https://doi.org/10.26442/00403660.2026.08.203786

BY-NC-SA 4.0

ПЕРЕДОВАЯ СТАТЬЯ

Экзосомы: возможности и перспективы в диагностике и лечении заболеваний органов пищеварения

И.В. Маев[1], М.А. Ливзан[2], О.В. Гаус[✉2]

[1]ФГБОУ ВО «Российский университет медицины» Минздрава России, Москва, Россия;
[2]ФГБОУ ВО «Омский государственный медицинский университет» Минздрава России, Омск, Россия

Аннотация
Экзосомы представляют собой внеклеточные мембранные везикулы диаметром 30–150 нм, секретируемые различными типами клеток во внеклеточную среду и регулирующие многие жизненно важные физиологические процессы, включая передачу сигналов, активацию иммунной системы, пролиферацию, дифференцировку и апоптоз клеток. Результаты многочисленных исследований, проведенных в последние годы, свидетельствуют о ключевой роли экзосом в формировании различных заболеваний пищеварительного тракта, в том числе онкопатологии, что позволяет рассматривать их в качестве потенциально перспективных диагностических биомаркеров. Помимо этого благодаря биосовместимости, способности преодолевать биологические барьеры, низкой токсичности и иммуногенности экзосомы могут быть использованы для таргетной доставки лекарственных препаратов в терапии больных гастроэнтерологического профиля. В обзорной статье систематизированы и представлены сведения об экзосомах, их функции, методах экстракции и обнаружения, а также рассмотрены основные экзосомальные маркеры, демонстрирующие существенный потенциал для диагностики и лечения различных заболеваний органов пищеварения.

Ключевые слова: экзосомы, микроРНК, рефлюкс-эзофагит, хронический гастрит, диспепсия, аутоиммунный гепатит, фиброз печени, хронический панкреатит, воспалительные заболевания кишечника, онкологические заболевания пищеварительного тракта
Для цитирования: Маев И.В., Ливзан М.А., Гаус О.В. Экзосомы: возможности и перспективы в диагностике и лечении заболеваний органов пищеварения. Терапевтический архив. 2026;98(8):432–438. DOI: 10.26442/00403660.2026.08.203786
© ООО «КОНСИЛИУМ МЕДИКУМ», 2026 г.

EDITORIAL ARTICLE

Exosomes: possibilities and prospects in the diagnosis and treatment of digestive diseases

Igor V. Maev[1], Maria A. Livzan[2], Olga V. Gaus[✉2]

[1]Russian University of Medicine, Moscow, Russia;
[2]Omsk State Medical University, Omsk, Russia

Abstract
Exosomes are extracellular membrane vesicles with a diameter of 30–150 nm secreted by various cell types into the extracellular environment and regulating many vital physiological processes, including signaling, immune activation, proliferation, differentiation, and apoptosis. Numerous studies conducted in recent years have demonstrated the key role of exosomes in the development of various gastrointestinal diseases, including cancer, allowing them to be considered as potentially promising diagnostic biomarkers. Furthermore, due to their inherent biocompatibility, ability to overcome biological barriers, low toxicity, and immunogenicity, exosomes can be used for targeted drug delivery in the treatment of patients with gastrointestinal diseases. This review article systematizes and presents information on exosomes, their functions, extraction and detection methods, and examines the main exosomal markers, which demonstrate significant potential for the diagnosis and treatment of various gastrointestinal diseases.

Keywords: exosomes, microRNA, reflux esophagitis, chronic gastritis, dyspepsia, autoimmune hepatitis, liver fibrosis, chronic pancreatitis, inflammatory bowel disease, oncological diseases of the digestive tract
For citation: Maev IV, Livzan MA, Gaus OV. Exosomes: possibilities and prospects in the diagnosis and treatment of digestive diseases. Terapevticheskii Arkhiv (Ter. Arkh.). 2026;98(8):432–438. DOI: 10.26442/00403660.2026.08.203786

Введение

Изучение фундаментальных основ физиологии пищеварительного тракта, механизмов формирования и прогрессирования заболеваний органов пищеварения позволяет уже сегодня разрабатывать и внедрять индивидуализированные программы лечения больного. Одной из наиболее перспективных стратегий предиктивной и персонифицированной курации пациентов гастроэнтерологического профиля следует признать оценку экзосом, выступающих в качестве важных регуляторов межклеточной коммуникации.

В статье систематизированы и представлены сведения об экзосомах, их функции, методах экстракции и обнаружения, а также рассмотрены основные экзосомальные маркеры, демонстрирующие существенный потенциал для диагностики и лечения различных заболеваний пищевари-

Информация об авторах / Information about the authors

✉**Гаус Ольга Владимировна** – д-р мед. наук, доц., проф. каф. факультетской терапии и гастроэнтерологии ФГБОУ ВО ОмГМУ. E-mail: gaus_olga@bk.ru

Маев Игорь Вениаминович – акад. РАН, д-р мед. наук, проф., зав. каф. пропедевтики внутренних болезней и гастроэнтерологии ФГБОУ ВО «Российский университет медицины»

Ливзан Мария Анатольевна – чл.-кор. РАН, д-р мед. наук, проф., зав. каф. факультетской терапии и гастроэнтерологии, ректор ФГБОУ ВО ОмГМУ

✉**Olga V. Gaus.** E-mail: gaus_olga@bk.ru; ORCID: 0000-0001-9370-4768

Igor V. Maev. ORCID: 0000-0001-6114-564X

Maria A. Livzan. ORCID: 0000-0002-6581-7017

тельного тракта. Проведен систематический поиск статей в базах данных PubMed/MEDLINE, Embase и Google Scholar. Для поиска статей использовались комбинации из следующих ключевых слов на основе предметной медицинской рубрики MeSH: «экзосомы», «микроРНК», «рефлюкс-эзофагит», «хронический гастрит», «аутоиммунный гепатит», «фиброз печени», «хронический панкреатит», «воспалительные заболевания кишечника», «онкологические заболевания пищеварительного тракта». Критерии отбора статей для данного обзора сформированы в соответствии с международными рекомендациями, изложенными в стандарте PRISMA [1]. В анализ включались статьи, соответствующие тематике обзора, опубликованные на английском и русском языках в авторитетных и высокорейтинговых изданиях до апреля 2026 г., в том числе оригинальные исследования, систематические обзоры и метаанализы с ясным и корректным описанием методологического подхода, обеспечивающего воспроизводимость и валидность полученных данных. После применения критериев отбора в обзор включено в общей сложности 43 статьи.

Экзосомы: состав, физиологическая роль и биогенез

Внеклеточные везикулы, имеющие фосфолипидную мембрану и высвобождаемые во внеклеточный матрикс, по происхождению и размеру можно классифицировать на экзосомы (30–150 нм), микровезикулы (100 нм – 1 мкм) и апоптотические тельца (50–5000 нм). Богатые различными биологически активными веществами, преимущественно нуклеиновыми кислотами, липидами и белками, внеклеточные везикулы играют важную роль в межклеточной коммуникации и регуляции многих физиологических процессов в организме [2].

Экзосомы – самые маленькие из внеклеточных везикул, изначально обнаружены в ретикулоцитах, а первое подробное описание структуры и способа выделения опубликовано R. Johnstone и соавт. в 1987 г. [3].

Экзосомы состоят из разнообразных компонентов, включая белки, липиды и нуклеиновые кислоты – матричную РНК (mRNA), малые некодирующие молекулы РНК или микроРНК (miRNA), длинные некодирующие РНК (lncRNA) и кольцевые РНК (circRNA). Белковый состав экзосом варьируется в зависимости от типа родительской клетки и может быть представлен различными типами белков. Липидный состав экзосом представлен холестерином, сфинголипидами, фосфатидилхолином, фосфатидилэтаноламином, церамидом и глицерофосфолипидами [4]. Отличительный липидный состав и стабильная мембранная структура экзосом повышают их способность преодолевать биологические барьеры, что делает данные внеклеточные везикулы идеальными кандидатами для использования в качестве носителей в системах доставки лекарственных препаратов.

Биогенез экзосом – строго регулируемый процесс, который начинается с образования ранних эндосом путем внутреннего почкования плазматической мембраны (эндоцитоз) [5]. Ранние эндосомы могут быть рециркулированы обратно к плазматической мембране или созреть в поздние эндосомы. В процессе созревания мембрана эндосом дополнительно инвагинирует, инкапсулируя цитоплазматические компоненты для образования внутрипросветных везикул (ВПВ). Поздние эндосомальные структуры (микровезикулярные тела – МВТ), содержащие множество ВПВ, известны также как мультивезикулярные тела, которые в дальнейшем могут быть направлены в комплекс Гольджи для слияния с лизосомами и деградации или транспортироваться к плазматической мембране, где они высвобождают свои ВПВ в виде экзосом во внеклеточное пространство.

Сегодня известно, что экзосомы являются важными медиаторами межклеточной коммуникации, играют ключевую роль в поддержании гомеостаза в пищеварительном тракте, включая сохранение целостности эпителиального барьера, модуляцию иммунных ответов и регуляцию взаимодействия с микробиотой [4, 6].

Выделение экзосом из биологических жидкостей представляет собой достаточно трудную задачу, методы идентификации предложены Международным обществом внеклеточных везикул в 2018 г. и их условно можно разделить на немикроскопические и микроскопические [7]. К немикроскопическим методам относятся анализ отслеживания наночастиц, динамическое рассеяние света, иммуноферментный анализ и колориметрическое обнаружение, к микроскопическим – флуоресцентное обнаружение, трансмиссионную электронную микроскопию, атомно-силовую микроскопию и микрофлюидные технологии.

Структурные компоненты экзосом, процесс их высвобождения, а также спектр органов пищеварения, при патологии которых экзосомы потенциально могут быть использованы в качестве диагностических биомаркеров и средств таргетной лекарственной терапии, представлены на **рис. 1**.

Диагностическая ценность экзосом при различных заболеваниях пищеварительного тракта

Рефлюкс-эзофагит

На модели хронического рефлюкс-эзофагита у экспериментальных мышей обнаружено повышение содержания сывороточных экзосомальных miR-29a-3p, чего не отмечено в других моделях, включая химическое повреждение пищевода, желудка и толстой кишки [8]. Установлено, что уровень сывороточной экзосомальной miR-29a-3p связан с экспрессией фактора транскрипции E2F1 и сигнального трансдуктора STAT3 в биоптатах слизистой оболочки пищевода. Известно, что E2F1 регулирует функцию генов, связанных с клеточным циклом [9], поэтому повышение его экспрессии может быть ассоциировано с гиперплазией базальных клеток в ответ на повреждение, тогда как гиперэкспрессия STAT3, опосредующего синтез провоспалительных цитокинов [10], может быть ранним предиктором формирования пищевода Барретта при хроническом рефлюкс-эзофагите.

Функциональная диспепсия и хронический гастрит

F. Tanaka и соавт. установили, что у пациентов с функциональной диспепсией и предшествующей инфекцией *Helicobacter pylori* в анамнезе значительно повышена экспрессия hsa-miR-3649 и hsa-miR-202-3p по сравнению с контрольной группой [11]. Согласно базе данных miRDB (https://mirdb.org/) наиболее вероятной мишенью hsa-miR-3649 является релаксин 2 – пептидный гормон, который участвует в регуляции желудочной аккомодации путем повышения активности нейрональной синтазы оксида азота (NO) и, как следствие, продукции NO. Таким образом, повышенная экспрессия hsa-miR-3649 может ингибировать активность релаксина 2, потенциально приводя к снижению активности синтазы NO и синтеза NO, в результате чего снижается расслабление тела и дна желудка в ответ на прием пищи. Эта же группа исследователей

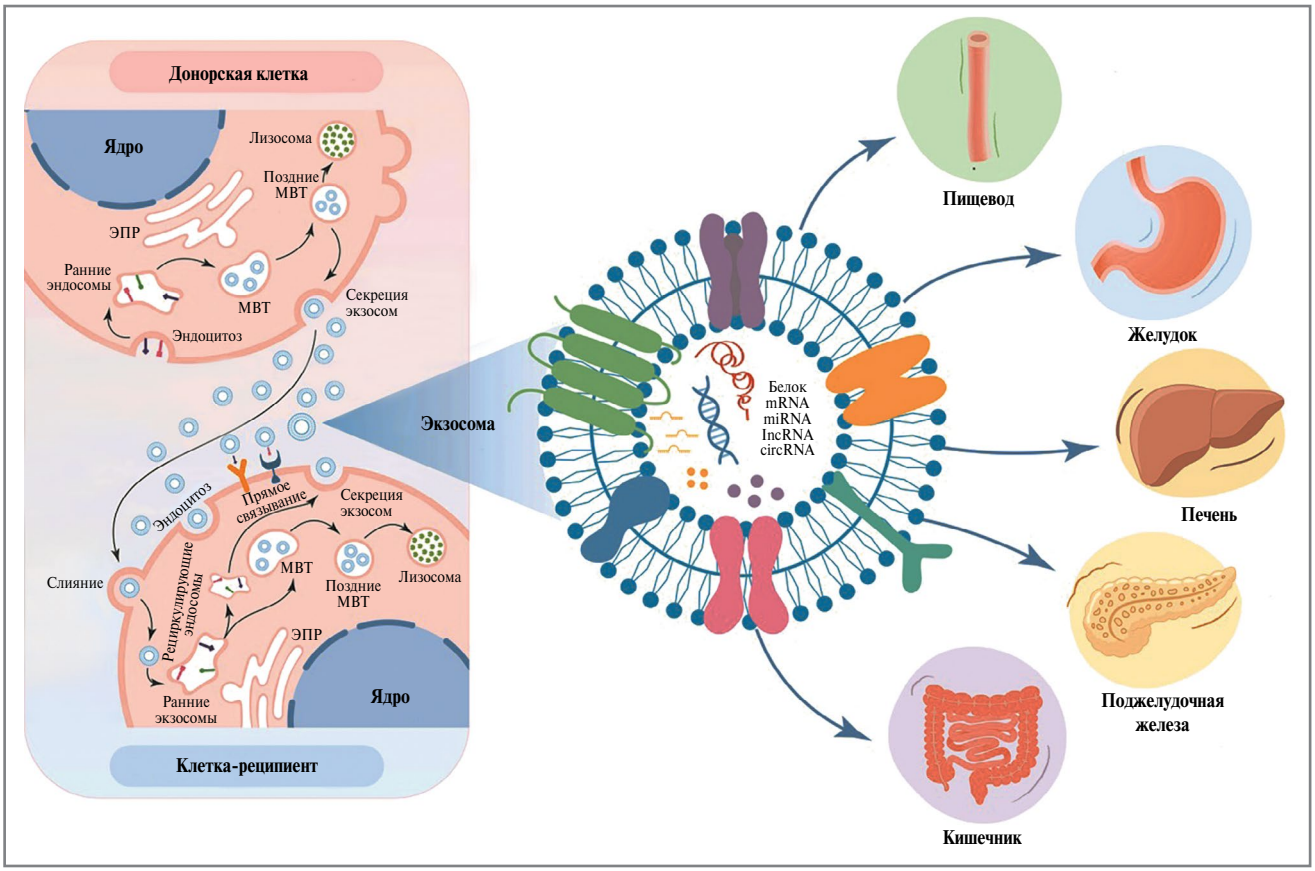

Рис. 1. **Биогенез, структура и возможное клиническое применение экзосом.**

Fig. 1. **Biogenesis, structure and possible clinical application of exosomes.**

сообщила о снижении экспрессии hsa-miR-933 у пациентов с функциональной диспепсией без предшествующей инфекции *H. pylori* по сравнению со здоровыми лицами (p=0,0317) [12]. При этом уровень экспрессии hsa-miR-933 оказался связан с субъективной оценкой диспепсии и отрицательно коррелировал с частотой эпигастральной боли и/или жжения в эпигастрии (p<0,01 и p=0,0280 соответственно). Результаты этих 2 исследований подтвердили наличие различий в профиле экспрессии miRNA у пациентов с перенесенной ранее инфекцией *H. pylori* и у ранее не инфицированных.

Экзосомы, выделенные из сыворотки крови пациентов с хроническим *H. pylori*-ассоциированным гастритом, и некоторые miRNA, в частности miR-155, miR-146a, miR-223-3p, miR-1289, miR-1289, могут модулировать вызванное бактерией воспаление слизистой оболочки желудка и иммунный ответ макроорганизма посредством регуляции экспрессии провоспалительных цитокинов, прежде всего интерлейкина (ИЛ) 1α [13–15], а miR-584 нацелена на ключевой фактор вирулентности *H. pylori* – CagA, снижая его активность, что потенциально может использоваться в терапевтических целях [15].

Благодаря своей высокой стабильности и специфическим профилям экспрессии в различных тканях экзосомальные miRNA рассматриваются как новый класс диагностических биомаркеров прогрессирующего течения хронического гастрита и предраковых состояний. В частности, при хроническом гастрите miR-155 и let-7b регулируют воспаление, в то время как miR-92a-1-5p и miR-296-5p, модулируя сигнальные пути CDX2/FOXD1 и ERK, способствуют развитию кишечной метаплазии [16]. Продемонстрировано, что в условиях инфицирования *H. pylori* miR-155 и let-7b подавляют воспаление в слизистой оболочке желудка посредством снижения продукции провоспалительных цитокинов – фактора некроза опухоли α, ИЛ-6, 23 и ингибирования активности транскрипционного фактора. Полученные результаты открывают перспективы для использования miR-155 и let-7b в качестве таргетных средств профилактики и лечения *H. pylori*-ассоциированного гастрита.

Установлено, что экспрессия сывороточной экзосомальной hsa-miR-122-5p значительно повышена у пациентов с хроническим атрофическим гастритом (ХАГ) и коррелирует с неинвазивными серологическими маркерами атрофии (уровнем гастрина, соотношением пепсиногенов I/II) [17].

F. Zingone и соавт., проанализировав профиль экспрессии 4 miRNA (miR21, miR142, miR223, miR155) у пациентов с ХАГ различной этиологии (аутоиммунным, *H. pylori*-ассоциированным, смешанным), обнаружили повышение miR-21, а также снижение miR-142 и miR-223 среди всех групп больных с предраковыми изменениями слизистой оболочки желудка по сравнению со здоровыми лицами [18]. При этом достоверные различия в зависимости от этиологии обнаружены только для miR223, которая в зависимости от микроокружения или внешних факторов, таких как курение, прием некоторых лекарственных средств, например, антиагрегантов и нестероидных противовоспалительных препаратов и др., может либо играть проонкогенную роль, либо обладать противовоспалительным действием. Так, увеличение экспрессии miR223 оказа-

лось характерным для больных аутоиммунным гастритом в отличие от пациентов с *H. pylori*-ассоциированным ХАГ, при этом достоверных различий в экспрессии каких-либо miRNA среди пациентов с ХАГ аутоиммунной и смешанной этиологии не получено.

Аутоиммунный гепатит и фиброз печени

Известно, что miR-223-3p способна ослаблять воспалительные реакции, а экзосомы, полученные из мезенхимальных стволовых клеток костного мозга, могут выступать в качестве носителей для доставки miRNA в клетки. В экспериментальном исследовании на модели аутоиммунного гепатита обнаружено, что экзосомы мезенхимальных стволовых клеток костного мозга хорошо связывают miR-223-3p и доставляют ее в макрофаги, блокируя высвобождение ИЛ-1β, 6 и изменяя соотношение регуляторных Т-лимфоцитов и Т-хелперов 17 в сторону уменьшения количества последних, тем самым ослабляя воспалительную реакцию в печени [19]. Кроме того, введение экзосомальной miR-223 из мезенхимальных стволовых клеток костного мозга экспериментальным мышам с аутоиммунным гепатитом сопровождалось значительным снижением уровня аминотрансфераз [20]. Эти результаты в целом позволяют предположить, что экзосомы, полученные из мезенхимальных стволовых клеток, могут быть эффективно использованы при лечении аутоиммунного гепатита.

Показано, что экзосомы участвуют в развитии фиброза и цирроза печени и могут стать перспективными неинвазивными диагностическими маркерами и терапевтическими мишенями при хронических гепатитах различной этиологии [21, 22].

Хронический панкреатит

Хронический панкреатит характеризуется прогрессирующим развитием фиброза вследствие избыточного производства коллагена в панкреатических звездчатых клетках (ПЗК), активация которых регулируется фактором роста соединительной ткани CCN2. На мышиной модели алкогольного хронического панкреатита показано, что повышение уровня CCN2 в ПЗК связано с увеличением экспрессии miR-21, которая, в свою очередь, способна дополнительно стимулировать продукцию CCN2 [23]. Кроме того, miR-21 и CCN2 обнаружены в экзосомах из активированных ПЗК, что позволило сделать вывод о важной роли последних в прогрессировании хронического панкреатита и возможности их применения в терапии заболевания.

Воспалительные заболевания кишечника

Экспериментальные данные о том, что экзосомы из разных источников, включая мезенхимальные стволовые клетки пуповины человека (hucMSCs), дендритные клетки и макрофаги, могут ингибировать экспрессию ИЛ-17, фактора некроза опухоли α, ИЛ-1β, 6 и других провоспалительных цитокинов в слизистой оболочке толстой кишки [24], позволили выдвинуть предположение о возможных новых перспективах в диагностике и лечении больных воспалительными заболеваниями кишечника (ВЗК).

В настоящее время установлено, что пациенты с ВЗК имеют измененные паттерны экспрессии miRNA, в том числе в зависимости от фенотипа заболевания (язвенный колит, болезнь Крона). Однако важное значение имеет не столько дифференциальная экспрессия конкретных miRNA, сколько их взаимодействие с мишенями, что зависит от микроокружения, локализации и активности патологического процесса. Несмотря на широкую гетерогенность результатов проведенных клинических исследований, R. Yarani и соавт. описали 66 miRNA, обладающих существенным диагностическим и терапевтическим потенциалом при ВЗК [25]. Среди выявленных кандидатов наибольший интерес представляет miR-223-3p, которая значительно различается по уровню экспрессии при язвенном колите и болезни Крона как непосредственно в биоптатах слизистой оболочки, так и в сыворотке крови, поэтому может рассматриваться на роль надежного биомаркера ВЗК. Показано, что miR-223-3p участвует в активации макрофагов, регулирует экспрессию TLR4 и белка клаудина CLDN8, а также активность инфламмасомы NLRP3 [26].

Злокачественные новообразования органов пищеварения

Рак пищевода

Плоскоклеточный рак пищевода (ПКРП) – агрессивное злокачественное новообразование, часто диагностируемое на поздних стадиях, что подчеркивает необходимость его ранней диагностики и поиска специфических биомаркеров. На модели ПКРП показано, что miR-93-5p может транспортироваться между раковыми клетками посредством экзосом, потенциально способствуя их пролиферации через путь фосфатазы и гомолога тензина/фосфатидилинозитол-3-киназы/протеинкиназы B [27].

В ряде работ отмечено, что экзосомальные miRNA могут не только в выступать качестве диагностических биомаркеров, но также определять прогноз пациента и стать перспективной мишенью для терапии ПКРП [28]. Так, повышение содержания экзосомальной miR-21 в сыворотке крови у пациентов с ПКРП ассоциировано с прогрессированием опухоли и неблагоприятным прогнозом. Напротив, экзосомальная miR-375, полученная из hucMSCs, ингибировала экспрессию гомолога Enable из группы Ena/вазодилататор-стимулированных фосфопротеинов, известного также как белок Mena, посредством чего тормозила пролиферацию, инвазию и миграцию клеток ПКРП.

Сывороточные экзосомальные miRNA могут стать также потенциальными биомаркерами аденокарциномы пищевода [29].

Рак желудка

Согласно данным GLOBOCAN рак желудка (РЖ) занимает 5-е место среди наиболее распространенных видов рака в мире и среди причин онкологической смертности [30]. При изучении профиля экспрессии сывороточных miRNA у пациентов с РЖ установлены повышенные уровни miR-19b-3p, miR-106a-5p, miR10b-5p, miR132-3p, miR185-5p, miR195-5p, miR20a-3p и miR296-5p [31]. Группа исследователей под руководством H. Kahroba идентифицировала панель онко-miRNA, включающую экзосомальные miR-10a-5p, miR-19b-3p, miR-215-5p и miR-18a-5p как потенциальные биомаркеры РЖ [32].

Помимо miRNA lncRNA также рассматриваются как потенциальные диагностические биомаркеры РЖ. Сообщается, что экспрессия экзосомальной lncRNA PCSK2-2:1 у пациентов с РЖ значительно ниже, чем в контрольной группе, а диагностическая значимость экзосомальной lncRNA SLC2A12-10:1 в дифференциации пациентов с РЖ от здоровых людей превышает ценность традиционных опухолевых биомаркеров [33]. Описано также значительное повышение уровня экзосомальных lncUEGC1 и lncUEGC2 на ранних стадиях РЖ, при этом экспрессия экзосомальной lncUEGC1 достоверно выше у пациентов с РЖ на I стадии по сравнению с пациентами с ХАГ [34].

Данные результаты позволяют предположить потенциальную роль экзосомальных lncRNA в качестве маркеров для скрининга РЖ и проведения дифференциального диагноза между РЖ и предраковыми изменениями слизистой оболочки желудка.

Рак печени и желчных протоков

Исследования показали многообещающие результаты в отношении возможности использования экзосомальных miRNA в качестве потенциальных биомаркеров для диагностики гепатоцеллюлярной карциномы (ГЦК) и предикции неблагоприятного прогноза, а также плохого ответа на химиотерапию [35].

M. Eldosoky и соавт. показали, что оценка экзосомальных hsa-miR-21-5p, hsa-miR-155-5p и hsa-miR-199a-5p в комплексе с α-фетопротеином позволяет с более высокой чувствительностью и специфичностью, чем при использовании только α-фетопротеина, выявить ГЦК у пациентов с циррозом печени [36]. Более того, авторы сообщили, что соотношение hsa-miR-21-5p/hsa-miR-199a-5p и hsa-miR-155-5p/hsa-miR-199a-5p позволяет дифференцировать ГЦК от цирроза печени (чувствительность 94 и 92% соответственно), а повышение уровня hsa-miR-21-5p в плазме может рассматриваться как независимый фактор риска развития ГЦК у пациентов с циррозом печени: отношение риска 1,198 (1,063–1,329).

Помимо miRNA другие некодирующие РНК также продемонстрировали потенциал в качестве диагностических биомаркеров ГЦК. Например, 16 некодирующих РНК значительно повышены в плазме крови пациентов с ГЦК, среди которых RN7SL1 может эффективно отличать опухолевые образцы от отрицательных контролей (AUC 0,87) [37].

Рак поджелудочной железы

Рак поджелудочной железы (РПЖ) отличается высокоагрессивным характером течения и известен своим крайне неблагоприятным прогнозом. Учитывая его быстрое прогрессирование и неспецифические симптомы, ранняя диагностика имеет первостепенное значение для повышения выживаемости пациентов.

Повышенные уровни экзосомальных miR-4525, miR-451a и miR-21 в портальной венозной крови потенциально могут выступать в качестве ценных биомаркеров для диагностики протоковой аденокарциномы поджелудочной железы и прогнозирования послеоперационного рецидива, а увеличение содержания сывороточных экзосомальных miR-21, miR-210, miR-10b, miR-3976 и miR-1246 – для обнаружения заболевания на ранней стадии [38].

X. He и соавт. идентифицировали 4 плазменных экзосомальных lncRNA (LINC01268, LINC02802, AC124854.1 и AL132657.1), уровень которых значимо повышен у пациентов с РПЖ по сравнению со здоровыми людьми и которые демонстрируют значительный диагностический потенциал, обладая более высокой чувствительностью и специфичностью, чем традиционный биомаркер CA19-9 [39]. S. Melo и соавт. установили высокую специфичность и чувствительность сывороточных экзосом глипикана-1+ (GPC-1+ crExos) для дифференциации пациентов с РПЖ от пациентов с хроническим панкреатитом и здоровых лиц [40]. Показатель AUC для GPC-1+ crExos составил 1,0, что значительно превосходит таковой для CA19-9 (AUC 0,739).

Колоректальный рак

Колоректальный рак (КРР) признан во всем мире 3-м по распространенности злокачественным новообразованием и 2-й ведущей причиной смертности от рака [27]. В работе T. Bakhsh и соавт. выявлено 660 сывороточных miRNA у пациентов с КРР на разных стадиях заболевания, из которых 29 достоверно отличались по уровню экспрессии в сравнении со здоровыми лицами [41].

Установлено, что повышение трех плазменных экзосомальных miRNA (let-7b-3p, miR-139-3p и miR-145-3p) обеспечивает значительное преимущество в идентификации пациентов с КРР (AUC 0,927) [42]. Одновременно с этим Y. Shi и соавт. обнаружили четыре экзосомальные miRNA (miR-126, miR-1290, miR-23a и miR-940) в сыворотке крови пациентов с КРР, которые могут эффективно дифференцировать пациентов на ранней стадии опухолевого процесса от здоровых людей [43].

Заключение

В последние годы роль экзосом в физиологии и патологии органов пищеварения активно изучается. Реализация процессов межклеточной коммуникации, воспаления и канцерогенеза позволяет рассматривать экзосомы в качестве перспективных высокочувствительных маркеров ранней диагностики и мониторинга заболеваний пищеварительного тракта.

Наиболее значимыми, на наш взгляд, являются возможности идентификации различных типов экзосом в качестве прогностических факторов трансформации воспалительного процесса с развитием предраковых изменений слизистой оболочки и формирования когорты пациентов высокого риска рака. Разработка высокоинформативных диагностических систем с определением экзосом, а также реализация их терапевтической возможности позволит в дальнейшем более эффективно управлять течением заболевания, выстраивая персонифицированную траекторию курации пациента.

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

Disclosure of interest. The authors declare that they have no competing interests.

Вклад авторов. Авторы декларируют соответствие своего авторства международным критериям ICMJE. Все авторы в равной степени участвовали в подготовке публикации: разработка концепции статьи, получение и анализ фактических данных, написание и редактирование текста статьи, проверка и утверждение текста статьи.

Authors' contribution. The authors declare the compliance of their authorship according to the international ICMJE criteria. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Источник финансирования. Авторы декларируют отсутствие внешнего финансирования для проведения исследования и публикации статьи.

Funding source. The authors declare that there is no external funding for the exploration and analysis work.

Список сокращений

ВЗК – воспалительные заболевания кишечника
ВПВ – внутрипросветные везикулы
ГЦК – гепатоцеллюлярная карцинома
ИЛ – интерлейкин
КРР – колоректальный рак
МВТ – микровезикулярные тела (поздние эндосомальные структуры)
ПЗК – панкреатические звездчатые клетки
ПКРП – плоскоклеточный рак пищевода
РЖ – рак желудка
РПЖ – рак поджелудочной железы
ХАГ – хронический атрофический гастрит
circRNA – кольцевые РНК
lncRNA – длинные некодирующие РНК
miRNA – малые некодирующие молекулы РНК или микроРНК
mRNA – матричная РНК
NO – оксид азота

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*. 2021;372:n71. DOI:10.1136/bmj.n71
2. Zhang Y, Yue NN, Chen LY, et al. Exosomal biomarkers: A novel frontier in the diagnosis of gastrointestinal cancers. *World J Gastrointest Oncol*. 2025;17(4):103591. DOI:10.4251/wjgo.v17.i4.103591
3. Johnstone RM, Adam M, Hammond JR, et al. Vesicle formation during reticulocyte maturation. Association of plasma membrane activities with released vesicles (exosomes). *J Biol Chem*. 1987;262(19):9412-20.
4. Wellington VNA, Singh S. Role of exosomes in gastrointestinal physiology and pathophysiology. *Front Immunol.* 2026;16:1717977. DOI:10.3389/fimmu.2025.1717977
5. Krylova SV, Feng D. The Machinery of Exosomes: Biogenesis, Release, and Uptake. *Int J Mol Sci*. 2023;24(2):1337. DOI:10.3390/ijms24021337
6. Yu Z, Swift KA, Hedges MA, et al. Microscopic messengers: Extracellular vesicles shaping gastrointestinal health and disease. *Physiol Rep.* 2025;13(7):e70292. DOI:10.14814/phy2.70292
7. Sonbhadra S, Mehak, Pandey LM. Biogenesis, Isolation, and Detection of Exosomes and Their Potential in Therapeutics and Diagnostics. *Biosensors (Basel)*. 2023;13(8):802. DOI:10.3390/bios13080802
8. Uemura R, Murakami Y, Hashimoto A, et al. Expression of Serum Exosomal and Esophageal MicroRNA in Rat Reflux Esophagitis. *Int J Mol Sci.* 2017;18(8):1611. DOI:10.3390/ijms18081611
9. Xu R, Jiang Z, Meng X, et al. Cellular communication network 1 promotes CASP2 mRNA expression but suppresses its protein translation in esophageal adenocarcinoma. *J Cell Commun Signal*. 2024;18(3):e12046. DOI:10.1002/ccs3.12046
10. de Melo Viana TC, Nakamura ET, Park A, et al. Molecular Abnormalities and Carcinogenesis in Barrett's Esophagus: Implications for Cancer Treatment and Prevention. *Genes (Basel)*. 2025;16(3):270. DOI:10.3390/genes16030270
11. Tanaka F, Sawada A, Nishida Y, et al. Exosomal hsa-miR-3649 and hsa-miR-202-3p in Gastric Juice as Potential Biomarkers for Functional Dyspepsia with a Previous Helicobacter pylori Infection. *Intern Med.* 2026;65(8):1090-7. DOI:10.2169/internalmedicine.6047-25
12. Tanaka F, Takashima S, Nadatani Y, et al. Exosomal hsa-miR-933 in Gastric Juice as a Potential Biomarker for Functional Dyspepsia. *Dig Dis Sci*. 2020;65(12):3493-501. DOI:10.1007/s10620-020-06096-7
13. Wang J, Wang X, Luo H, et al. Extracellular vesicles in Helicobacter pylori-mediated diseases: mechanisms and therapeutic potential. *Cell Commun Signal*. 2025;23(1):79. DOI:10.1186/s12964-025-02074-6
14. Alva V, Jain P, Khan K, et al. Helicobacter pylori associated MicroRNA and transcriptional networks in gastric pathogenesis: Exploring the epigenetic dialogue landscape. *Microb Pathog.* 2025;207:107864. DOI:10.1016/j.micpath.2025.107864
15. Sariani OK, Mohamadi M, Gharagheizi Z, et al. MicroRNA-Mediated Regulatory Networks in Helicobacter pylori-Associated Gastric Cancer. *Biochem Res Int.* 2025;2025:6662299. DOI:10.1155/bri/6662299
16. Gao Z, Fu K, Li P, et al. The role of microRNAs in gastritis, intestinal metaplasia, and gastric cancer: a narrative review. *Transl Cancer Res.* 2025;14(12):9063-81. DOI:10.21037/tcr-2025-1-2642
17. Liu N, Huang Y, Liu F, Liu H. Serum exosomal miR-122-5p, GAS, and PGR in the non-invasive diagnosis of CAG. *Open Med (Wars).* 2021;16(1):1350-5. DOI:10.1515/med-2021-0342
18. Zingone F, Pilotto V, Cardin R, et al. Autoimmune Atrophic Gastritis: The Role of miRNA in Relation to Helicobacter Pylori Infection. *Front Immunol.* 2022;13:930989. DOI:10.3389/fimmu.2022.930989
19. Czaja AJ. Epigenetic Aspects and Prospects in Autoimmune Hepatitis. *Front Immunol*. 2022;3:921765. DOI:10.3389/fimmu.2022.921765
20. Ma L, Weng W, Chen J, et al. Bone marrow mesenchymal stem cell-derived exosomes attenuate hepatic stellate cell activation through miR-223-3p-mediated mitophagy. *BMC Med Genomics*. 2025;18:148. DOI:10.1186/s12920-025-02228-y
21. Wang C, Liu J, Yan Y, Tan Y. Role of Exosomes in Chronic Liver Disease Development and Their Potential Clinical Applications. *J Immunol Res*. 2022;2022:1695802. DOI:10.1155/2022/1695802
22. Киселева Я.В., Жариков Ю.О., Масленников Р.В., и др. Молекулярные факторы, ассоциированные с регрессом фиброза печени алкогольной этиологии. *Терапевтический архив*. 2021;93(2):204-20 [Kiseleva YaV, Zharikov YuO, Maslennikov RV, et al. Molecular factors associated with regression of liver fibrosis of alcoholic etiology. *Terapevticheskii Arkhiv (Ter. Arkh.)*. 2021;93(2):204-8 (in Russian)]. DOI:10.26442/00403660.2021.02.200617
23. Patel HR, Diaz Almanzar VM, LaComb JF, et al. The Role of MicroRNAs in Pancreatitis Development and Progression. *Int J Mol Sci.* 2023;24(2):1057. DOI:10.3390/ijms24021057
24. Cao J, Luo R, Miao R, et al. Engineered exosome nanovesicles for delivery of antibodies to treat inflammatory bowel disease. *Nat Commun*. 2026;17(1):2737. DOI:10.1038/s41467-026-69382-4
25. Yarani R, Shojaeian A, Palasca O, et al. Differentially Expressed miRNAs in Ulcerative Colitis and Crohn's Disease. *Front Immunol.* 2022;13:865777. DOI:10.3389/fimmu.2022.865777
26. Sokal-Dembowska A, Jarmakiewicz-Czaja S, Helma K, Filip R. The Role of microRNAs in Inflammatory Bowel Disease. *Int J Mol Sci.* 2025;26(10):4750. DOI:10.3390/ijms26104750
27. Wei QY, Jin F, Wang ZY, et al. MicroRNAs: A novel signature in the metastasis of esophageal squamous cell carcinoma. *World J Gastroenterol.* 21;30(11):1497-523. DOI:10.3748/wjg.v30.i11.1497
28. Cataldi-Stagetti E, Governatori G, Orsini A, et al. MicroRNAs in Esophageal Cancer: Implications for Diagnosis, Progression, Prognosis and Chemoresistance. *Int J Mol Sci.* 2026;27(2):878. DOI:10.3390/ijms27020878
29. Si MY, Rao DY, Xia Y, et al. Role of exosomal noncoding RNA in esophageal carcinoma. *Front Oncol.* 2023;13:1126890. DOI:10.3389/fonc.2023.1126890
30. Bray F, Laversanne M, Sung H, et al. Global Cancer Statistics 2022: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. *CA A Cancer J Clin*. 2024;74:229-63. DOI:10.3322/caac.21834
31. Yu J, Ostowari A, Gonda A, et al. Exosomes as a Source of Biomarkers for Gastrointestinal Cancers. *Cancers (Basel).* 2023;15(4):1263. DOI:10.3390/cancers15041263
32. Kahroba H, Samadi N, Mostafazadeh M, et al. Evaluating the presence of deregulated tumoral onco-microRNAs in serum-derived exosomes of gastric cancer patients as noninvasive diagnostic biomarkers. *Bioimpacts*. 2022;12(2):127-38. DOI:10.34172/bi.2021.22178
33. Kang F, Jiang F, Ouyang L, et al. Potential Biological Roles of Exosomal Long Non-Coding RNAs in Gastrointestinal Cancer. *Front Cell Dev Biol.* 2022;10:886191. DOI:10.3389/fcell.2022.886191

34. Wei Y, Hu X, Yuan S, et al. Identification of plasma exosomal lncRNA as a biomarker for early diagnosis of gastric cancer. *Front Genet*. 2024;15:1425591. DOI:10.3389/fgene.2024.1425591
35. Sarkar S, Bishoyi AK, Roopashree R, et al. Exosomes in Hepatocellular Carcinoma: A Comprehensive Review of Current Research and Future Directions. *J Cell Mol Med*. 2025;29(14):e70723. DOI:10.1111/jcmm.70723
36. Eldosoky MA, Hammad R, Elmadbouly AA, et al. Diagnostic Significance of hsa-miR-21-5p, hsa-miR-192-5p, hsa-miR-155-5p, hsa-miR-199a-5p Panel and Ratios in Hepatocellular Carcinoma on Top of Liver Cirrhosis in HCV-Infected Patients. *Int J Mol Sci*. 2023;24(4):3157. DOI:10.3390/ijms24043157
37. Tonon F, Grassi C, Tierno D, et al. Non-Coding RNAs as Potential Diagnostic/Prognostic Markers for Hepatocellular Carcinoma. *Int J Mol Sci*. 2024;25(22):12235. DOI:10.3390/ijms252212235
38. Sun J, Awad MA, Hwang J, Villano AM. Molecular Biomarkers for the Diagnosis and Prognostication of Pancreatic Ductal Adenocarcinoma. *J Pers Med*. 2025;15(6):236. DOI:10.3390/jpm15060236
39. He X, Chen L, Di Y, et al. Plasma-derived exosomal long noncoding RNAs of pancreatic cancer patients as novel blood-based biomarkers of disease. *BMC Cancer*. 2024;24(1):961. DOI:10.1186/s12885-024-12755-z
40. Melo SA, Luecke LB, Kahlert C, et al. Author Correction: Glypican-1 identifies cancer exosomes and detects early pancreatic cancer. *Nature*. 2022;610(7932):E15-7. DOI:10.1038/s41586-022-05062-9
41. Bakhsh T, Alhazmi S, Farsi A, et al. Molecular detection of exosomal miRNAs of blood serum for prognosis of colorectal cancer. *Sci Rep*. 2024;14(1):8902. DOI:10.1038/s41598-024-58536-3
42. Jafari A, Karimabadi K, Rahimi A, et al. The Emerging Role of Exosomal miRNAs as Biomarkers for Early Cancer Detection: A Comprehensive Literature Review. *Technol Cancer Res Treat*. 2023;22:15330338231205999. DOI:10.1177/15330338231205999
43. Shi Y, Zhuang Y, Zhang J, et al. Four circulating exosomal miRNAs as novel potential biomarkers for the early diagnosis of human colorectal cancer. *Tissue Cell*. 2021;70:101499. DOI:10.1016/j.tice.2021.101499

Статья поступила в редакцию/The article received: 01.05.2026

OMNIDOCTOR.RU