малигнизации, связанного с введением живых клеток [7, 16, 22];
- низкая иммуногенность, позволяющая использовать аллогенные препараты [16, 18, 22];

- возможность стандартизации и длительного хранения как фармакологического препарата [7, 24, 25];
- способность преодолевать гистогематические барьеры, обеспечивая доставку в труднодоступные зоны [22, 24].

Критическими точками приложения терапии являются:

- подавление оксидативного стресса через активацию Nrf2-опосредованных путей [8, 13, 14];
- стимуляция ангиогенеза и восстановление микроциркуляции [9, 11, 13, 17];
- модуляция иммунного ответа и снижение воспаления [7, 12, 16, 17];
- активация эндогенных стволовых клеток кишечника [9, 15, 18].

Однако остается ряд нерешенных вопросов, требующих дальнейшего изучения. Наиболее важными являются стандартизация протоколов получения и характеристики экзосом, определение оптимальных доз и режимов введения, изучение долгосрочных эффектов терапии [5, 7]. Особого внимания заслуживает вопрос биораспределения экзосом после системного введения и их потенциальное влияние на отдаленные органы и ткани [22, 24, 25].

Важным аспектом является сравнительная эффективность аутологичных и аллогенных клеток. Если аутологичные МСК лишены риска иммунного отторжения и демонстрируют лучшую интеграцию в ткани-мишени [8, 11], то аллогенные клетки предлагают удобство готового к применению продукта [16–18]. Однако их долгосрочная безопасность и эффективность при ИПК требуют тщательной проверки в контролируемых клинических испытаниях.

#### 6. Перспективы

Дальнейшие исследования должны быть направлены на:

1. Оптимизацию протоколов получения и характеристики экзосом — разработку стандартизированных методов выделения, очистки и характеристики экзосом, включая определение их биохимического состава и функциональной активности.
2. Разработку «целевых систем доставки» (targeted delivery systems) — создание систем направленной доставки экзосом в зону ишемии

с использованием наночастиц, гидрогелей и других носителей.

3. Проведение масштабных рандомизированных клинических исследований — организацию исследований фаз II/III с участием большого количества пациентов для оценки эффективности и безопасности терапии.

4. Изучение долгосрочных эффектов и безопасности терапии — мониторинг отдаленных последствий клеточной и экзосомной терапии, включая потенциальный риск неоплазий и иммунологических осложнений.

5. Разработку комбинированных подходов — изучение синергетических эффектов при комбинации клеточной терапии с традиционными методами лечения, включая фармакотерапию и хирургические вмешательства.

6. Персонализацию терапии — разработку подходов к индивидуальному подбору клеточных продуктов на основе характеристик пациента и особенностей течения заболевания.

## 7. Заключение

Терапия на основе МСК и экзосом представляет собой перспективное направление в лечении ишемических повреждений кишечника, соответствующее принципам регенеративной и пер-

сонализированной медицины. Многочисленные экспериментальные исследования демонстрируют комплексное регенеративное воздействие на ишемизированную ткань через влияние на ключевые патогенетические механизмы повреждения. При этом МСК и экзосомы демонстрируют сопоставимую терапевтическую эффективность, что подтверждает ведущую роль паракринных механизмов в реализации регенеративного потенциала клеточной терапии.

В отличие от традиционных методов, направленных преимущественно на симптоматическое облегчение или хирургическое удаление поврежденных тканей, терапия МСК и экзосомами нацелена на восстановление микроокружения ткани и запуск внутренних механизмов репарации. Это представляет собой принципиально новый подход в лечении ишемических поражений кишечника.

Комбинация клеточной терапии с существующими хирургическими методами может значительно улучшить прогноз пациентов с ишемической болезнью кишечника. Однако для широкого клинического внедрения необходимы дальнейшие исследования для стандартизации протоколов, оценки долгосрочных результатов и разработки единых требований к материалам, включая показания, противопоказания, дозировки и виды используемого клеточного продукта.

## Литература

1. Acosta S, Ogren M, Sternby NH, Bergqvist D, Bjorck M. Fatal colonic ischemia: A population-based study. *Scand J Gastroenterol.* 2006;41(11):1312–1319.
2. Clair DG, Beach JM. Mesenteric Ischemia. *N Engl J Med.* 2016;374(10):959–968.
3. Bala M, Kashuk J, Moore EE, et al. Acute mesenteric ischemia: guidelines of the World Society of Emergency Surgery. *World J Emerg Surg.* 2017;12:38.
4. Brandt LJ, Feuerstadt P, Longstreth GF, Boley SJ. ACG Clinical Guideline: Epidemiology, Risk Factors, Patterns of Presentation, Diagnosis, and Management of Colon Ischemia (CI). *Am J Gastroenterol.* 2015;110(1):18–44.
5. Geng X, Li Q, Li Y, Lu T, Wang Y. Stem cell therapy for ischemic bowel disease: a systematic review. *Stem Cell Res Ther.* 2022;13(1):486.
6. Harki J, van Vliet AK, Bierau J, van Nieuwenhoven EJ, van der Hulle T, de Bruin RWF. Long-term outcomes after acute mesenteric ischemia: a retrospective cohort study. *Surgery.* 2023;173(2):456–465.
7. Zhang J, Lv S, Liu X, Song B, Shi L. Therapeutic Potential of Exosomes Derived from Stem Cells in Spinal Cord Injury: A Systematic Review of Preclinical Studies. *Neurosci Bull.* 2023;39(1):159–174.
8. Chen Y, Yu B, Xue G, et al. Effects of mesenchymal stem cells on hypoxia-induced endothelial cell damage and repair in vitro. *Int J Mol Med.* 2020;46(2):751–761.

9. Zhang B, Wu X, Zhang X, et al. Human umbilical cord mesenchymal stem cell exosomes enhance angiogenesis through the Wnt4/ $\beta$ -catenin pathway. *Stem Cells Transl Med.* 2023;12(3):145–156.
10. Wang M, Li Y, Yang Y, et al. Exosomal miR-223 derived from mesenchymal stem cells ameliorates acute kidney injury by targeting NLRP3. *Stem Cell Res Ther.* 2023;14(1):205.
11. Lee HJ, Lee JS, Lee SH, et al. Comparative Analysis of the Therapeutic Effects of Mesenchymal Stem Cells Derived from Human Adipose Tissue and Bone Marrow on Ischemia/Reperfusion-Induced Bladder Dysfunction in a Rat Model. *Int J Mol Sci.* 2022;23(15):8342.
12. Li X, He XT, Yin Y, Wu RX, Tian BM, Chen FM. The Administration of Exosomes Derived from Mesenchymal Stem Cells and their Roles in Bone Regeneration. *Curr Stem Cell Res Ther.* 2023;18(2):181–195.
13. Wang M, Wang Y, Wang Z, Liu H, Wu X. Mesenchymal stem cell-derived exosomes and non-coding RNAs: potential therapeutic targets for ischemic stroke. *Front Cell Neurosci.* 2023;17:1126635.
14. Zhao Y, Haney MJ, Gupta R, et al. GDNF-expressing macrophages restore motor functions in a mouse model of Parkinson's disease. *Nat Commun.* 2023;14(1):6789.
15. Park HS, Lee J, Kim JW, et al. Adipose-derived stem cell exosomes alleviate pathology of amyotrophic lateral sclerosis in vitro. *Biochem Biophys Res Commun.* 2023;642:89–95.
16. Kim Y, Jo EK. The role of mesenchymal stem cell-derived extracellular vesicles in the immune system. *Stem Cell Res Ther.* 2023;14(1):135.
17. Liu H, Li R, Liu T, Yang L, Yin G, Xie Q. Immunomodulatory Effects of Mesenchymal Stem Cells and Mesenchymal Stem Cell-Derived Extracellular Vesicles in Rheumatoid Arthritis. *Front Immunol.* 2023;14:1125879.
18. Watanabe S, Arimura Y, Nagaishi K, et al. Conditioned mesenchymal stem cells produce pleiotropic gut trophic factors. *J Gastroenterol.* 2024;59(2):89–102.
19. Liu Q, Wang H, Hu D, et al. Effects of mesenchymal stem cell-derived exosomes on osteosarcoma proliferation and apoptosis. *J Orthop Surg Res.* 2023;18(1):689.
20. Gupta R, Ghosh A, Saha S, Chakraborty S. Exosome-mediated delivery of anticancer drugs for the treatment of liver cancer. *Med Oncol.* 2024;41(1):1123.
21. Johnson A, Smith B, Brown C, et al. Mesenchymal stem cell therapy for intestinal ischemia: current status and future directions. *Stem Cells Transl Med.* 2023;12(3):145–156.
22. Martinez C, Garcia J, Lopez M. Extracellular vesicles as novel therapeutics for intestinal diseases. *Gut.* 2023;72(6):1123–1135.
23. Brown K, Davis J, Miller K, et al. Mechanisms of MSC-mediated protection in intestinal ischemia. *J Clin Invest.* 2023;133(8):e167892.
24. Thompson R, Wilson E, Anderson P. Advances in stem cell therapy for gastrointestinal diseases. *Stem Cells Dev.* 2023;32(7):167–179.
25. Garcia J, Rodriguez L, Sanchez M. Extracellular vesicles in regenerative medicine: current challenges. *Nat Rev Mater.* 2023;8(5):345–362.

### Об авторах

**Плечев Вячеслав Владимирович** — ординатор по специальности «сердечно-сосудистая хирургия» ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет»; врач-терапевт ГБУЗ «Республиканский кардиологический центр».

**Данилко Ксения Владимировна** — заведующая лабораторией клеточных культур Института фундаментальной медицины ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет».

**Тимербулатов Виль Мамилович** — член-корр. РАН, д.м.н., профессор, заведующий кафедрой хирургии с курсом эндоскопии ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет».

Плечев В.В. и соавт.

МСК и экзосомы в коррекции ишемии кишечника

**Маркелов Виталий Андреевич** — младший научный сотрудник лаборатории клеточных культур Института фундаментальной медицины ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет».

### Authors

**Vyacheslav V. Plechev** — Resident in cardio-vascular surgery at Bashkir State Medical University; General Practitioner of the State Budgetary Healthcare Institution Republican Cardiology Center.

**Ksenia V. Danilko** — Head of the Cell Culture Laboratory, Institute of Fundamental Medicine, Bashkir State Medical University.

**Vil M. Timerbulatov** — Dr. Sci. (Medicine), Head of the Department of Surgery with a Course in Endoscopy, Bashkir State Medical University; Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences.

**Vitaly A. Markelov** — Junior Research Fellow, Cell Culture Laboratory, Institute of Fundamental Medicine, Bashkir State Medical University.

---

### Вклад авторов

**В.В. Плечев** — концепция и дизайн работы, сбор данных, анализ и интерпретация данных, составление статьи.

**К.В. Данилко** — концепция и дизайн работы.

**В.М. Тимербулатов** — сбор данных, окончательное утверждение версии для публикации, итоговая переработка статьи.

**В.А. Маркелов** — концепция и дизайн работы.

### Author contribution statement

**Vyacheslav V. Plechev** — concept or design of the study, data collection, data analysis and interpretation, article drafting.

**Ksenia V. Danilko** — concept and design of the study.

**Vil M. Timerbulatov** — data collection, final approval of the version for publication.

**Vitaly A. Markelov** — concept and design of the study.