



ISSN 1607-0763 (Print); ISSN 2408-9516 (Online)
<https://doi.org/10.24835/1607-0763-1617>



Потенциал мультипараметрического ультразвукового исследования с контрастированием для детекции и прогнозирования статуса сигнальных лимфатических узлов при инвазивном раке молочной железы

© Бикеев Ю.В.^{1*}, Родионова М.В.¹, Сенча А.Н.^{1,3},
Родионов В.В.¹, Кометова В.В.¹, Колядина И.В.^{1,2}

¹ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова» Минздрава России; 117997 Москва, ул. Академика Опарина, д. 4, Российская Федерация

² ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России; 125993 Москва, ул. Баррикадная, д. 2/1, стр. 1, Российская Федерация

³ ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России; 117997 Москва, ул. Островитянова, д. 1, Российская Федерация

Аксиллярное картирование и оценка статуса подмышечных лимфатических узлов (ЛУ) остается ключевым вопросом стадирования для определения тактики и алгоритмов ведения пациенток с инвазивным раком молочной железы (РМЖ). Для повышения информативности используют различные методики ультразвукового метода (эластография, ЦДК, SMI); в последние годы в практику активно внедряется методика с применением ультразвуковых контрастных препаратов (УЗКП), что повышает диапазон диагностических возможностей ультразвукового метода.

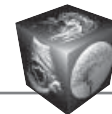
Цель исследования: оценить диагностическую эффективность методики контраст-усиленного ультразвукового исследования (КУЗИ) и мультипараметрического УЗИ с включением ультразвукового контрастирования для детекции и прогнозирования метастазирования в сигнальных лимфатических узлах (СЛУ) на амбулаторном этапе.

Материал и методы. В настоящем исследовании проведен комплексный анализ данных 120 первичных больных с инвазивным РМЖ для оценки диагностической ценности качественной, количественной и комбинированной модели с ультразвуковым контрастированием (ультразвуковой контраст SonoVue, путь введения – параареоларно внутривожно в общем объеме 1 мл), а также мультипараметрической модели (комбинация КУЗИ, данных В-режима и ЦДК). Проведен статистический анализ (логистическая регрессия, ROC-анализ), в том числе по подгруппам в зависимости от вида метастаза и метастатической нагрузки на аксиллярные ЛУ.

Результаты. Метастазы в подмышечных ЛУ выявлены в 29,2% случаев; доля пациентов pN+ возрастала от паттернов I–II к IV–V (до 71–100%; $p < 0,001$); объединение III–VI паттернов в сравнении с I–II давало ОШ = 6,0. В-режим играл ведущую роль в прогнозировании метастаза по признаку утолщения кориекса более 3 мм ($p < 0,001$; AUC 0,84), поперечный размер и тип кровотока в режиме ЦДК имели умеренную информативность ($p = 0,02$ и $p = 0,077$ соответственно). Интеграция признаков улучшала точность: комбинированная модель (паттерны+ количественные метрики) обеспечивала AUC 0,686, чувствительность 60%, специфичность 81,2%, а мультипараметрическая (комбинированная с дополнением данных В-режима и ЦДК) – наивысшие значения (AUC 0,78, чувствительность 65,8%, специфичность 80%).

Закключение. Внутривожное параареоларное введение УЗКП обеспечивает высокую частоту идентификации СЛУ и позволяет прогнозировать статус и метастатическое поражение ЛУ. Мультипараметрическое УЗИ, комбинирующее данные В-режима, ЦДК и КУЗИ, повышает диагностическую точность аксиллярного стадирования у больных РМЖ.

Ключевые слова: ультразвуковое исследование с контрастированием; сигнальный лимфатический узел; рак молочной железы; мультипараметрическое ультразвуковое исследование; ультразвуковой контрастный препарат



Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Бикеев Ю.В., Родионова М.В., Сенча А.Н., Родионов В.В., Кометова В.В., Колядина И.В. Потенциал мультипараметрического ультразвукового исследования с контрастированием для детекции и прогнозирования статуса сигнальных лимфатических узлов при инвазивном раке молочной железы. *Медицинская визуализация*. 2026; 30 (1): 68–80. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1617>

Поступила в редакцию: 21.11.2025. **Принята к печати:** 14.02.2026. **Опубликована online:** 19.02.2026.

The potential of multiparametric contrast-enhanced ultrasound to detect and predict sentinel lymph node status in invasive breast cancer

© Yury V. Bikeev^{1*}, Maria V. Rodionova¹, Alexandr N. Sencha^{1, 3},
Valery V. Rodionov¹, Vlada V. Kometova¹, Irina V. Kolyadina^{1, 2}

¹ National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after academician V.I. Kulakov of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 4, Akademika Oparina str., Moscow 117997, Russian Federation

² Russian Medical Academy of Continuous Professional Education of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 2/1-1, Barrikadnaya str., Moscow 125993, Russian Federation

³ Pirogov Russian National Research Medical University; 1, Ostriviyanova str., Moscow 117997, Russian Federation

Axillary mapping and assessment of axillary lymph node status remains a key staging issue for determining treatment strategies and algorithms for patients with invasive breast cancer. Various ultrasound techniques (elastography, color Doppler, and SMI) are used to improve diagnostic accuracy. In recent years, ultrasound contrast agents have been widely adopted, increasing the diagnostic capabilities of ultrasound.

The aim: to evaluate the diagnostic efficiency of CEUS and multiparametric ultrasound with the inclusion of the ultrasound contrast technique in preoperative detection and prediction of metastases in the SLN.

Materials and methods. This study included a comprehensive analysis of data from 120 up-front patients with invasive breast cancer to evaluate the diagnostic value of qualitative (contrast patterns), quantitative, combined and multiparametric (combined CEUS parameters + B-mode) models.

Results. Axillary lymph node metastases were detected in 29.2% of cases; the proportion of pN+ patients increased from patterns I–II to IV–V (up to 71–100%; $p < 0.001$); combining patterns III–VI versus I–II yielded an OR of 6.0. B-mode showed a leading role in predicting metastasis based on cortical thickening of more than 3 mm ($p < 0.001$; AUC 0.84), transverse size and blood flow type in the color Doppler imaging mode had moderate information content ($p = 0.02$ and $p = 0.077$, respectively). Integration of features improved accuracy: combined model – AUC 0.686, sensitivity – 60%, specificity – 81.2%, and multiparametric (combined with the addition of B-mode and color Doppler imaging) – the highest values (AUC 0.78; sensitivity 65.8%, specificity 80%).

Conclusion. Intradermal paraareolar ultrasound injection of contrast agent provides a high rate of lymph node (SLN) identification and predict the status and metastatic burden of axillary lymph nodes. Multiparametric ultrasound, combining B-mode, color Doppler, and CEUS improves the diagnostic accuracy of axillary staging in patients with breast cancer.

Keywords: contrast-enhanced ultrasound; sentinel lymph node; breast cancer; multiparametric ultrasound; ultrasound contrast agent

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest. The study had no sponsorship.

For citation: Bikeev Y.V., Rodionova M.V., Sencha A.N., Rodionov V.V., Kometova V.V., Kolyadina I.V. The potential of multiparametric contrast-enhanced ultrasound to detect and predict sentinel lymph node status in invasive breast cancer. *Medical Visualization*. 2026; 30 (1): 68–80. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1617>

Received: 21.11.2025.

Accepted for publication: 14.02.2026.

Published online: 19.02.2026.



Введение

С учетом современных хирургических подходов и клинического ведения больных раком молочной железы (РМЖ) при обеспечении онкологической безопасности и сохранении показателей общей и безрецидивной выживаемости детекция и оценка статуса сигнальных лимфатических узлов (СЛУ) являются важным этапом в диагностических алгоритмах и при планировании тактики лечения.

Современная онкомаммология рассматривает метастазирование в аксиллярные ЛУ как один из важных прогностических критериев при РМЖ, поэтому биопсия сигнального лимфатического узла (БСЛУ) становится стандартным этапом хирургического стадирования больных с этой формой заболевания, особенно при первично-операбельном РМЖ [1–5]. В процессе получения новых данных по общей и безрецидивной выживаемости больных РМЖ в зависимости от индивидуальных особенностей и объема вмешательства на подмышечных ЛУ происходит пересмотр векторов хирургического лечения данной патологии: переход от расширенной мастэктомии к модифицированным и органосохранным операциям на молочной железе (МЖ) с деэскалацией аксиллярной хирургии. Изменения подходов к тактике и объему хирургического вмешательства позволили не только повысить качество жизни, но и снизить частоту развития осложнений, в том числе вторичной лимфедемы верхней конечности за счет сохранения лимфодренажной функции.

Традиционные методы визуализации часто характеризуются низкими показателями чувствительности и точности при выявлении СЛУ, из-за чего в большинстве случаев требуется их интраоперационная детекция с применением радиоизотопных, флуоресцентных или красящих препаратов. В 2004 г. B.B. Goldberg и соавт. сообщили об удачном опыте визуализации ЛУ с помощью подкожного введения контрастных препаратов, что послужило прорывом для этой методики в выявлении СЛУ при опухолях разных локализаций, включая рак МЖ, вульвы, полового члена и орофарингеальной зоны [4, 6–9].

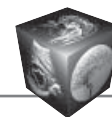
Результаты исследования ACOSOG Z0011 продемонстрировали отсутствие повышения показателей выживаемости у когорты пациентов с ограниченным поражением СЛУ при расширенном объеме вмешательства на аксиллярных ЛУ [10]. На проспективной платформе I-SPY2 зафиксированы снижение частоты выполнения лимфодиссекций и рост доли пациенток с БСЛУ (в том числе после неоадьювантной химиотерапии), что отражает смещение тактики в сторону деэскалации аксиллярной хирургии в большой популяции пациенток

[11]. На этом фоне потребность в надежной неинвазивной предоперационной методике для детекции и оценки статуса СЛУ только усиливается.

Предоперационное или амбулаторное стадирование регионарных зон лимфооттока остается приоритетной диагностической задачей. Возможности мультипараметрического ультразвукового исследования (УЗИ) расширяются за счет внедрения и более широкого использования новых методов и технологий: SMI, эластография, применение ультразвуковых контрастных препаратов (УЗКП). В исследовании Q. Zhang и соавт. проведено сравнение диагностических возможностей основных ультразвуковых модальностей: В-режим, эластография и контраст-усиленное ультразвуковое исследование (КУЗИ) с внутрикожным введением УЗКП. Было доказано повышение чувствительности, специфичности, положительной и отрицательной прогностической ценности до 94, 89, 86 и 95% соответственно, а точность детекции достигала 100% (при сравнении с методикой с использованием красителя метиленовый синий) [12]. Метаанализ X.W. Yuan и соавт. был посвящен детекции и особенностям контрастирования СЛУ в зависимости от способа введения УЗКП; было показано, что периареолярное интрадермальное введение УЗКП (контрастирование через лимфатические протоки) превосходит внутривенное контрастирование по чувствительности и площади под кривой AUC в выявлении метастазов СЛУ, снижает частоту недиагностированных метастазов. Частота пропущенных метастатических ЛУ при внутрикожном введении составила 12% (при внутривенном введении – 42%), площадь под ROC-кривой – 0,94 [13].

Трансдермальное введение УЗКП с трассировкой по лимфатическим сосудам обеспечивает высокую частоту детекции СЛУ, улучшает отбор пациентов для предоперационной тонкоигольной аспирационной биопсии и core-биопсии и потенциально прогнозирует метастатический статус ЛУ и общее метастатическое поражение подмышечных ЛУ по типам контрастирования узла [8, 10, 14–16].

W. Pang и соавт. выполнили 102 КУЗИ с внутрикожным введением УЗКП и классифицировали особенности накопления в ЛУ на 4 типа (I–IV, 6 подтипов); СЛУ и лимфатические сосуды визуализировались в 100% случаев, конкордантность составила 98%. По сравнению с серошкальным УЗИ методика с УЗКП значительно повышала диагностические возможности методики при прогнозировании метастатического поражения подмышечных ЛУ (AUC 0,794 против 0,579; $p < 0,001$): III–IV типы накопления ассоциировались с высокой частотой метастазов (74,4 и 87,5%), I–IIa–IIb –



чаще выявлялись при отсутствии метастазов (pN0). По общей метастатической нагрузке на подмышечные ЛУ при I, IIa, IIb и IIIa типах накопления, как правило, выявляли ≤ 2 метастатических СЛУ (95,5% совпадений с гистологией), IIb и IV типы ассоциированы с поражением >2 подмышечных ЛУ (71,4% совпадений); площадь под ROC-кривой при прогнозировании метастатической нагрузки на ЛУ составила 0,879 ($p < 0,001$) [8].

В исследовании Q. Cui и соавт. в проспективной когорте ($n = 109$) методика КУЗИ обеспечивала детекцию СЛУ на уровне 96,3%, при этом конкордантность с методикой с синим красителем blue dye составила 100% [17]. В работе J. Liu и соавт. уровень детекции СЛУ достигал 71,17%, а точность навигации с помощью КУЗИ при биопсии ЛУ – 94,67% [18]. При этом литературные данные подчеркивают ограничения и факторы, влияющие на точность методики: высокая чувствительность КУЗИ сопровождается умеренной специфичностью из-за ложноположительных паттернов, что подчеркивает необходимость стандартизации критериев оценки.

Целью исследования Y. Dong и соавт. стало изучение факторов, влияющих на результат предоперационного поиска СЛУ с чрескожным введением препарата Соновью. В когорте из 176 человек было показано, что чувствительность, специфичность и точность методики составляет 81,5, 90,7 и 87,8% соответственно, частота ложноотрицательных и ложноположительных результатов – 18,5 и 9,3%. Также было продемонстрировано, что возраст, локализация, глубина опухоли в толще МЖ и метастазы являются независимыми факторами, предрасполагающими к отрицательному результату в выявлении СЛУ [19].

Отдельные исследования по мультипараметрическим методикам оценки СЛУ показывают, что стандартизация протокола КУЗИ (с возможной маркировкой хода лимфатических сосудов и СЛУ) в сочетании с эластографией и морфологической верификацией обеспечивает оптимальный баланс точности и воспроизводимости методики [3, 5, 20].

Несмотря на увеличение числа исследований, посвященных применению УЗКП для выявления и прогнозирования статуса СЛУ, отсутствие стандартизированных протоколов ограничивает внедрение данной методики в рутинную предоперационную диагностику и стадирование РМЖ [21]. Несмотря на широкое освещение клинической значимости КУЗИ в литературе, небольшое количество исследований посвящено анализу количественных переменных и особенностям накопления и распределения УЗКП в ЛУ, оказывающим влия-

ние на диагностические результаты. В исследованиях с трансдермальным введением УЗКП отмечается вариабельность частоты детекции; при этом отсутствие визуализации ЛУ не всегда указывает на метастатическое поражение, а визуализируемые СЛУ могут нести метастатическую нагрузку [21–23].

В настоящее время методика оценки СЛУ с применением УЗКП ограничивается вариабельностью технического проведения и умеренной специфичностью стратификации на паттерны без унифицированной шкалы. Требуются многоцентровые исследования с унификацией протоколов (доза препарата, точки инъекции, классификация типов усиления), корреляция с видом метастаза (макро-, микрометастазы, изолированные опухолевые клетки) и общей метастатической нагрузкой на подмышечные ЛУ [11, 12, 24, 25].

Материал и методы

Данное проспективное исследование проведено на базе отделения патологии молочной железы и отдела визуальной диагностики ФГБУ “НМИЦ АГиП имени академика В.И. Кулакова” Минздрава России в период май 2024 г. – январь 2025 г. и было одобрено на заседании комиссии по этике биомедицинских исследований при ФГБУ “НМИЦ АГиП имени академика В.И. Кулакова” Минздрава России 5 сентября 2024 г. Всеми пациентами, включенными в исследование, было подписано добровольное информированное согласие.

Критерии включения: женщины старше 18 лет, первично-операбельный РМЖ, клиническая стадия Ia–IIIa (cT1–3 N0–1 M0), гистологически верифицированный инвазивный РМЖ, определенный иммуногистохимический фенотип. Критерии исключения: гистологические формы неинвазивного РМЖ (DCIS/LCIS), первично-неоперабельные формы РМЖ, пациенты после предоперационной неоадъювантной химиотерапии (НАХТ), отдаленные метастазы (M1), беременность и лактация в период проведения исследования, выраженная сопутствующая соматическая патология, аллергические реакции на препараты гексафторида серы.

Дизайн исследования включал мультипараметрическое исследование зон регионарного метастазирования, ультразвуковое контрастирование с применением УЗКП, детекцию с последующей маркировкой СЛУ красителем, интраоперационную детекцию СЛУ меченных радиофармпрепаратом и красителем (методика двойного контрастирования), на заключительном этапе – проведение и интерпретация срочного и планового гистологического исследования удаленных ЛУ.



Этапы, связанные с ультразвуковым методом, выполнялись в день операции на диагностической ультразвуковой системе Resona 9 (Mindray, КНР) с использованием линейного датчика L1 4–5 WU. При оценке в В-режиме учитывались ультразвуковые признаки: поперечный и продольный размеры ЛУ, толщина и равномерность коркового слоя, соотношение длинной/короткой оси, форма узла и его контуры. Дополнительно в режиме цветового доплеровского картирования (ЦДК) оценивался тип кровотока. После мультипараметрического исследования МЖ и зон регионарного метастазирования выполнялось исследование с УЗКП. В качестве ультразвукового контраста применяли гексафторид серы – препарат Соновью (BraccoSwiss, SA, Швейцария), который вводили интрадермально, параареоларно в 4 точки (3,6,9,12 часов условного циферблата) по 0,25 мл в каждую для создания папул (депо контраста) с последующим поверхностным массажем по направлению от ареолы к аксиллярной области для ускорения пассажа раствора контраста по лимфатическим протокам. Детекцию проводили сразу после окончания введения раствора УЗКП. Выявляли контрастируемые лимфатические протоки в наружных квадрантах МЖ с последующим выявлением зоны/зон с максимальным сигналом контрастирования в аксиллярной области (СЛУ), затем соотносили зоны контрастирования с ультразвуковым изображением ЛУ в В-режиме (левая часть экрана). Для маркировки зоны с СЛУ, выявленного методикой ультразвукового контрастирования, вводили краситель (индигокармин 0,4 мг/мл) в объеме 0,15 мл.

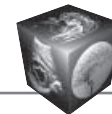
В исследование было включено 120 пациенток с верифицированным инвазивным РМЖ, поступивших на хирургическое лечение без предоперационной НАХТ. Средний возраст составил $55,9 \pm 11,8$ года; по репродуктивной функции 2/3 пациенток находились в пери- и постменопаузальном периоде, что отражает общую структуру популяции больных инвазивным РМЖ, 30,5% пациенток были репродуктивного возраста (табл. 1).

По локализации в МЖ опухоль выявлялась в правой и левой железах со схожей частотой (правая МЖ – 58 (48,3%), левая МЖ – 62 (51,7%)), по квадрантам – чаще в наружных квадрантах (в первую очередь верхненаружный – 56,7%), во внутренних квадрантах и центральной зоне – значительно реже (32 (26,7%) случая). По гистологическому типу в подавляющем большинстве случаев была выявлена инвазивная протоковая карцинома неспецифического типа – 78 (65%), реже – дольковый рак (7,5%), смешанный протоково-дольковый, муцинозный, тубулярный и редкие формы рака – в 6,7, 4,2, 3,3 и 10,8% соответ-

Таблица 1. Распределение пациенток по клинико-морфологическим характеристикам и дополнительным параметрам, статусу сигнального лимфатического узла (n = 120)

Table 1. Distribution of patients by clinico-morphological characteristics and additional parameters, and sentinel lymph node status (n = 120)

Показатель / Indicator	n	%
Репродуктивный возраст / Reproductive age:		
репродуктивный / reproductive	36	30.5
перименопауза / perimenopause	39	33.1
постменопауза / postmenopause	43	36.4
Квадрант молочной железы / Breast quadrant:		
верхненаружный / upper outer	68	56.7
верхневнутренний / upper inner	12	10.0
нижненаружный / lower outer	20	16.7
нижневнутренний / lower inner	9	7.5
центральная зона / central zone	11	9.1
Гистологическая форма рака / Histological type:		
протоковый / ductal	78	65.0
дольковый / lobular	9	7.5
протоково-дольковый / ductal-lobular	8	6.7
тубулярный / tubular	4	3.3
муцинозный / mucinous	5	4.2
микропапиллярный / micropapillary	3	2.5
прочие формы / other types	13	10.8
Grade (инвазивный рак / invasive cancer):		
I	10	8.3
II	72	60.0
III	38	31.7
Клиническая стадия / Clinical stage (cT):		
cT1	20	16.7
cT2	68	56.7
cT3	32	26.6
Молекулярный подтип / Molecular subtype:		
люминальный A / luminal A	24	20.0
люминальный B HER2– / luminal B HER2–	52	43.3
люминальный B HER2+ / luminal B HER2+	16	13.3
нелюминальный HER2+ / non-luminal HER2+	6	5.0
трижды негативный / triple-negative	18	15.0
Статус лимфатических узлов / Lymph node status (pN):		
pN0	85	70.8
pN1mi	4	3.3
pN1a	26	21.7
pN2–3	5	4.2
Стадия опухолевого процесса / Stage:		
I A	65	54.2
I B	5	4.2
II A	33	27.5
II B	13	10.8
III A	4	3.3



ственно. По дифференцировке преобладали опухоли с умеренной степенью G2 – 60%. По размерам первичной опухоли преобладали опухоли размером 2–5 см (сT2 – 56,7%), меньшая часть относилась к категориям сT1 (16,7%) и сT3 (26,6%). Когорта преимущественно была представлена пациентками с ранними стадиями РМЖ: IA – 54,2%, IB – 4,2%, IIA – 27,5%, IIB – 10,8% и IIIA – 3,3%. По молекулярным подтипам опухолей преобладали люминальные варианты: люминальный В HER2-отрицательный (43,3%) и люминальный А (20,0%), агрессивные подтипы (HER2-положительный и трижды негативный) встречались в 18% случаев.

Метастатическое поражение подмышечных ЛУ (pN+) было выявлено в 35 (29,1%) случаях, макрометастазы – в 85,7% от всех метастазов, микрометастазы – в 11,5%, изолированные опухолевые клетки – в 2,8% наблюдений. Объем аксиллярной хирургии выполнялся в различных объемах: биопсия СЛУ – 90 (75%), подмышечная лимфодиссекция (расширение объема после БСЛУ) – 30 (25%), среднее количество удаленных ЛУ – $4,83 \pm 4,4$, после проведения БСЛУ – среднее количество удаленных СЛУ – 2,65.

Качественные характеристики (стратификация на паттерны контрастирования). На основе визуальной оценки интенсивности сигнала при контрастировании и особенностей распределения УЗКП в структурах ЛУ выделены 2 типа накопления: гомогенное и гетерогенное. При гомогенным распределением УЗКП были выделены 2 подтипа – с интенсивным накоплением (I паттерн), со слабоинтенсивным накоплением (II паттерн). В зависимости от объема дефектов перфузии в структуре ЛУ, которые определялись путем динамического наблюдения за различными участками ЛУ, было проведено разделение на ЛУ с объемом дефектов менее 50% (III паттерн) и ЛУ, в которых дефекты перфузии занимали более 50% объема ЛУ (IV паттерн). Кольцевидное (периферическое распределение УЗКП) было выделено для V паттерна. Кроме ЛУ с различным типом контрастирования, были выявлены лимфатические протоки от места депонирования УЗКП в ареоларной области, которые прослеживались на всем протяжении до подмышечной области, но без наступившего контрастирования ЛУ (визуализируемого в референсной зоне монитора ультразвукового сканера в В-режиме – VI паттерн). Если структуры ЛУ не визуализировались в В-режиме при условии контрастирования протоков, то контрастирование и определение паттерна не учитывались. В нашей когорте наиболее часто встречаемые I и II паттерны выявлены в 72,5% случаев, IV, V и VI паттерны

контрастирования выявлялись в 6,7, 5,8 и 1,7% соответственно (рис. 1а–в).

В совокупности в 29,1% случаев (35/120) выявлены метастазы в подмышечных ЛУ. Чаще всего метастатическое поражение выявлялось при IV, V, VI паттернах – 87,5, 71,4 и 100% соответственно, I–II паттерны преимущественно ассоциировались с pN0 (80–86%), метастазы были выявлены в 19,7 и 14,3% случаев соответственно (табл. 2).

Статистическая значимость связи между паттерном и статусом pN подтверждена ($\chi^2 = 29,23$, df = 5, $p < 0,001$); отмечается зависимость увеличения доли ЛУ с метастатическим поражением (pN+) от I к VI паттерну ($Z = 4,64$, $p < 0,001$). Сравнение объединенных групп “III–VI паттерны” и “I–II паттерны” выявило отношение шансов (ОШ) для pN+, равное 6,02 (95% ДИ 2,50–14,49), что свидетельствует о повышении вероятности метастатического поражения при неблагоприятных паттернах контрастирования (практически в 6 раз).

Количественный анализ. В режиме постобработки с помощью программного обеспечения на записанных видеоизображениях строили кривые интенсивности (Time–Intensity Curves) на основании количественных метрик, отражающих особенности поступления, распределения и вымывания УЗКП: PKI – максимальная (пиковая) интенсивность усиления; AT (arrival time) – время поступления УЗКП в ЛУ; RT (rising time) – время нарастания сигнала до пика; TTP (time to peak) – время до достижения максимальной интенсивности сигнала; AS – наклон восходящей фазы кривой (разрешающая способность усиления); DS – наклон нисходящей фазы; FT – время фазового снижения сигнала усиления; SR (signal ratio) – отношение сигнала узла к окружающим тканям на пике контрастирования.

При оценке количественных характеристик учитывали данные 118 пациенток, так как у 2 определялся аконтрастный (VI тип) паттерн. Количественные параметры КУЗИ продемонстрировали различия распределений между группами pN0 и pN+, что подтверждается U-критерием Манна–Уитни для ряда метрик (табл. 3). Для каждого показателя рассчитаны медиана с межквартильным размахом (median [IQR]) в группах pN0 и pN+, значение p при использовании U-критерия, а также ROC-характеристики: AUC с 95% доверительным интервалом и оптимальный порог Юдена. Статистически значимых различий по U-критерию не выявлено (все метрики – $p > 0,05$). Наиболее информативные параметры (по AUC): RT – 0,604 (0,483–0,723); TTP – 0,597 (0,474–0,712); PKI – 0,592 (0,471–0,710).

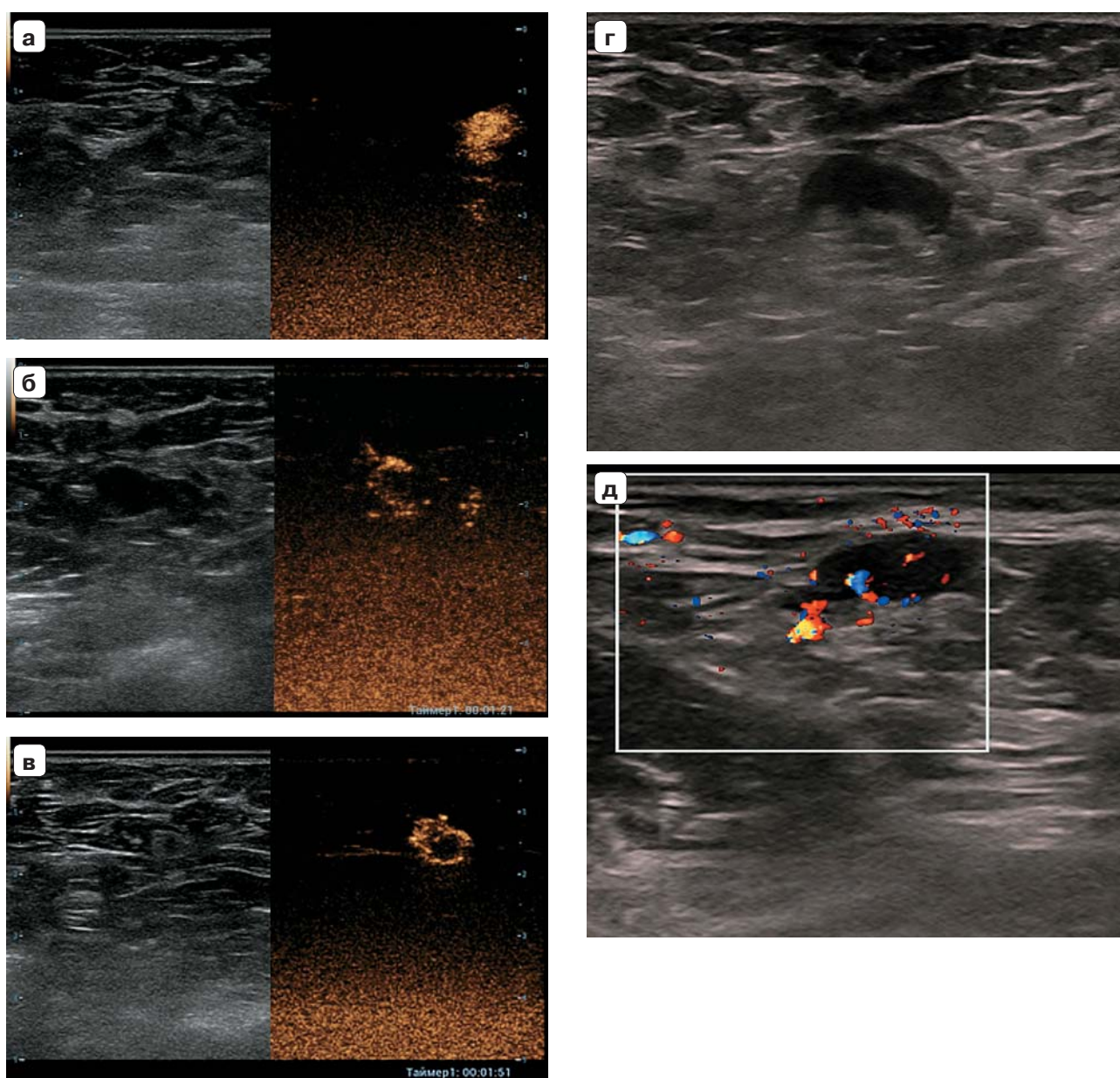


Рис. 1. Паттерны контрастирования и ультразвуковые признаки в В-режиме, характерные для метастатического поражения СЛУ. Эхограммы паттернов контрастирования. **а** – III тип (гетерогенное распределение УЗКП, дефекты перфузии занимают <50% объема ЛУ); **б** – IV тип (гетерогенное контрастирование с множественными дефектами перфузии >50% объема ЛУ); **в** – V тип (периферическое (кольцевидное) распределение УЗКП); **г** – эхограмма ЛУ в В-режиме. Визуализируется лимфатический узел с неравномерным утолщением кортикального слоя до 4,2 мм; **д** – эхограмма ЛУ в режиме ЦДК. Отмечаются периферический (нехилусный) тип кровотока, множественные цветочные локусы в кортексе.

Fig. 1. Contrast-enhancement patterns and B-mode ultrasound features characteristic of metastatic SLNs. CEUS images. **a** – type III pattern (heterogeneous enhancement with perfusion defects occupying <50% of the nodal volume); **b** – type IV (heterogeneous enhancement with multiple perfusion defects occupying >50%); **c** – type V (peripheral/annular enhancement); **d** – B-mode image: lymph node with asymmetric cortical thickening up to 4.2 mm; **e** – color Doppler image: peripheral (non-hilar) vascularity with multiple cortical color foci.

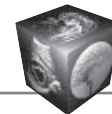


Таблица 2. Распределение паттернов контрастирования и связь со статусом сигнального лимфатического узла и видом метастаза (pN), n = 120

Table 2. Distribution of contrast-enhancement patterns and association with SLN status and metastasis type (pN), n = 120

Паттерн Pattern	Всего Total n (%)	Статус ЛУ, n (%) LN status, n (%)		Вид метастаза, n (%) Type of metastasis, n (%)		
		pN0	pN+	макрометастаз macrometastasis	микрометастаз micrometastasis	ИОК ITC
I	66 (55.0%)	53 (80.3%)	13 (19.7%)	9 (69.2%)	4 (30.8%)	1 (1.5%)
II	21 (17.5%)	18 (85.7%)	3 (14.3%)	3 (100.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
III	16 (13.3%)	11 (68.8%)	5 (31.2%)	4 (80.0%)	1 (20.0%)	0 (0.0%)
IV	8 (6.7%)	1 (12.5%)	7 (87.5%)	7 (100.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
V	7 (5.8%)	2 (28.6%)	5 (71.4%)	5 (100.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
VI	2 (1.7%)	0 (0.0%)	2 (100.0%)	2 (100.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
Всего / Total	120 (100.0%)	85 (70.8%)	35 (29.2%)	30 (85.7%)	5 (14.3%)	1 (0.8%)

Таблица 3. Количественные параметры КУЗИ (TIC-кривая) и связь с pN (n = 118)

Table 3. Quantitative CEUS parameters (time–intensity curve, TIC) and association with pN (n = 118)

Параметр Indicator	pN0: median [IQR]	pN+: median [IQR]	U-тест p	AUC (95% ДИ)	Попор Youden Youden cut-off	Se/Sp
AS	0.26 [0.12; 0.64]	0.2 [0.1; 1.04]	0.59	0.532 (0.407–0.653)	0.75	0.39/0.78
AT	16.1 [9.4; 24.7]	16.1 [10.2; 31.7]	0.66	0.526 (0.410–0.642)	7.2	0.91/0.22
DS	1.55 [0.47; 2.63]	1.29 [0.57; 2.65]	0.96	0.503 (0.388–0.618)	0.28	0.91/0.16
FT	6.7 [3.7; 11.2]	9.2 [3.8; 12.2]	0.23	0.571 (0.445–0.688)	11.8	0.42/0.82
PKI	16.7 [11.1; 22.4]	13.4 [8.13; 20.2]	0.12	0.592 (0.471–0.710)	–9.06	0.36/0.89
RT	65.2 [27; 99.1]	31.8 [12.4; 96.2]	0.08	0.604 (0.483–0.723)	–21.2	0.42/0.82
SR	6.64 [1.78; 15.6]	4.09 [0.9; 15.5]	0.39	0.551 (0.422–0.679)	–1.71	0.45/0.75
TTP	87.8 [52.5; 121]	62.5 [38.6; 113]	0.10	0.597 (0.474–0.712)	–83.1	0.64/0.58

Ультразвуковые признаки в В-режиме и режиме ЦДК. Анализ ультразвуковых признаков проводился отдельно для каждого показателя. При анализе проводились оценка продольного и поперечного размеров ЛУ, равномерность кортекса, измерение толщины кортекса в максимальном месте расширения и оценивался вид кровотока в режиме ЦДК (хилусный и нехилусный). Для бинарных признаков рассчитывалось р-значение по критерию Фишера или χ^2 ; для категориальных – общее р в критерии χ^2 ; для числовых – сравнивали медианы (median [IQR – межквартильный диапазон]) с помощью критерия Манна–Уитни, для каждого признака была дополнительно рассчитана дискриминационная способность (табл. 4).

В результате проведенного анализа было выявлено 2 статистически значимых признака: толщина кортикального слоя ЛУ оказалась существенно выше при pN+ ($p < 0,001$; AUC = 0,84), что свиде-

тельствует о высокой дискриминационной способности данного параметра. Поперечный размер ЛУ демонстрирует умеренные различия ($p = 0,02$; AUC = 0,63) (рис. 1г, д). Дополнительно при сравнении типов кровотока отмечалось, что наличие периферического (нехилусного) кровотока чаще ассоциировалось с метастатическим поражением ЛУ. Доля пациентов с нехилусным типом кровотока была значительно выше в группе с метастазами (41%), что подчеркивает диагностическую значимость этого признака при УЗИ.

Для остальных признаков статистически значимых различий не получено ($p > 0,05$); площадь под ROC-кривой AUC соответствуют низкой или умеренной информативности.

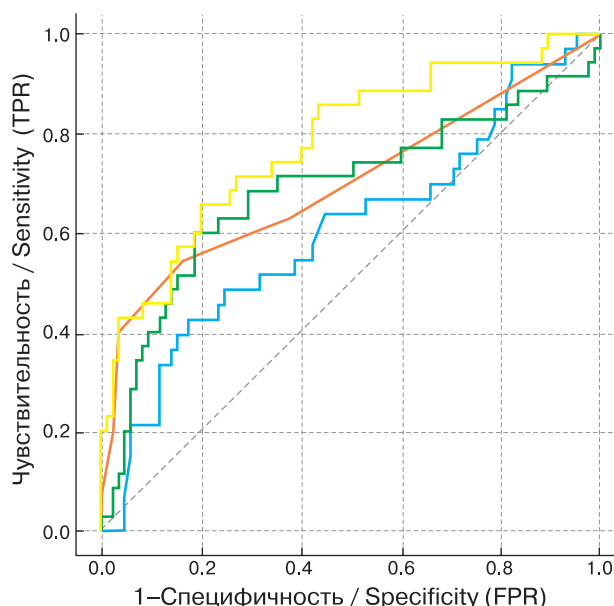
При анализе по паттернам КУЗИ получены диагностические показатели чувствительности и специфичности на уровне 54,3 и 83,5% соответственно, площадь под ROC-кривой AUC составила 0,7, что соответствует умеренной дискриминации.

**Таблица 4.** Диагностическая ценность ультразвуковых признаков (В-режим и ЦДК) при прогнозировании метастазов в сигнальном лимфатическом узле (однофакторный анализ)**Table 4.** Diagnostic value of ultrasound features (B-mode and color Doppler) for predicting sentinel lymph node metastasis (univariable analysis)

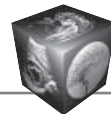
Признак Feature	pN+ при наличии признака pN+ in presence of the feature, n/N (%)	pN+ при отсутствии признака pN+ in absence of the feature, n/N (%)	ОШ (95% ДИ) OR (95% CI)	p (Fisher/ χ^2)	AUC
Продольный размер, мм Longitudinal size, mm	pN0: 17.1 [14.7; 19.5]	pN+: 15 [14.5; 17.5]	–	0.48	0.541
Поперечный размер, мм Transverse size, mm	pN0: 7 [6; 8]	pN+: 8 [6.5; 10]	–	0.02	0.633
Равномерность кортекса (да/нет) Cortical uniformity (yes/no)	16/41 (39.0%)	19/79 (24.1%)	2.02 (0.90–4.55)	0.13	0.582
Толщина кортекса, мм Cortical thickness, mm	pN0: 2.3 [1.8; 2.9]	pN+: 3.2 [2.8; 3.85]	–	<0.001	0.840
Кровоток хилусный/нехилусный) Hilar / non-hilar blood flow	16/39 (41.0%)	19/81 (23.5%)	2.27 (1.00–5.15)	0.07	0.593

Количественный подход (лучший показатель – RT) показал чувствительность 42,4%, специфичность 82,4% при AUC = 0,604, т.е. ниже по общей точности. Комбинированная модель контрастирования по паттернам и количественным метрикам обеспечила чувствительность 60,0%, специфичность 81,2%, AUC = 0,686. Наилучшие интегральные показатели в прогнозировании метастатического процесса в ЛУ продемонстрировала мультипара-

метрическая модель, интегрирующая параметры КУЗИ и характеристики В-режима: чувствительность 65,7%, специфичность 80,0%, показатель площади под ROC-кривой AUC составил 0,782. В целом добавление количественных метрик и ультразвуковых признаков по В-режиму к паттернам КУЗИ повышало AUC, однако увеличение показателей чувствительности и специфичности оставалось умеренным (рис. 2).

**Рис. 2.** ROC-кривые моделей прогнозирования метастазов в сигнальном лимфатическом узле. Показаны: качественная модель со стратификацией по паттернам КУЗИ (AUC = 0,699; чувствительность 54,3%; специфичность 83,5%), количественная модель (AUC = 0,604; 42,4%; 82,4%), комбинированная модель “качественные+количественные характеристики” (AUC = 0,686; 60,0%; 81,2%) и мультипараметрическая модель (AUC = 0,782; 65,7%; 80,0%).**Fig. 2.** ROC curves of models predicting sentinel lymph node metastasis. Shown: qualitative (CEUS patterns; AUC=0.699; sensitivity 54.3%; specificity 83.5%), quantitative (AUC = 0.604; 42.4%; 82.4%), combined “qual.+quant.” (AUC=0.686; 60.0%; 81.2%), and multiparametric (AUC = 0.782; 65.7%; 80.0%) models.

- Качественная (AUC = 0.699)
Qualitative
- Количественная (AUC = 0.604)
Quantitative
- Комбинированная (AUC = 0.687)
Combined
- Мультипараметрическая (AUC = 0.782)
Multiparametric



Анализ с учетом типа метастаза показал, что все модели демонстрируют более высокую эффективность при макрометастазах по сравнению с микрометастазами (чувствительность и AUC качественного и количественного подходов снижались для микрометастазов до 0,60–0,70), что согласуется с данными о сложностях визуализации и минимальном влиянии небольших метастатических фокусов на структуры ЛУ. При увеличении метастатической нагрузки на подмышечные ЛУ точность всех моделей повышалась.

Обсуждение

В нашем исследовании была проведена оценка диагностической значимости ультразвуковых признаков в прогнозировании метастатического поражения аксиллярных ЛУ при инвазивном РМЖ. Анализ основывался на комплексной оценке качественных характеристик распределения УЗКП в структурах ЛУ с последующей стратификацией признаков по выявленным паттернам, а также включал количественные перфузионные метрики и характеристики ЛУ, полученные в В-режиме и при ЦДК.

Целью исследования являлась оценка предиктивной силы индивидуальных и интегрированных признаков при прогнозировании метастатического поражения СЛУ, а также определение вклада каждого класса показателей в общую мультипараметрическую модель прогнозирования метастазов в СЛУ.

В нашей когорте метастатическое поражение подмышечных ЛУ ($pN > 0$) составило 35 случаев – 29,1% (из них доля макрометастазов 85,7%, микрометастазов 11%, ИОК 2,8%). Данные показатели сопоставимы с диапазонами значений у пациенток с ранним РМЖ, которые приводятся в современных научных публикациях. Согласно этим данным, частота поражения СЛУ составляет около 19% у пациенток с клинической стадией T1–2N0, но может значительно увеличиваться при наличии дополнительных факторов риска [8, 19, 26].

Качественная оценка с применением паттернов КУЗИ продемонстрировала умеренную диагностическую точность ($AUC = 0,699$; специфичность 83,5%; чувствительность 54,3%), что соответствует данным литературы о вариабельности визуального определения зон гипоусиления и дефектов перфузии, обусловленных операторозависимым фактором и особенностями протокола исследования. Однако именно стратификация по паттернам отражает ключевые особенности интранодального распределения УЗКП и лежит в основе стратификации риска поражения ЛУ [11, 12, 27].

Отдельно используемые количественные метрики контрастирования уступали по эффективности визуальным шаблонам: наилучший индивидуальный показатель (RT) обеспечил $AUC = 0,604$ при чувствительности 42,4% и специфичности 82,4%. Это ожидаемо, поскольку отдельные параметры отражают разнородные аспекты лимфоциркуляции и характеризуют лишь часть вариабельности [13, 15].

По результатам однофакторного и интегративного анализа ультразвуковые предикторы в В-режиме оказались ведущими среди одиночных признаков. Наиболее информативной характеристикой оказалась толщина кортекса ЛУ: различия между группами pN0 и pN+ были статистически значимы ($p < 0,001$), дискриминационная способность оставалась на высоком уровне ($AUC = 0,84$). Полученный эффект патофизиологически объясняется утолщением коркового слоя за счет опухолевую инфильтрации и отека с последующей утратой кортико-медуллярной дифференцировки. Поперечный размер ЛУ также ассоциировался с метастатической нагрузкой на ЛУ ($p = 0,02$) при умеренном значении $AUC = 0,63$; характеристики васкуляризации в режиме ЦДК демонстрировали пограничную ассоциацию (ОШ ~2,3; $p = 0,08$; $AUC = 0,59$), выступая вспомогательными маркерами при интерпретации основных морфометрических признаков визуализации.

Наибольший практический эффект при достижении цели дала интеграция признаков в prognostic models. Комбинированная модель (паттерны + количественные метрики) обеспечила площадь под ROC-кривой $AUC = 0,686$ (чувствительность 60,0%; специфичность 81,2%), что указывает на взаимодополняемость визуальной и числовой (объективной) информации. Мультипараметрическая модель, дополнительно включающая основные ультразвуковые признаки В-режима (толщина кортекса, поперечный размер и др.), показала лучший баланс чувствительности и специфичности ($AUC = 0,782$; чувствительность 65,7%; специфичность 80,0%), что согласуется с тенденциями современных исследований, в которых КУЗИ рассматривают не изолированно, а как компонент мультипараметрического ультразвукового стадирования и прогнозирования [8, 12, 27].

Сопоставление с данными литературы показывает, что в ряде клинических исследований предоперационный анализ паттернов контрастирования СЛУ демонстрирует высокую диагностическую эффективность (чувствительность и специфичность на уровне 80–90%); при этом в части работ отмечается очень высокая чувствитель-



ность при снижении показателей специфичности [11, 12, 27]. В исследовании J. Liu и соавт. подчеркнута ограниченная специфичность до 49% при высоких показателях чувствительности (~98%) из-за ложноположительных паттернов, что является значимым аргументом в пользу комбинирования КУЗИ с В-режимом/эластографией [18]. В исследовании “трех модальностей” КУЗИ с интрадермальным и внутривенным введением УЗКП и эластографией превзошла каждую технику по отдельности и обеспечила 100% точность идентификации СЛУ [17].

Последние метаанализы указывают на преимущество чрескожного способа введения УЗКП в пери- или параареолярной области перед внутривенным способом по чувствительности при сопоставимой площади под суммарной ROC-кривой, а также на зависимость результатов от стандартизации протокола (механический индекс, частота кадров, объем контрастного препарата, длительность записи) [13]. В этом контексте умеренные показатели качественного и количественного анализов в нашем исследовании выглядят реалистично и объяснимо в связи с использованием системы стратификации по 6 паттернам и фиксацией порогов по критерию Юдена, что смещает баланс чувствительности и специфичности; была учтена вариабельность протокола и операторозависимость методик, которые нередко остаются незамеченными в одноцентровых исследованиях с узкой экспертизой [11–13, 15, 27]. При паттернах, характерных для метастазирования (IV–VI), добавление морфометрии повышает специфичность и уменьшает риск проведения ненужных инвазивных вмешательств и позволяет прогнозировать объем аксиллярной хирургии с трендом на деэскалацию [8, 16].

Таким образом, наши данные подтверждают, что одиночные ультразвуковые признаки, в частности толщина коры, обладают высокой информативностью, однако максимальная точность достигается при интеграции паттернов, количественных метрик и ультразвуковых характеристик В-режима. Такой мультипараметрический подход представляется оптимальным для предоперационного аксиллярного стадирования у пациенток с предполагаемым cN0-статусом и позволяет взвешенно подходить к планированию объема оперативного вмешательства и проводить отбор случаев для таргетной лимфодиссекции [11–13, 15, 27].

Заключение

Мультипараметрическое УЗИ, комбинирующее данные КУЗИ, В-режима и ЦДК, повышает диагностическую точность аксиллярного стадирования

и картирования у больных РМЖ в сравнении с монорежимами. Внутрикожное введение УЗКП обеспечивает высокую частоту идентификации СЛУ и позволяет прогнозировать не только статус, но и метастатическую нагрузку на подмышечные ЛУ. Ограничениями остаются вариабельность техники проведения, умеренная специфичность отдельных паттернов контрастирования и невысокие показатели количественного анализа, в связи с чем необходима стандартизация протокола и шкал оценки.

Вклад авторов

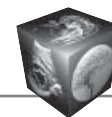
Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку рукописи, ознакомились с окончательной версией работы и одобрили ее к публикации.

Authors' participation

All authors made a significant contribution to the study and preparation of the article, read and approved the final version of the article before publication.

Список литературы [References]

1. Нартокова А.С.-Х., Койчужев А.А., Марченко А.Г., Нартоков Д.Н. Клинические аспекты биопсии сигнальных лимфатических узлов при раке молочной железы: обзор литературы. *Международный научно-исследовательский журнал*. 2021; 5 (107): 53. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.107.5.053>
Nartokova A.S.-Kh., Koychuev A.A., Marchenko A.G., Nartokov D.N. On clinical aspects of sentinel lymph node biopsy in breast cancer: a literature review. *International Research Journal*. 2021; 5 (107): 53. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.107.5.053> (In Russian)
2. Семиглазов В.Ф., Криворотко П.В., Жильцова Е.К., Канаев С.В., Труфанова Е.С., Крживицкий П.И., Комяхов А.В., Табагуа Т.Т., Николаев К.С., Бессонов А.А., Иванов В.Г., Гиголаева Л.П., Иванова О.А., Зернов К.Ю., Дашян Г.А., Семиглазов В.В., Емельянов А.С., Бусько Е.А., Чёрная А.В., Артемьева А.С., Новиков С.Н. Двадцатилетний опыт изучения биопсии сигнальных лимфатических узлов при раке молочной железы. *Опухоли женской репродуктивной системы*. 2020; 16 (1): 12–20. <https://doi.org/10.17650/1994-4098-2020-16-1-12-20>
Semiglazov V.F., Krivorotko P.V., Zhiltsova E.K. et al. Twenty-year experience of examining biopsies of signal lymph nodes in breast cancer. *Tumors of Female Reproductive System*. 2020; 16 (1): 12–20. <https://doi.org/10.17650/1994-4098-2020-16-1-12-20> (In Russian)
3. Ecanow J.S., Abe H., Newstead G.M. et al. Axillary staging of breast cancer: what the radiologist should know. *Radiographics*. 2013; 33 (6): 1589–1612. <https://doi.org/10.1148/rg.336125060>
4. Goldberg B.B., Merton D.A., Liu J.B. et al. Sentinel lymph nodes in a swine model with melanoma: contrast-enhanced lymphatic US. *Radiology*. 2004; 230 (3): 727–734. <https://doi.org/10.1148/radiol.2303021440>
5. Jin L., Wang R., Zhuang L. et al. Evaluation of whole axillary status with lymphatic contrast-enhanced ultrasound in



- patients with breast cancer. *Eur. Radiol.* 2022; 32 (1): 630–638. <https://doi.org/10.1007/s00330-021-08100-8>
6. Gkegkes I.D., Iavazzo C. Advantages by using the intradermal microbubbles for sentinel lymph node detection in penile cancer. *Hell. J. Nucl. Med.* 2016; 19 (3): 289. <https://doi.org/10.1967/s0024499100414>
7. Lahtinen O., Eloranta M., Anttila M. et al. Preoperative sentinel lymph node localization in vulvar cancer: preliminary experience with inguinal intradermal contrast-enhanced ultrasound. *Eur. Radiol.* 2018; 28 (5): 2089–2095. <https://doi.org/10.1007/s00330-017-5155-7>
8. Pang W., Zhou F., Zhu Y. et al. The value of percutaneous contrast-enhanced ultrasound in sentinel lymph node identification, metastatic status and burden diagnosis in early breast cancer. *J. Ultrasound Med.* 2024; 43: 293–303. <https://doi.org/10.1002/jum.16359>
9. Wakisaka N., Endo K., Kitazawa T. et al. Detection of sentinel lymph node using contrast-enhanced agent, Sonazoid™, and evaluation of its metastasis with superb microvascular imaging in oral and oropharyngeal cancers: a preliminary clinical study. *Acta Otolaryngol.* 2019; 139 (1): 94–99. <https://doi.org/10.1080/00016489.2018.1535193>
10. Du L.W., Liu H.L., Gong H.Y. et al. Adding contrast-enhanced ultrasound markers to conventional axillary ultrasound improves specificity for predicting axillary lymph node metastasis in patients with breast cancer. *Br. J. Radiol.* 2021; 94 (1118): 20200874. <https://doi.org/10.1259/bjr.20200874>
11. Boughey J.C., Yu H., Dugan C.L. et al. Changes in surgical management of the axilla over 11 years – report on more than 1500 breast cancer patients treated with neoadjuvant chemotherapy on the prospective I-SPY2 trial. *Ann. Surg. Oncol.* 2023; 30 (11): 6401–6410. <https://doi.org/10.1245/s10434-023-13759-y>
12. Zhang Q., Agyekum E.A., Zhu L. et al. Clinical value of three combined ultrasonography modalities in predicting axillary lymph node metastasis risk in breast IDC. *Front. Oncol.* 2021; 11: 715097. <https://doi.org/10.3389/fonc.2021.715097>
13. Yuan X.W., Cao C.L., Li W.X. et al. Diagnostic value of different CEUS methods for SLN metastasis in breast neoplasms: meta-analysis and indirect comparison. *Quant. Imaging Med. Surg.* 2025; 15 (6): 5660–5673. <https://doi.org/10.21037/qims-24-317>
14. Huang C., Luo J., Shan Z. et al. The value of the improved percutaneous and intravenous contrast-enhanced ultrasound diagnostic classification in sentinel lymph nodes of breast cancer. *Quant. Imaging Med. Surg.* 2024; 14 (3): 2391–2404. <https://doi.org/10.21037/qims-23-1210>
15. Omoto K., Futsuhara K., Watanabe T. Sentinel lymph node identification using contrast-enhanced ultrasound in breast cancer: review of the literature. *J. Med. Ultrason.* 2024; 51 (4): 581–585. <https://doi.org/10.1007/s10396-023-01313-y>. Erratum in: *J. Med. Ultrason.* 2024; 51 (4): 693. <https://doi.org/10.1007/s10396-024-01493-1>
16. Zhu Y., Jia Y., Pang W. et al. Ultrasound contrast-enhanced patterns of sentinel lymph nodes: predictive value for nodal status and metastatic burden in early breast cancer. *Quant. Imaging Med. Surg.* 13 (1): 160–170. <https://doi.org/10.21037/qims-22-234>
17. Cui Q., Dai L., Li J. et al. Contrast-enhanced ultrasound-guided sentinel lymph node biopsy in early-stage breast cancer: a prospective cohort study. *Wld J. Surg. Oncol.* 2023; 21: 143. <https://doi.org/10.1186/s12957-023-03024-7>
18. Liu J., Liu X., He J. 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>
19. Dong Y., Liu J., Jia W. et al. Factors affecting preoperative sentinel lymph nodes contrast-enhanced ultrasound in breast cancer. *Quant. Imaging Med. Surg.* 2025; 15 (9): 8125–8136. <https://doi.org/10.21037/qims-2024-2879>
20. Dobruch-Sobczak K., Szlenk A., Gumowska M. et al. Multiparametric ultrasound assessment of axillary lymph nodes in patients with breast cancer. *Sci Rep.* 2024; 14 (1): 23072. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-73376-x>
21. Barentsz M.W., Verkooijen H.M., Pijnappel R.M. et al. Sentinel lymph node localization with contrast-enhanced ultrasound and an I-125 seed: an ideal prospective development study. *Int. J. Surg.* 2015; 14: 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2014.12.019>
22. Matsuzawa F., Einama T., Abe H. et al. Accurate diagnosis of axillary lymph node metastasis using contrast-enhanced ultrasonography with Sonazoid. *Mol. Clin. Oncol.* 2015; 3 (2): 299–302. <https://doi.org/10.3892/mco.2014.483>
23. Zhong J., Sun D.S., Wei W. et al. Contrast-Enhanced Ultrasound-Guided Fine-Needle Aspiration for Sentinel Lymph Node Biopsy in Early-Stage Breast Cancer. *Ultrasound Med. Biol.* 2018; 44 (7): 1371–1378. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2018.03.005>
24. Бусько Е.А. Мультипараметрическое ультразвуковое исследование в ранней диагностике и мониторинге лечения рака молочной железы: Дис. ... д-ра мед. наук. СПб.: ФГБУ “Национальный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н.Н. Петрова” МЗ РФ, 2021. 328 с.
Busko E.A. Multiparametric ultrasound examination in early diagnosis and monitoring of treatment of breast cancer: Dis. ... Doctor of Medicine. St. Petersburg: Federal State Budgetary Institution “N.N. Petrov National Medical Research Center of Oncology” of the Ministry of Health of the Russian Federation, 2021. 328 p. (In Russian)
25. Yuan X.W., Cao C.L., Li W.X. et al. Diagnostic value of different contrast-enhanced ultrasound (CEUS) methods for sentinel lymph node metastasis in patients with breast neoplasms: a meta-analysis and indirect comparison. *Quant. Imaging Med. Surg.* 2025; 15 (6): 5660–5673. <https://doi.org/10.21037/qims-24-317>
26. Fan Y., Luo J., Lu Y. et al. The application of contrast-enhanced ultrasound for sentinel lymph node evaluation and mapping in breast cancer patients. *Quant. Imaging Med. Surg.* 2023; 13 (7): 4392–4404. <https://doi.org/10.21037/qims-22-901>
27. Giuliano A.E., Ballman K.V., McCall L. et al. Effect of axillary dissection vs no axillary dissection on 10-year overall survival among women with invasive breast cancer and sentinel node metastasis: the ACOSOG Z0011 randomized trial. *JAMA.* 2017; 318: 918–926. <https://doi.org/10.1001/jama.2017.11470>



Для корреспонденции*: Бикеев Юрий Васильевич – e-mail: yu.bikeev@gmail.com

Бикеев Юрий Васильевич – канд. мед. наук, врач-онколог, врач УЗИ, научный сотрудник отделения ультразвуковой и функциональной диагностики, отделения патологии молочной железы ФГБУ “НМИЦ акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0009-0000-3757-5025>

Родионова Мария Валерьевна – канд. мед. наук, врач-онколог отделения патологии молочной железы ФГБУ “НМИЦ акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-1540-5644>

Сенча Александр Николаевич – доктор мед. наук, заведующий отделом визуальной диагностики ФГБУ “НМИЦ акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова” Минздрава России; профессор кафедры ультразвуковой диагностики ФГАОУ ВО “РНИМУ им. Н.И. Пирогова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0009-0005-1597-1920>

Родионов Валерий Витальевич – доктор. мед. наук, заведующий отделением патологии молочной железы ФГБУ “НМИЦ акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-4589-3645>

Кометова Влада Владимировна – канд. мед. наук, заведующая отделением онкопатологии ФГБУ “НМИЦ акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-9666-6875>

Колядина Ирина Владимировна – доктор. мед. наук, профессор, ведущий научный сотрудник отделения патологии молочной железы ФГБУ “НМИЦ акушерства, гинекологии и перинатологии имени академика В.И. Кулакова” Минздрава России; профессор кафедры онкологии и паллиативной медицины им. акад. А.И. Савицкого ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-1124-6802>

Contact*: Yuri V. Bikeev – e-mail: yu.bikeev@gmail.com

Yury V. Bikeev – Cand. of Sci. (Med.), oncologist, ultrasound specialist, departments of ultrasound and functional diagnostics, breast pathology department, National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after academician V.I. Kulakov of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0009-0000-3757-5025>

Mariya V. Rodionova – Cand. of Sci. (Med.), oncologist, Breast Pathology Department, National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after academician V.I. Kulakov of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-1540-5644>

Alexander N. Sencha – Doct. of Sci. (Med.), Head of the Diagnostic Imaging Department, Professor, National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after academician V.I. Kulakov of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; Professor of the Department of Ultrasound Diagnostics, Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow. <https://orcid.org/0009-0005-1597-1920>

Valery V. Rodionov – Doct. of Sci. (Med.), Head of the Breast Pathology Department, National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after academician V.I. Kulakov of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-4589-3645>

Vlada V. Kometova – Cand. of Sci. (Med.), Head of the Oncoathology Department, National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after academician V.I. Kulakov of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-9666-6875>

Irina V. Kolyadina – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Leading Research Fellow, Breast Pathology Department, National Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology named after academician V.I. Kulakov of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; Professor, Department of Oncology and Palliative Medicine, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education (RMANPO), Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-1124-6802>