

## ЛУЧЕВЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ С КОНТРАСТНЫМ УСИЛЕНИЕМ В ДИАГНОСТИКЕ РАКА МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Чекина Н.А.✉, Афанасьев А.Б., Абдураимов А.Б., Андронов А.К.

Филиал Московского клинического научного центра им. А.С. Логинова ДЗ г. Москвы «Маммологический центр»; Россия, 111123 Москва, шоссе Энтузиастов, 86

✉ Чекина Наталия Алексеевна, ivachekin@rambler.ru 8(915)-484-34-92

### РЕФЕРАТ

Обобщены результаты современных научных исследований, посвященных применению трех методов визуализации для диагностики рака молочной железы: двухэнергетической контрастной спектральной маммографии (CESM), магнитно-резонансной томографии с контрастным усилением (МРТ) и ультразвукового исследования с контрастированием (CEUS). Авторами проанализированы диагностические возможности и общая эффективность этих методов. На основе анализа сделан вывод о необходимости дальнейших исследований по сравнению CESM, МРТ и CEUS в одной группе пациентов. Это позволит лучше понять, как эти методы влияют на планирование лечения, выбор терапии и достижение положительных клинических результатов.

**Ключевые слова:** рак молочной железы, контрастная спектральная маммография, магнитно-резонансная томография с контрастным усилением, ультразвуковое исследование с контрастированием

**Для цитирования:** Чекина Н.А., Афанасьев А.Б., Абдураимов А.Б., Андронов А.К. Лучевые методы исследования с контрастным усилением в диагностике рака молочной железы: обзор литературы. Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия. 2026;9(1):60-68.

<https://doi.org/10.37174/2587-7593-2026-9-1-60-68>

## RADIATION RESEARCH METHODS WITH CONTRAST ENHANCEMENT IN THE DIAGNOSIS OF BREAST CANCER: LITERATURE REVIEW

Natalia A. Chekina✉, Alexey B. Afanasyev, Adhamjon B. Abduraimov, Artem K. Andronov

Branch A.S. Loginov Moscow Clinical Scientific Center "Mammology Center"; 86, Entuziastov Highway, Moscow, Russia 111123

✉ Natalia Alekseevna Chekina, ivachekin@rambler.ru 8(915)-484-34-92

### ABSTRACT

This article summarizes the results of modern scientific research on the use of three imaging methods for the diagnosis of breast cancer: dual-energy contrast spectral mammography (CESM), magnetic resonance imaging with contrast enhancement (MRI) and ultrasound with contrast (CEUS). The authors analyzed the diagnostic capabilities and overall effectiveness of these methods. Based on the analysis, it is concluded that further studies comparing CESM, MRI and CEUS in the same patient group are necessary. This will allow us to better understand how these methods affect treatment planning, therapy selection, and achieving positive clinical results.

**Key words:** breast cancer, contrast-enhanced spectral mammography, contrast-enhanced magnetic resonance imaging, contrast-enhanced ultrasound

**For citation:** Chekina N.A., Afanasyev A.B., Abduraimov A.B., Andronov A.K. Radiation Research Methods with Contrast Enhancement in the Diagnosis of Breast Cancer: Literature Review. Journal of Oncology: Diagnostic Radiology and Radiotherapy. 2026;9(1):60-68. (In Russ.).

<https://doi.org/10.37174/2587-7593-2026-9-1-60-68>

### Введение

Рак молочной железы (РМЖ) является наиболее часто встречающимся видом рака во всём мире и остаётся второй по распространённости причиной смертности [1] среди женщин, несмотря на значительный прогресс в методах диагностики и лечения [2].

В Российской Федерации РМЖ занимает ведущие позиции в структуре как общей онкологической заболеваемости (12,3 %), так и в структуре заболеваемости злокачественных новообразований (ЗНО) у женщин (22,5 %). В 2023 г. в России выявлено 82 499 новых случаев рака молочной железы. Количество выявляемых случаев растёт,

среднегодовой темп прироста составляет 2,04 %. Наибольший удельный вес заболеваемости РМЖ приходится на возрастную группу 30–59 лет (18 %). В 2023 г. на поздних стадиях (III–IV) выявлены 24,4 % (2022 г. — 25,9 %) [3], в связи с этим ранняя диагностика рака молочной железы, на доклинической стадии развития, остаётся одной из приоритетных задач в онкологии [4]. Своевременное выявление может значительно улучшить результаты лечения пациентов, а 5-летняя выживаемость женщин с раком молочной железы, диагностированным на ранней стадии, превышает 90 % [5]. Эффективный скрининг играет ключевую роль в снижении смертности.

В настоящее время цифровая маммография (ЦМГ) остается основным методом скрининговой диагностики в системе здравоохранения [6]. Скрининговая маммография снижает смертность от рака молочной железы на 30–40 % у женщин в возрасте 40–74 лет с чувствительностью 70 % и специфичностью 92 % [7]. Существуют определенные ограничения для использования данного метода: это пациентки до 40 лет, а также женщины в период беременности и лактации. Диагностическая ценность цифровой маммографии также может быть снижена при наличии у пациенток рентгенонегативного образования и образования, попадающего в край снимка, так называемые «слепые зоны». У женщин с плотным рентгеновским фоном (ACR-C, D) чувствительность маммографии снижается на 30–48 % [8].

В последнее время отмечается тенденция к увеличению заболеваемости раком молочной железы среди пациенток молодого возраста (до 40 лет). В данной категории пациентов превалирует высокая плотность ткани молочной железы, которая выступает как независимый фактор риска развития РМЖ, повышая его вероятность в 4–6 раз [8, 9]. Данные обстоятельства способствуют более поздней диагностике РМЖ, что ассоциируется с ухудшением прогноза, увеличением риска рецидивов и отдаленного метастазирования [10]. Кроме того, исследования ряда авторов выявили данные, подтверждающие ассоциацию между высокой маммографической плотностью и увеличенной вероятностью развития трижды негативного рака молочной железы [11]. Важно отметить, что у женщин с плотной тканью молочной железы значительно возрастает вероятность обнаружения интервального рака, что подчеркивает необходимость дополни-

тельных методов диагностики помимо стандартного скрининга [12].

В течение последних двух десятилетий были разработаны и протестированы новые методы для улучшения диагностики РМЖ. Они основаны на биологическом принципе неоангиогенеза, который делает сосуды, связанные со злокачественными новообразованиями, более проницаемыми для контрастного вещества, чем здоровые ткани [13].

Как известно, неоангиогенез — один из ключевых компонентов патогенеза опухолевого процесса. Несмотря на способность опухолевых клеток длительное время существовать в условиях дефицита кислорода и питательных субстратов, без кровеносных сосудов опухоль теряет способность к росту и метастазированию. Точно так же, без эффективной сети кровоснабжения опухоли, химиотерапевтические препараты не в состоянии достигнуть всех участков образования в необходимых концентрациях [14]. Использование контрастного усиления для оценки кровоснабжения опухоли может помочь в выявлении и дифференциальной диагностике образований молочной железы.

К исследованиям, в которых используется контрастный препарат, относятся двухэнергетическая контрастная спектральная маммография (contrast-enhanced spectral mammography — CESH), магнитно-резонансная томография с контрастным усилением (contrast-enhanced magnetic resonance imaging — MPT) и ультразвуковое исследование с контрастированием (contrast-enhanced ultrasound — CEUS) [15].

CESM представляет собой один из самых современных методов диагностики патологических изменений молочной железы (рис. 1). Это методика исследования, которая совмещает достоинства классической маммографии и магнитно-резонанс-

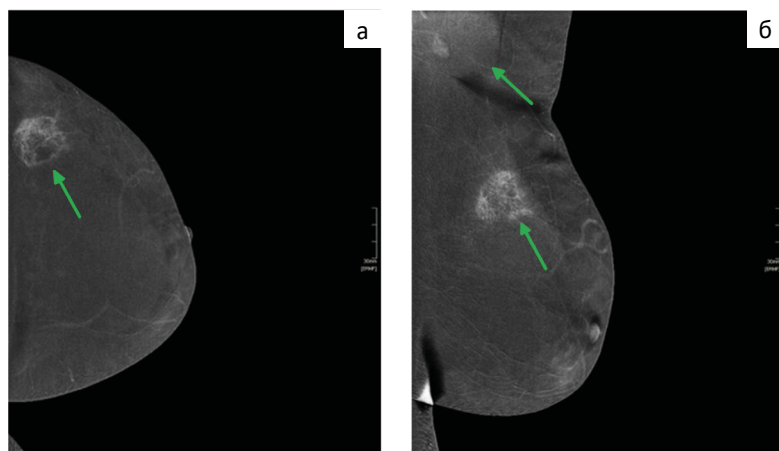


Рис. 1. Маммография с контрастным усилением: а — прямая краниокаудальная проекция, б — косая медиально-латеральная проекция. Рак левой молочной железы. В аксиллярной области определяется плотный лимфатический узел  
Fig. 1. Contrast-enhanced mammography: а — craniocaudal projection, б — medial-lateral projection. Left breast cancer. A dense lymph node is detected in the axillary region

ной томографии. Ее особенностью является внутривенное введение йодсодержащего контрастного вещества, что позволяет обнаружить области повышенного кровотока. Продолжительность исследования не превышает 7–10 мин [16]. CЕСM основана на возможности накопления контрастного вещества образованиями по сравнению с окружающей тканью молочной железы. Несмотря на то, что цифровая маммография продолжает оставаться скрининговым методом, уже многие исследования показали, что в диагностике рака молочной железы CЕСM обладает более высокой чувствительностью и специфичностью.

По данным Suter et al, чувствительность и специфичность CЕСM достигают 85–100 % и 77–87,7 % у клинически симптоматичных пациенток с сомнительными находками при маммографии [17, 18] при этом, цифровая маммография демонстрирует более низкую специфичность (64,5 %) при сравнимой чувствительности (97 %) [19].

Следует отметить, что на основании данных CЕСM возможно провести дифференциальную диагностику кальцинатов, участков структурной перестройки, асимметрий и узловых образований молочной железы. Кроме того, CЕСM позволяет количественно оценить степень перфузии контрастного вещества в исследуемой области.

Данный метод способен обнаруживать метастазы в подмышечных лимфатических узлах без выявленного при маммографии и ультразвуковом исследовании патологического образования в молочной железе. Важно, что CЕСM помогает оценить локальное распространение РМЖ и эффективность предоперационной химиотерапии, а также выявлять прогрессирование или рецидив после операции.

К числу основных достоинств данного метода относятся доступность, невысокая стоимость, простота и быстрота выполнения. Важное преимущество CЕСM заключается в том, что ее информативность не зависит от рентгеновской плотности тканей молочной железы [20]. Для женщин с плотной тканью молочной железы CЕСM это надежный метод диагностики РМЖ. В исследованиях Cheung et al [15], Sudhir et al [21] CЕСM имеет чувствительность 92,7 % — 96,5 %, специфичность 67,9 — 81 %. Особого внимания заслуживает способность CЕСM обнаруживать неоангиогенез, применяющийся для оценки мультицентричности рака молочной железы [22], что отражено в исследовании А.В. Черной и соавт., где чувствительность CЕСM составила 88,0 %, точность — 92,2 %, специфичность — 93,0 % [16]. Целесообразно отметить, что некоторые формы раннего РМЖ сопровождаются скоплением микрокальцинатов [23]. Эти участки преимущественно визуализируются при низкоэнергетических

изображениях CЕСM, однако дополнение рекомбинированного режима позволяет более точно оценивать истинные контуры и объем патологического образования [6].

Безусловно, CЕСM обладает рядом ограничений. В частности, требуется предоставление результатов исследования уровня креатинина в крови, что обусловлено противопоказанием данного метода при наличии почечной недостаточности. Лучевая нагрузка — основной недостаток метода [24], стоит отметить, что доза облучения при CЕСM в 1,5–1,8 раза выше, чем при цифровой маммографии [22]. Нельзя забывать, что это исследование требует внутривенного введения йодсодержащего контрастного вещества, что недопустимо при наличии аллергической реакции на йод [6]. Кроме того, на основании данных CЕСM невозможно определить состояние надключичных, подключичных и парастернальных лимфатических узлов, ограничена визуализация аксиллярных лимфатических узлов, что затрудняет объективную оценку степени распространения рака молочной железы [25].

Обязательным условием, определяющим тактику лечения пациента со злокачественным новообразованием, является верификация диагноза. В последние годы предпочтительна именно трепан-биопсия подозрительных на злокачественные новообразования участков, позволяющая не только определить гистологический тип строения опухоли, но и оценить ее рецепторный статус [26]. Стереотаксическая биопсия под контролем CЕСM является самой инновационной техникой, которая позволяет осуществить забор материала из участка повышенного накопления контрастного вещества. Эта процедура схожа по объему получаемой информации с биопсией молочной железы под контролем МРТ, однако CЕСM быстрее и технически проще в исполнении, менее затратно, более положительно воспринимается пациентами, меньше противопоказаний, чем у МРТ [27]. До появления контрастной лучевой диагностики РМЖ, количество необоснованных биопсий составляло до 20 % [6].

Как отмечалось выше, неоангиогенез является классическим признаком злокачественных новообразований. Применение CЕСM в диагностике РМЖ позволяет выявить участки, накопившие контрастное вещество, без окружающей нормальной ткани молочной железы [15]. Для более точной оценки перфузии образования и получения детализированных изображений применяется МРТ с контрастным усилением (рис. 2).

МРТ позволяет оценивать проницаемость кровеносных сосудов с помощью внутривенного введения контрастного вещества (хелата гадолиния) [29]. Классический протокол занимает около

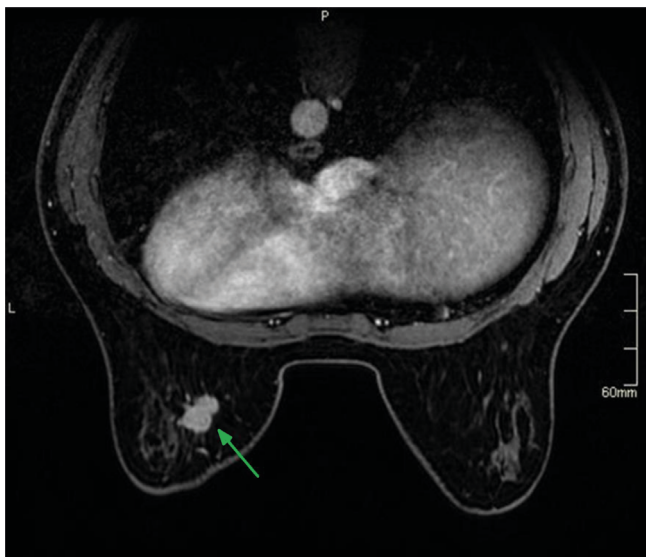


Рис. 2. МРТ с контрастным усилением. Рак левой молочной железы

Fig. 2. Contrast-enhanced MRI. Left breast cancer.

40 мин и генерирует несколько сотен изображений [30]. Основной принцип заключается в том, что неоангиогенез приводит к образованию негерметичных сосудов, которые способствуют более быстрой экстравазации контрастных веществ [31], что приводит к быстрому локальному усилению. Злокачественные поражения, как правило, демонстрируют раннее гиперусиление в артериальной фазе и быстрое вымывание по сравнению с доброкачественными поражениями [32, 33].

МРТ у молодых женщин со средним риском развития РМЖ должна применяться в соответствии с общепринятыми мировыми рекомендациями: в трудных диагностических случаях, когда остальные методы лучевой диагностики не могут определить диагноз; при наличии метастазов РМЖ в аксиллярных лимфоузлах, когда первичное поражение в молочной железе не удалось выявить с помощью ультразвукового исследования и маммографии; в случае подтвержденного РМЖ — для определения распространенности процесса и для предоперационного планирования [34], после проведенного оперативного лечения в случае положительных краев резекции — для определения резидуальной опухоли; у пациенток в процессе неоадьювантной химиотерапии — для контроля динамики лечения [10]. МРТ обладает высокой чувствительностью для выявления РМЖ, не связана с воздействием ионизирующего излучения, что делает её более безопасной для пациенток [34]. Однако недостатками метода являются высокая стоимость, недостаточная чувствительность в выявлении микрокальцинатов и высокая степень ложноположительных результатов [35]. В частности,

при скрининге плотной ткани молочной железы частота ложноположительных результатов МРТ в исследованиях Bakker et al составляет 8 %, а по данным Saslow et al — до 19 %, что соответственно увеличивает количество нежелательных биопсий [36]. Согласно литературным данным, МРТ молочной железы обладает высокой чувствительностью при выявлении различных типов поражений молочной железы — от 94 до 99 %, но довольно низкой специфичностью — от 50 до 80 % [37]. Однако является более чувствительной методикой и способной обнаруживать более мелкие опухоли на более ранних стадиях [38].

Как любой диагностический метод, МРТ имеет свои недостатки. Ограничения включают невозможность динамического наблюдения за пораженными участками в режиме реального времени, а также длительность проведения исследования. Среди относительных противопоказаний выделяют индивидуальную реакцию на компоненты контрастного препарата, нарушения функции почек, клаустрофобия и наличие металлических имплантатов. Вследствие этих факторов МРТ чаще всего используется в качестве дополнительного метода обследования [39, 40].

При сравнении CESH и МРТ согласно данным James et al, CESH дешевле, доступнее, быстрее в проведении и интерпретации, чем МРТ [41]. Женщины, имевшие опыт обеих процедур, явно предпочитают CESH [42]. Сравнения CESH и МРТ показали, что CESH не уступает в чувствительности при обнаружении рака [43], но дает меньше ложноположительных результатов [44]. CESH более доступна для определения РМЖ, чем МРТ, но может уступать ей в точности оценки распространенности опухолевого процесса.

В ретроспективном исследовании Kim et al [43], охватившем 84 женщины с 70 дополнительными образованиями (37 из которых оказались злокачественными), методы CESH и МРТ позволили обнаружить 31 из 37 злокачественных образований. При этом МРТ выявлено 5 дополнительных злокачественных поражений, которые не были обнаружены с помощью CESH.

В работе Jochelson et al [44] был проведен сравнительный анализ CESH и МРТ с целью выявления дополнительных злокачественных образований, не видимых при стандартной визуализации. Исследование выявило 25 дополнительных образований, из которых 16 были злокачественными. МРТ продемонстрировала более высокую чувствительность, обнаружив 15 из 16 дополнительных очагов РМЖ, по сравнению с 9, выявленными CESH. Также МРТ успешно идентифицировала все 11 очагов, требующих мастэктомии, в то время как CESH — 8 из

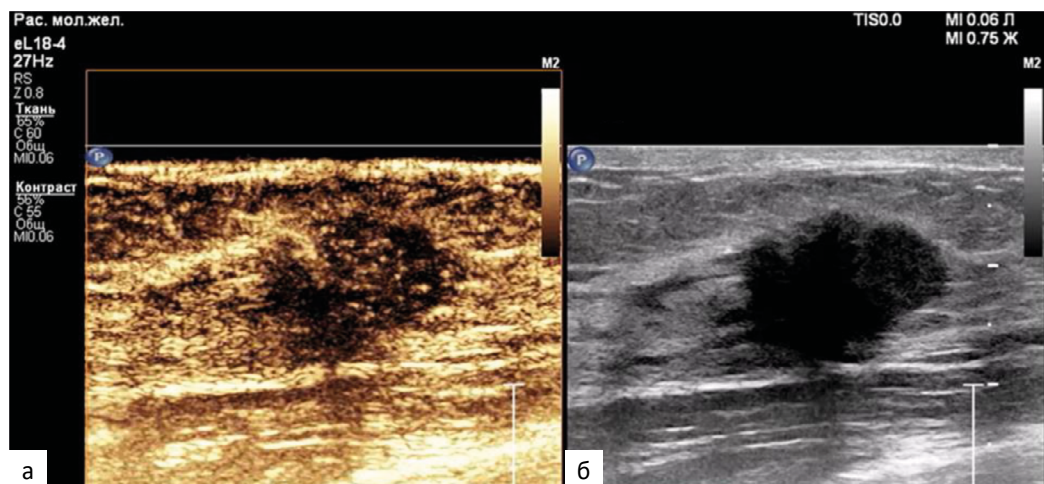


Рис. 3. УЗИ с контрастным усилением (а), УЗИ в В-режиме (б). Рак левой молочной железы

Fig. 3. Contrast-enhanced ultrasound (a), Ultrasound B-mode. Left breast cancer

11 (73 %) [44]. Авторы пришли к выводу, что МРТ может быть эффективнее CSEM при выявлении дополнительных скрытых очагов злокачественной опухоли.

МРТ долгое время считалась наиболее чувствительным методом определения степени распространенности РМЖ. Однако недостаточная специфичность и положительная прогностическая ценность, ограниченная доступность и переносимость пациентами, а также высокая стоимость способствовали разработке альтернативных методов [45], одним из таких методов является УЗИ с контрастным усилением — CEUS.

Внедрение контрастных веществ в ультразвуковую диагностику способствует повышению дифференциальной способности метода в отношении злокачественных и доброкачественных новообразований. Интеграция данной процедуры в стандартное ультразвуковое исследование, осуществляемое по согласованию с лечащим врачом, обеспечивает возможность ускоренной постановки диагноза [46], в отличие от CEM и МРТ, которые часто требуют предварительного направления на обследование и длительного ожидания, а иногда и вовсе противопоказаны.

CEUS — это новая технология, которая позволяет в реальном времени проследить циркуляцию контрастного препарата по опухолевым сосудам и рассчитать количественные параметры контрастирования с использованием программного обеспечения для построения временных кривых контрастирования по аналогии с МРТ [4, 47, 48]. Но в отличие от МРТ, ультразвуковой контраст не проникает в межклеточное вещество и циркулирует только в сосудах, что дает истинную оценку сосудистого русла при неоангиогенезе [49]. В последние годы CEUS стал огромным прорывом в ультразвуковой диа-

гностике благодаря использованию микропузырькового контрастного вещества [50] (рис. 3). CEUS обладает значительным преимуществом, заключающимся в отсутствии радиационного воздействия. Тем не менее, для проведения исследования необходимо введение контрастного вещества, что требует подготовки пациента и наличия венозного доступа [49]. В ходе ультразвукового исследования молочной железы введение контрастного вещества позволяет получить более полное представление о характере поражений, а также визуализировать и идентифицировать лимфатические каналы (ЛК) и сторожевые лимфатические узлы (СЛУ). Для оценки поражений молочной железы контрастное вещество вводится внутривенно, а для визуализации ЛК и СЛУ оно вводится подкожно в околососковую область [51]. Доброкачественные образования обычно характеризуются минимальным кровотоком, в то время как злокачественные образования демонстрируют более высокий уровень ангиогенеза и максимальную скорость кровотока [52].

CEUS обеспечивает визуализацию микрососудистых деталей в режиме реального времени, в том числе кровотока со скоростью менее 1 мм/с и сосудов диаметром менее 1 мкм [53]. Состояние микроциркуляции в очагах поражения молочной железы является важным патологоанатомическим показателем злокачественности. Благодаря этому можно получить информацию о кровоснабжении опухоли, что необходимо для диагностики и отслеживания результатов лечения [54]. Недавние исследования показали, что диагностическая эффективность CEUS при поражении молочной железы сопоставима с эффективностью МРТ [55]. В исследовании Bonfiglio et al были сопоставлены данные CEUS с МРТ при дифференциации образований молочной железы с кальцификацией [56]. Полученные ре-

зультаты указывают, что CEUS обладает более высокой диагностической эффективностью, чем МРТ. Чувствительность МРТ и CEUS составила 90 % и 95 % ( $p > 0,05$ ), специфичность — 78,1 % и 96,8 % ( $p < 0,05$ ), точность — 82,6 % и 96,1 % ( $p < 0,05$ ) [37] соответственно. CEUS может помочь дифференцировать образования 3-й и 4-й категории по шкале BI-RADS и, таким образом, сократить количество биопсий, проводимых при доброкачественных образованиях [53]. Стоит отметить, что данный метод играет важную роль в оценке состояния подмышечных лимфоузлов, особенно когда при клиническом обследовании лимфатические узлы не вызывают подозрений и выглядят нормально при ультразвуковом исследовании в серой шкале. Наиболее значимое клиническое применение заключается в прогнозировании реакции на неoadъювантную химиотерапию, что позволяет корректировать терапию с помощью динамического наблюдения за пациентом [49]. CEUS приобрело популярность благодаря своей простоте, возможности динамического наблюдения в реальном времени и пригодности для повторных обследований [57].

Однако CEUS имеет недостаток в виде невозможности одновременной оценки нескольких образований из-за отсутствия панорамного изображения, в отличие от CEMM и МРТ. Кроме того, требуются УЗ-сканеры, которые оснащены специальным программным обеспечением. CEUS рекомендуется использовать в качестве заключительного этапа ультразвукового обследования, после выполнения базовой сонографии, что позволяет избежать применения более сложных и дорогостоящих методов исследования [53].

Сочетание ультразвукового исследования в серой шкале и CEUS повышает эффективность диагностики при подозрении на новообразования в молочной железе 3-й, 4-й категории по шкале BI-RADS, позволяя оценить изменения перфузии и микрососудистую архитектуру образования с большей точностью, чем при обычном доплеровском картировании. В исследовании Yindi Zhu et al [54] 2017–2023 гг. получены высокие значения диагностической эффективности CEUS: чувствительность, специфичность, точность составляет 92,8 %, 79,0 %, 86,3 % соответственно, что значительно повышает эффективность диагностики. Xiang et al [58] показали, что при изолированном применении УЗИ с контрастированием чувствительность, специфичность и точность составили 92,31 %, 60,38 % и 66,67 % ( $p = 0,001$ ) соответственно. Так же CEUS можно использовать для предоперационной оценки характера лимфатического оттока и состояния подмышечных лимфоузлов при раннем раке молоч-

ной железы, чтобы обеспечить точность их интраоперационной биопсии [59].

## Обсуждение

Одним из важных факторов при выборе метода визуализации является возможность быстро и точно поставить диагноз.

CEMM продемонстрировала высокую эффективность в диагностике РМЖ как при выявлении узловых образований, так и при обнаружении микрокальцинатов, благодаря своей чувствительности и специфичности. Преимущества CEMM перед МРТ с контрастом заключаются в ее доступности и простоте, что облегчает раннее выявление РМЖ. В то же время, МРТ может оказаться более эффективным инструментом для оценки степени распространения опухоли.

Использование CEUS и последующий анализ полученных данных значительно улучшает дифференциальную диагностику опухолей молочной железы за счет детального изучения сосудистой структуры образования. Это позволяет уменьшить количество дополнительных методов обследования и необоснованных биопсий, а также способствует более эффективному планированию хирургического и комплексного лечения.

Учитывая вышеизложенное, для полного понимания сравнительного воздействия CEMM, МРТ и CEUS на планирование лечения, выбор терапии и достижение клинических результатов, необходимы дальнейшие исследования. В частности, будущие работы должны предусматривать комплексное сравнение всех трех методов визуализации в рамках одной и той же группы пациентов.

Есть основания полагать, что в будущем будет установлено, что различные молекулярные подтипы РМЖ связаны с индивидуальными особенностями перфузии, которые можно будет определить, изучив их микроциркуляторную систему. В настоящее время преобладающая часть научных публикаций фокусируется на дифференциальной диагностике доброкачественных и злокачественных поражений молочной железы. Количество исследований, оценивающих микроциркуляцию РМЖ различных молекулярных подтипов, а также применение CEUS для оценки регресса опухоли на фоне неoadъювантной химиотерапии, является ограниченным. Так, например в исследовании Li et al [60] между протоковой карциномой молочной железы *in situ* и инвазивной протоковой карциномой наблюдалась значительная разница в интенсивности контрастирования, дефектах перфузии, периферическом контрастировании, внутриопухолевых сосудах и времени поступления контрастного препарата.

## Заключение

Каждый из представленных методов CЕСM, МРТ и CEUS в диагностике РМЖ имеет свои преимущества и ограничения. Осознание этих характеристик является основой для выбора наиболее эффективного метода визуализации при подозрении на РМЖ, ведь точная диагностика этого заболевания является первостепенной целью любого диагностического исследования.

## Список литературы / References

- Sung H, Ferlay J, Siegel RL, et al. Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries. *CA Cancer J Clin* 2021;71:209-249. <https://doi.org/10.3322/caac.21660>.
- Gradishar WJ, Moran MS, Abraham J, et al. Breast Cancer, Version 3.2024, NCCN Clinical Practice Guidelines in Oncology. *J Natl Compr Canc Netw* 2024;22:331-357. <https://doi.org/10.6004/jnccn.2024.0035>. PMID: 39019058.
- Злокачественные новообразования в России в 2023 году (заболеваемость и смертность). Под ред. АД Каприна [и др.]. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2024. 276 с. Malignant neoplasms in Russia in 2023 (morbidity and mortality) ed. by AD Kaprin et al. Moscow, 2024. 276 p. (In Russ.).
- Гажонова ВЕ, Зубарев АВ, Пулатова ИЗ. Инновационные подходы в диагностике очаговых образований молочной железы категории BI-RADS 3-4: роль и перспективы интеграции ультразвукового исследования с контрастированием и эластографии. *REJR* 2025;15(1):107-18. Gazhonova VE, Zubarev AV, Pulatova IZ. Innovative approaches in the diagnosis of focal formations of the breast category BI-RADS 3-4: the role prospects of integrating ultrasound with contrasting and elastography. *REJR* 2025;15(1):107-18. (In Russ.). <https://doi.org/10.21569/2222-7415-2025-15-1-107-118>.
- Spear G, Lee K, DePersia A, et al. Updates in Breast Cancer Screening and Diagnosis. *Curr Treat Options Oncol* 2024;25:1451-1460. <https://doi.org/10.1007/s11864-024-01271-8>. PMID: 39466539.
- Андронов АК, Абдураимов АБ. Роль контрастной двухэнергетической спектральной маммографии в диагностике рака молочной железы. *Медицинская визуализация*. 2023;27(4):81-91. Andronov AK, Abduraimov AB. Role of Contrast-Enhanced Spectral Mammography in the detection of breast cancer. *Medical Imaging*. 2023;27(4):81-91. (In Russ.). <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1281>.
- Siu AL. Screening for breast cancer: U.S. Preventive services task force recommendation statement *Ann Intern Med*. 2016;164:279-296. <https://doi.org/10.7326/M15-2886>. PMID: 26757170.
- Boyd NF, Guo H, Martin LJ, et al. Mammographic density and the risk and detection of breast cancer. *N Engl J Med*. 2007;356(3):227-36. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa062790>. PMID: 17229950.
- Ягджян Л, Колдиц ГА, Рознер Б. Маммографическая плотность молочной железы и риск развития рака молочной железы: взаимосвязь процентной плотности, абсолютной плотности и неплотных участков с факторами риска развития рака молочной железы. *Исследование и лечение рака молочной железы*. 2015;150:181-9. Yagiyany L, Koldits GA, Rosner B. Mammographic density of the breast and risk breast cancer: relationship of percentage density, absolute density and loose areas with risk factors for breast cancer. *Research and Treatment of Breast Cancer*. 2015;150:181-189. (In Russ.).
- Сулейменова ДМ, Жолдыбай ЖЖ, Айнакулова АС и др. Рак молочной железы у молодых женщин: адаптированные рекомендации по лучевому обследованию. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2021;3:46-52. Suleimenova DM, et al. Breast cancer in young women: adapted recommendations for radiation examination. *International Journal of Applied and Fundamental Research*. 2021;3:46-52. (In Russ.) <https://doi.org/10.17513/mjpf.13190>. URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=13190>.
- Sartor H, Zackrisson S, Elebro K, et al. Mammographic density in relation to tumor biomarkers, molecular subtypes, and mode of detection in breast cancer. *Cancer Causes Control*. 2015;26(6):931-9. <https://doi.org/10.1007/s10552-015-0576-6>. PMID: 25860114.
- Sung H, Ren J, Li J, et al. Breast cancer risk factors and mammographic density among high-risk women in urban China. *NPJ Breast Cancer*. 2018;4(1):3. <https://doi.org/10.1038/s41523-018-0055-9>. PMID: 29423438.
- Kuhl CK. The changing world of breast cancer: a Radiologist's perspective. *Plast Surg Nurs*. 2016;36:31-49. <https://doi.org/10.1097/PSN.000000000000128>. PMID: 26933985.
- Кораблев ВВ, Васильев АГ. Неоангиогенез и опухолевый рост. *Российские биомедицинские исследования*. 2020;2(4):3-10. Korablev VV, Vasilyev AG. Neoangiogenesis and tumor growth. *Russian Biomedical Research*. 2020;2(4):3-10. (In Russ.). <https://ojs3.gpmu.org/index.php/biomedical-research/article/view/544>.
- Баженова ДА, Мершина ЕА, Пучкова ОС, и др. Современный взгляд на принципы диагностики рака молочной железы по данным контрастной маммографии (обзор литературы). *Медицинская визуализация*. 2022;26(1):40-47. Bazhenova DA, Mershina EA, Puchkova OS, et al. A modern view of the principles of breast cancer diagnosis according to contrast mammography (literature review). *Medical Imaging*. 2022;26(1):40-47. (In Russ.). <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1090>.
- Черная АВ, Ульянова РХ, Криворотко ПВ и др. Возможности контрастной спектральной двухэнергетической маммографии в диагностике мультицентричного рака молочной железы. *Опухоли женской репродуктивной системы*. 2021;17(4):20-28. Chernaya AV, Ulyanova RH, Krivorotko PV, et al. Opportunities contrast spectral dual-energy mammography in the diagnosis of multicentric breast cancer. *Tumors of the Female Reproductive System*. 2021;17(4):20-28. (In Russ.). <https://doi.org/10.17650/1994-4098-2021-17-4-20-28>.
- Suter MB, Pesapane F, Agazzi GM, et al. Diagnostic accuracy of contrast-enhanced spectral mammography for breast lesions: A systematic review and meta-analysis. *Breast*. 2020;53:8-17. <https://doi.org/10.1016/j.breast.2020.06.005>. PMID: 32540554.
- Gilbert FJ, Pinker-Domenig K. Diagnosis and Staging of Breast Cancer: When and How to Use Mammography, Tomosynthesis, Ultrasound, Contrast-Enhanced Mammography, and Magnetic Resonance Imaging. Springer, 2019;155-66. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-11149-6>.
- Zeeshan M, Salam B, Khalid QSB et al.. Diagnostic Accuracy of Digital Mammography in the Detection of Breast Cancer. *Cureus*. 2018;10(4):e2448. <https://doi.org/10.7759/cureus.2448>. PMID: 29888152
- Черная АВ, Ульянова РХ, Багненко СС. и др. Контрастная спектральная двухэнергетическая маммография инструмент точной диагностики онкопатологии на фоне плотной ткани молочной железы. *Медицинская визуализация*. 2023;27(1):25-34. Chernaya AV, Ulyanova RH, Bagnenko SS, et al. Contrast-enhanced spectral dual-energy mammography is an accurate diagnostic tool for detecting cancer in dense breast tissue. *Medical Imaging*. 2023;27(1):25-34. (In Russ.). <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1152>.
- Sudhir R, Sannapareddy K, Potlapalli A, Krishnamurthy PB, Budha S, Koppula V. Diagnostic accuracy of contrast-enhanced digital mammography in breast cancer detection in comparison to tomosynthesis, synthetic 2D mammography and tomosynthesis combined with ultrasound in women with dense breast. *Br J Radiol*. 2021;94(1118):2020-1046. <https://doi.org/10.1259/bjr.20201046>. PMID: 33242249.
- Daniaux M, De Zordo T, Santner W, et al. Dual-energy contrast-enhanced spectral mammography (CESM). *Arch. Gynecol. Obstet*.

- 2015;292(4):739-47. <https://doi.org/10.1007/s00404-015-3693-2>. PMID: 25814297.
23. Bonfiglio R, Scimeca M, Toschi N, Pistolesse CA, Giannini E, Antonacci C, et al. Radiological, histological and chemical analysis of breast microcalcifications: diagnostic value and biological significance. *J Mammary Gland Biol Neoplasia* 2018;23(1-2):89-99. <https://doi.org/10.1007/s10911-018-9396-0>. PMID: 29744755.
24. Nori J, Kaur M. Contrast-Enhanced Digital Mammography (CEDM). Springer. 2019. P.18-19. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-94553-8>.
25. Tabar L, Chen TH-H, Yen AM-F, et al. Effect of Mammography Screening on Mortality by Histological Grade. *Cancer Epidemiology Biomarkers & Prevention*. 2018;27(2):154-7. <https://doi.org/10.1158/1055-9965.EPI-17-0487>. PMID: 29150482.
26. Манихас ГМ, Сафронова ОБ, Худякова ТГ и др. Стереотаксическая биопсия образований молочных желез под рентгеновским контролем. Современная онкология. 2015;17(2):40-4. Manikhas GM, Safronova OB, Khudjakova TG, et al. Stereotactic biopsy of breast lesions under X-ray control. *Journal of Modern Oncology*. 2015;17(2):40-4. <https://modernonco.orscience.ru/1815-1434/article/view/27006> (In Russ.).
27. Мазо МЛ, Рожкова МЛ, Прокопенко СП и др. Инвазивная лучевая диагностика рака молочной железы. Тонкоигольная биопсия или трепан-биопсия? Медицинская визуализация. 2015;4:79-86. Mazo ML, Rozhkova NI, Prokopenko SP, et al. Diagnostics of Breast Lesions. A Fine-Needle Aspiration Biopsy or a Core-Biopsy? *Medical Imaging*. 2015;(4):79-86. (In Russ.).
28. Wernli KJ, DeMartini WB, Ichikawa L, et al. Breast Cancer Surveillance Consortium. Patterns of breast magnetic resonance imaging use in community practice. *JAMA Intern. Med.* 2014;174(1):125-32. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2013.11963>. PMID: 24247555.
29. Knopp MV, Weiss E, Sinn HP, et al Pathophysiologic basis of contrast enhancement in breast tumors. *J Magn Reson Imaging*. 1999;10(3):260-6. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1522-2586\(199909\)10:3<260::aid-jmri6>3.0.co;2-7](https://doi.org/10.1002/(sici)1522-2586(199909)10:3<260::aid-jmri6>3.0.co;2-7). PMID: 10508285.
30. Kuhl CK, Schrading S, Stobel K, et al. Abbreviated breast magnetic resonance imaging (MRI): first postcontrast subtracted images and maximum-intensity projection-a novel approach to breast cancer screening with MRI. *J. Clin. Oncol. Off. J. Am. Soc. Clin. Oncol.* 2014;32(22):2304-10. <https://doi.org/10.1200/JCO.2013.52.5386>. PMID: 24958821.
31. Carmeliet P, Jain RK. Angiogenesis in cancer and other diseases. *Nature* 2000;407(6801):249-57. <https://doi.org/10.1038/35025220>. PMID: 11001068.
32. Mus RD, Borelli C, Bult P, et al. Time to enhancement derived from ultrafast breast MRI as a novel parameter to discriminate benign from malignant breast lesions. *Eur J Radiol*. 2017;89:90-6. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2017.01.020>. PMID: 28267555.
33. Onishi N, Kataoka M, Kanao S, et al. Ultrafast dynamic contrast-enhanced MRI of the breast using compressed sensing: breast cancer diagnosis based on separate visualization of breast arteries and veins. *J Magn Reson Imaging*. 2018;47(1):97-104. <https://doi.org/10.1002/jmri.25747>. PMID: 28556576.
34. Mann RM, Cho N, Moy L. Breast MRI: State of the Art. *Radiology*. 2019;292(3):520-36. <https://doi.org/10.1148/radiol.2019182947>. PMID: 31361209.
35. Bozzini A, Nicosia L, Pruner G, et al. Clinical performance of contrast-enhanced spectral mammography in presurgical evaluation of breast malignant lesions in dense breasts: a single center study. *Breast Cancer Res. Treat.* 2020;184(3):723-31. <https://doi.org/10.1007/s10549-020-05881-2>. PMID: 32860166.
36. Bakker MF, de Lange SV, Pijnappel RM, et al. Supplemental MRI screening for women with extremely dense breast tissue. *N Engl J Med*. 2019;381:2091-102. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1903986>. PMID: 31774954.
37. Pan J, Tong W, Luo J, Liang J, Pan F, Zheng Y, Xie X. Does contrast-enhanced ultrasound (CEUS) play a better role in diagnosis of breast lesions with calcification? A comparison with MRI. *Br J Radiol*. 2020;93(1112):20200195. <https://doi.org/10.1259/bjr.20200195>.
38. Айнакулова АС, Кайдарова ДР, Жолдыбай ЖЖ, и др. Сравнительный анализ контрастной спектральной маммографии и МРТ молочных желез (литературный обзор). Вестник КазНМУ. 2020;2:135-9. Ainakulova AS, Kaidarova DR, Zholdybay Zh, et al. Comparative analysis of contrast-enhanced spectral mammography and breast MRI (literature review). *Bulletin of KazNMU*. 2020;2:135-9. (In Russ.).
39. van Nijnatten TJA, Morscheid S, Baltzer PAT, et al. Contrast-enhanced breast imaging: Current status and future challenges. *Eur J Radiol*. 2024;171:111-312. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2024.111312>. PMID: 38237520.
40. Kuczek DE, Larsen AMH, Thorseth ML, et al. Collagen density regulates the activity of tumor-infiltrating T cells. *J Immunother Cancer*. 2019;7(1):68. <https://doi.org/10.1186/s40425-019-0556-6>. PMID: 30867051.
41. James JR, Pavlicek W, Hanson JA, et al. Breast radiation dose with CESM compared with 2D FFDM and 3D tomosynthesis mammography. *Am J Roentgenol*. 2017;208(2):362-72. <https://doi.org/10.2214/AJR.16.16743>. PMID: 28112559.
42. Hobbs MM, Taylor DB, Buzynski S, Peake RE. Contrast-enhanced spectral mammography (CESM) and contrast enhanced MRI (CEMRI): patient preferences and tolerance. *J Med Imaging Radiat Oncol*. 2015;59(3):300-5. <https://doi.org/10.1111/1754-9485.12296>. PMID: 25900704.
43. Kim EY, Youn I, Lee KH, et al. Diagnostic value of contrast-enhanced digital mammography versus contrast-enhanced magnetic resonance imaging for the preoperative evaluation of breast cancer. *J Breast Cancer*. 2018;21(4):453-62. <https://doi.org/10.4048/jbc.2018.21.e62>. PMID: 30607168.
44. Jochelson MS, Dershaw DD, Sung JS, et al. Bilateral contrast-enhanced dual-energy digital mammography: feasibility and comparison with conventional digital mammography and MR imaging in women with known breast carcinoma. *Radiology*. 2013;266(3):743-51. <https://doi.org/10.1148/radiol.12121084>. PMID: 23220903.
45. Taylor DB, Burrows S, Saunders CM, et al. Contrast-enhanced mammography (CEM) versus MRI for breast cancer staging: detection of additional malignant lesions not seen on conventional imaging. *Eur Radiol Exp*. 2023;7(1):8. <https://doi.org/10.1186/s41747-022-00318-5>. PMID: 36781808 PMID: 36781808 PMCID.
46. Westwood M, Joore M, Grutters J, et al. Contrast-enhanced ultrasound using SonoVue® (sulphur hexafluoride microbubbles) compared with contrast-enhanced computed tomography and contrast-enhanced magnetic resonance imaging for the characterisation of focal liver lesions and detection of liver metastases: a systematic review and cost-effectiveness analysis. 2013;17(16):1-243. <https://doi.org/10.3310/hta17160>. PMID: 23611316.
47. Jian Liu, Xiaoling Liu, Jiao He, et al. Percutaneous contrast-enhanced ultrasound for localization and diagnosis of sentinel lymph node in early breast cancer. *Sci Rep*. 2019;9(1):13545. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49736-3>. PMID: 31537856.
48. Vovdenko S, Ali S, Ali H, et al. Contrast-enhanced ultrasound (CEUS) as a follow-up method after the focal treatment of renal tumors: systematic review and meta-analysis. *Int Urol Nephrol*. 2024;56(11):3415-26. <https://doi.org/10.1007/s11255-024-04102-9>. PMID: 38851652.
49. Boca Bene I, Dudea SM, Ciurea AI. Contrast-enhanced ultrasonography in the diagnosis and treatment modulation of breast cancer. *J Pers Med*. 2021;11(2):81. <https://doi.org/10.3390/jpm11020081>. PMID: 33573122.
50. Xu HX. Contrast-Enhanced ultrasound: the evolving applications. *World J Radiol*. 2009;1(1):15-24. <https://doi.org/10.4329/wjr.v1.i1.15>. PMID: 21160717.
51. Xiao X, Dong L, Jiang Q, et al. Incorporating Contrast-Enhanced Ultrasound into the BI-RADS Scoring System Improves Accuracy in Breast Tumor Diagnosis: A Preliminary Study in China. *Ultrasound Med. Biol*. 2016;42(11):2630-8. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmed-bio.2016.07.005>. PMID: 27544439.

52. Niu J, Ma J, Guan X, et al. Correlation Between Doppler Ultrasound Blood Flow Parameters and Angiogenesis and Proliferation Activity in Breast Cancer. *Med Sci Monit*. 2019;25:7035-41. <https://doi.org/10.12659/MSM.914395>. PMID: 31535669.
53. Janu E, Krikavova L, Little J, et al. Prospective evaluation of contrast-enhanced ultrasound of breast BI-RADS 3-5 lesions. *BMC Med Imaging*. 2020;20(1):66. <https://doi.org/10.1186/s12880-020-00467-2>. PMID: 32552678.
54. Zhu Y, Zhang D, Wang XN, et al. Diagnostic test of conventional ultrasonography combined with contrast-enhanced ultrasound in the subcategorization of suspicious Breast Imaging-Reporting and Data System (BI-RADS) 4 breast lesions. *Transl Cancer Res*. 2025;14(3):2066-77. <https://doi.org/10.21037/tcr-2025-485>. PMID: 40224988.
55. Liu S, Cai W, Luo Y, et al. CEUS Versus MRI in Evaluation of the Effect of Microwave Ablation of Breast Cancer. *Ultrasound Med Biol*. 2022;48(4):617-25. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmed-bio.2021.11.012>. PMID: 35063290.
56. Bonfiglio R, Scimeca M, Toschi N, et al. Radiological, histological and chemical analysis of breast microcalcifications: diagnostic value and biological significance. *J Mammary Gland Biol Neoplasia*. 2018;23(1-2):89-99. <https://doi.org/10.1007/s10911-018-9396-0>. PMID: 29744755.
57. Moon JH, Koh SH, Park SY, et al. Comparison of the SRmax, SRave, and color map of strain-elastography in differentiating malignant from benign breast lesions. *Acta Radiol*. 2019;60(1):28-34. <https://doi.org/10.1177/0284185118773510>. PMID: 29726693.
58. Xiang LH, Yao MH, Xu G, et al. Diagnostic value of contrast-enhanced ultrasound and shear-wave elastography for breast lesions of sub-centimeter. *Clin Hemorheol Microcirc*. 2017;67(1):69-80. <https://doi.org/10.3233/CH-170250>. PMID: 28482623.
59. Zhu Y, Fan X, Yang D, et al. Contrast-Enhanced Ultrasound for Precise Sentinel Lymph Node Biopsy in Women with Early Breast Cancer: A Preliminary Study. *Diagnostics (Basel)*. 2021;11(11):2104. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11112104>. PMID: 34829452.
60. Li W, Zhao Y, Fei X, et al. Image Features and Diagnostic Value of Contrast-Enhanced Ultrasound for Ductal Carcinoma In Situ of the Breast: Preliminary Findings. *Ultrasound Imaging*. 2025;47(2):59-67. <https://doi.org/10.1177/01617346241292032>. PMID: 39506270.

**Information about the authors:**

Natalia A. Chekina <https://orcid.org/0000-0002-6031-1252>  
 Alexey B. Afanasyev <https://orcid.org/0009-0001-5921-9213>  
 Adhamjon B. Abduraimov <https://orcid.org/0000-0002-2893-8274>  
 Artem K. Andronov <https://orcid.org/0000-0001-7925-5935>

**Вклад авторов**

Н.А. Чекина: сбор и обработка данных, написание текста.  
 А.Б. Афанасьев: сбор и обработка данных.  
 А.Б. Абдураимов: утверждение окончательного варианта статьи.  
 А.К. Андронов: анализ и интерпретация полученных данных.  
**Финансирование.** Исследование проведено без спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Соответствие принципам этики.** Одобрение этического комитета не требовалось.

**Информированное согласие.** Не требовалось подписания информированного согласия на публикацию данных.

**Поступила:** 15.09.2025.

**Принята к публикации:** 30.01.2026.

**Опубликована online:** 26.03.2026.

**Authors' contributions**

N.A. Chekina: analysis and interpretation of the obtained data, writing text.  
 A.B. Afanasyev: analysis and interpretation of the obtained data.  
 A.B. Abduraimov: approval of the final version of the article.  
 A.K. Andronov: analysis and interpretation of the obtained data.  
**Funding.** The study had no sponsorship.

**Conflict of interests.** Not declared.

**Ethical compliance.** Ethical committee approval was not necessary.

**Informed consent.** Not required.

**Received:** 15.09.2025.

**Accepted for publication:** 30.01.2026.

**Published online:** 26.03.2026.