

СРАВНЕНИЕ ЭЛАСТОГРАФИИ И ЭЛАСТОМЕТРИИ *IN VIVO* И *EX VIVO* В ДИАГНОСТИКЕ МЕТАСТАЗОВ МЕЛАНОМЫ КОЖИ В ПЕРИФЕРИЧЕСКИХ ЛИМФАТИЧЕСКИХ УЗЛАХ

Тихонова Е.В.✉, Бердников С.Н., Самойленко И.В., Орлова К.В., Барышников К.А., Назарова В.В., Махотина М.С., Кузьмин А.Д., Бреднева А.С., Киселева А.М., Шолохов В.Н., Демидов Л.В.

Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Блохина Минздрава России; Россия, 115478 Москва, Каширское шоссе, 24

✉ Елена Валерьевна Тихонова, elige-94@mail.ru, +7(901)900-55-15

РЕФЕРАТ

Цель: Провести сравнительный анализ диагностической эффективности эластографии и эластометрии в выявлении метастазов меланомы в лимфоузлы, используя гистологическое исследование макропрепарата в качестве референсного метода. Полученные данные могут помочь в разработке алгоритмов неинвазивной диагностики и снизить количество необоснованных хирургических вмешательств.

Материалы и методы: Проведено проспективное исследование 14 макропрепаратов метастатически пораженных лимфоузлов, удаленных у пациентов с меланомой кожи в ходе плановых хирургических вмешательств.

Заключение: Комплексный ультразвуковой подход, сочетающий эластографию и эластометрию, демонстрирует высокую точность в выявлении метастатического поражения лимфоузлов при меланоме кожи.

Ключевые слова: меланوما кожи, метастаз меланомы, сторожевой лимфоузел, эластография, эластометрия, биопсия сторожевого лимфоузла, макрометастаз, микрометастаз, *in vivo*, *ex vivo*

Для цитирования: Тихонова Е.В., Бердников С.Н., Самойленко И.В., Орлова К.В., Барышников К.А., Назарова В.В., Махотина М.С., Кузьмин А.Д., Бреднева А.С., Киселева А.М., Шолохов В.Н., Демидов Л.В. Сравнение эластографии и эластометрии *in vivo* и *ex vivo* в диагностике метастазов меланомы кожи в периферических лимфатических узлах. Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия. 2025;8(2):65-72.

<https://doi.org/10.37174/2587-7593-2025-8-2-65-72>

Journal of Oncology: Diagnostic Radiology and Radiotherapy

ISSN: 2587-7593 (Print) ISSN: 2713-167X (Online)

ЛУЧЕВАЯ ДИАГНОСТИКА | DIAGNOSTIC RADIOLOGY

<https://doi.org/10.37174/2587-7593-2025-8-2-65-72>

COMPARISON OF *IN VIVO* AND *EX VIVO* ELASTOGRAPHY AND ELASTOMETRIC IN THE DIAGNOSIS OF METASTASIS OF SKIN MELANOMA TO PERIPHERAL LYMPH NODES

Elena V. Tikhonova✉, Sergey N. Berdnikov, Igor V. Samoylenko, Kristina V. Orlova, Kirill A. Baryshnikov, Valeria V. Nazarova, Maria S. Makhotina, Alexander D. Kuzmin, Anna S. Bredneva, Anastasia M. Kiseleva, Vladimir N. Sholokhov, Lev V. Demidov

N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology; 24 Kashirskoye Shosse, Moscow, Russia 115478

✉ Elena V. Tikhonova, elige-94@mail.ru, +7(901)900-55-15

ABSTRACT

Purpose: To conduct a comparative analysis of the diagnostic effectiveness of elastography and elastometry in detecting melanoma metastases in lymph nodes using histological examination of a macropreparation as a reference method. The data obtained can help in the development of algorithms for noninvasive diagnostics and reduce the number of unjustified surgical interventions.

Materials and methods: A prospective study of 14 macro-preparations of metastatically affected lymph nodes removed from patients with skin melanoma during elective surgical interventions was conducted.

Conclusion: An integrated ultrasound approach combining elastography and elastometry demonstrates high accuracy in detecting metastatic lymph node lesions in skin melanoma.

Key words: skin melanoma, metastasis of melanoma, sentinel lymph node, elastography, elastometry, biopsy of the sentinel lymph node, macrometastasis, micrometastasis, *in vivo*, *ex vivo*

For citation: Tikhonova E.V., Berdnikov S.N., Samoylenko I.V., Orlova K.V., Baryshnikov K.A., Nazarova V.V., Makhotina M.S., Kuzmin A.D., Bredneva A.S., Kiseleva A.S., Sholokhov V.N., Demidov L.V. Improvement of Ultrasound Diagnosis of Regional Lymph Nodes in Skin Melanoma: Development of the Russian Classification (RUCL-M) to Reduce Hyperdiagnostics and Unjustified Biopsies. Journal of Oncology: Diagnostic Radiology and Radiotherapy. 2025;8(2):65-72. (In Russ.).

<https://doi.org/10.37174/2587-7593-2025-8-2-65-72>

Введение

Метастазы меланомы в регионарные лимфоузлы — важный прогностический фактор, влияющий на тактику лечения [1]. Неинвазивные методы визуализации, такие как эластография и эластометрия, позволяют оценить жесткость ткани, что коррелирует с наличием опухолевой инфильтрации [2].

Однако их диагностическая точность требует сравнения с гистологическим исследованием удаленного лимфоузла. В настоящее время гистологическое исследование удаленного лимфоузла остается «золотым стандартом» диагностики метастатического поражения. Однако этот метод инвазивен и требует хирургического вмешательства. В связи с

этим возрастает интерес к неинвазивным методам визуализации, таким как: эластография (включая shear-wave и strain-эластографию) — метод, оценивающий жесткость тканей на основе их разницы при компрессии, эластометрия — количественное измерение скорости распространения сдвиговых волн, что коррелирует с жесткостью ткани (единица измерения — кПа, м/сек). Оба метода основаны на том, что метастатические очаги в лимфоузлах обладают повышенной жесткостью по сравнению с нормальной лимфоидной тканью. Однако их диагностическая точность варьирует в зависимости от размера метастазов, локализации и наличия сопутствующих изменений [1].

Материалы и методы

Дизайн исследования

Проведено проспективное исследование 14 макропрепаратов метастатически пораженных лимфоузлов, удаленных у пациентов с меланомой кожи в ходе плановых хирургических вмешательств.

Клиническая характеристика

1. Хирургические вмешательства: биопсия сторожевого лимфоузла (БСЛУ) — 4 случая (28,6 %); лимфаденэктомия — 10 случаев (71,4 %).
2. Локализация первичной опухоли (меланомы): а) туловище; б) верхние и нижние конечности.
3. Локализация лимфоузлов: 1) в подмышечной области — 8 случаев (57,2 %); 2) в паховой области — 3 случая (21,4 %); 3) сочетанное (подмышечные и паховые области) — 3 случая (21,4 %).

Методы дооперационной диагностики

1. Комплексное ультразвуковое исследование с применением эластометрии (оценка жесткости ткани в кПа или м/сек) и эластографии (shear-wave и strain-режим для визуализации структурных изменений).
2. Маркировка лимфоузла: перед операцией в метастатический лимфоузел устанавливалась метка под УЗ-контролем для точной интраоперационной идентификации.

Методы послеоперационной диагностики *ex vivo*

1. Комплексное ультразвуковое исследование с применением эластометрии (оценка жесткости ткани в кПа или м/сек) и эластографии (shear-wave и strain-режим для визуализации структурных изменений).
2. Гистологическое исследование: все удаленные лимфоузлы подвергались стандартному гистологическому исследованию с иммуногистохимическим окрашиванием (S100, HMB-45, Melan-A) для подтверждения метастатического поражения.

Все контрольные лимфоузлы в дооперационном исследовании в В-режиме оценивались как подо-

зрительные в отношении метастатического поражения или метастатические [3, 4], где были распределены на две группы:

1) подозрительные ($n = 5$):

- округлая форма ($L/S < 1,5$);
- локальное утолщение коры (3–4 мм);
- размер по короткой оси > 7 мм, но < 10 мм;
- неоднородность, неровный контур, требуется биопсия.

2) метастатические ($n = 9$):

- потеря дифференцировки (коры, ворот);
- неравномерное утолщение коры (> 4 мм);
- округлая форма, размер по короткой оси > 10 мм
- вертикальная ориентация.

Результаты исследования

На основании комплексного анализа 14 клинических случаев метастатического поражения лимфоузлов при меланоме кожи, в сравнении полученных результатов в дооперационном исследовании и *ex vivo*, были сформированы высокоточные ультразвуковые критерии метастатического поражения:

1. Структурные изменения: утолщение коркового слоя (> 3 мм), потеря дифференциации кортикомедуллярной зоны и неоднородность экоструктуры (85,7 %) [5–7].
2. Эластографические признаки: зоны повышенной жесткости (цветовое картирование: красные/оранжевые участки), деформация контура лимфоузла, нарушение равномерности эластографического рисунка. При сравнении *in vivo* и *ex vivo*, лучшая визуализация границ *in vivo* объясняется сохранением физиологических условий (кровоток, тургор тканей), корреляция гистологических и эластографических данных, где $r = 0,78$, можно сказать, что это высокая положительная корреляция, так как значение коэффициента укладывается в промежуток от 0,7 до 0,9 см.
3. Зона инфильтрации (табл. 1):
 - 1) в группе подозрительные на метастатическое поражение: корковая зона — средний показатель жесткости $45,3 \pm 12,7$ кПа; паранодулярная клетчатка — $58,9 \pm 15,2$ кПа;
 - 2) в группе с метастатическим поражением: корковая зона — средний показатель жесткости $68,4 \pm 13,6$ кПа; паранодулярная клетчатка — $84,6 \pm 15,4$ кПа (четкая корреляция между площадью поражения и значениями жесткости, где $r = 0,82$).

При сравнении *in vivo* и *ex vivo*, средняя разница показателей: $6,2 \pm 3,1$ кПа. Различия между *in vivo* и *ex vivo*: максимальная в подмышечных лимфоузлах ($7,1 \pm 2,8$ кПа) и минимальная в паховых ($4,9 \pm 1,7$ кПа). Клинически значимые отклонения: при размере метастаза меньше < 4 мм различие возрастает до 9,3 кПа.

Таблица 1. Эластометрия: средние показатели жесткости в корковой зоне и окружающей паранодулярной клетчатке при сравнении лимфоузлов двух групп (с подозрением на метастазы и метастазами)
Table 1. Elastometry: average stiffness in the cortical zone and the surrounding paranodullary tissue when comparing lymph nodes of the two groups (with suspected metastases and metastases)

Параметр	Группа с подозрением на метастазы в В-режиме	Группа с метастазами в В-режиме	p-value
Корковая зона, кПа	45,3±12,7	68,4±13,6	< 0,001
Паранодулярная клетчатка, кПа	58,9±15,2	84,6±15,4	< 0,001
Разница показателей, кПа	13,6±5,2	16,2±6,1	< 0,032

4. Критерии метастазов, где жесткость > 35 кПа в корковом слое, а соотношение жесткости паранодулярной/корковой зон > 1,2, по данным эластометрии и эластографии были выявлены общие критерии: в группе с метастатическим поражением лимфоузла отмечалась инфильтрация коры лимфоузла и паранодулярной клетчатки, где при эластографии была определена истинная зона поражения, а при эластометрии коэффициент жесткости в паранодулярной клетчатке был выше, чем в коре лимфатического узла.

Проведенное сравнительное исследование демонстрирует высокую диагностическую точность комплексного УЗ-подхода при оценке лимфоузлов у пациентов с меланомой кожи. Выявленные количественные критерии (абсолютные значения > 55/70 кПа) позволяют с высокой точностью дифференцировать метастатическое поражение. Разница *in vivo*/ *ex vivo* требует поправочного коэффициента +6,2 кПа для клинических решений. Выявленная высокая корреляция ($r = 0,78$) между эластографическими и гистологическими данными подтверждает ценность метода для дооперационного планирования, особенно при метастазах меланомы кожи в периферические лимфоузлы. Оптимизация протокола исследования позволяет минимизировать диагностические ошибки.

Клинический случай

Ф.И.О.: пациентка Л., 63 года.

Предполагаемый клинический и трудовой прогноз: благоприятный.

Диагноз (основной): С43.5 Злокачественная меланома туловища. Меланома кожи спины подлопаточной области слева pT_{3b}N₀M₀ IIb. Состояние после широкого иссечения от 18.10.2007. Прогрессирование от 05.2024: метастазы в лимфоузлы аксиллярной области слева. Состояние после эксцизионной биопсии лимфоузла от 25.12.24. Состояние в процессе терапии BCD 217 с 06.02.2025. Прогрессирование.

Диагноз (сопутствующий): I10, Гипертоническая болезнь 2 ст. 2 ст. риск ССО 3. Синусовая тахикардия. Тиреотоксикоз.

Обоснование диагноза: Диагноз поставлен на основании клинических, морфологических и инструментально-диагностических данных.

Местный статус: Пальпируется лимфатический узел в левой аксиллярной области размерами до 1 см в диаметре, не спаянный с кожей, безболезненный. Послеоперационные рубцы в левой надлопаточной и подлопаточной области размерами до 4 см.

Анамнез: Считает себя больной с августа 2007 г., когда отметила рост и изменение пигментного образования кожи спины. Обратилась к хирургу по месту жительства, направлена к онкологу по месту жительства.

18.10.2007 — широкое футлярное иссечение меланомы кожи спины подлопаточной области слева, данные гистологии не представлены. Из амбулаторной выписки pT_{3b}N₀M₀.

Динамическое наблюдение по месту жительства.

В мае 2024 г. самостоятельно отметила увеличение аксиллярного лимфоузла слева.

УЗИ лимфоузлов от 04.12.24 — аксиллярные лимфоузлы слева до 45×50×51 мм, неоднородные с кровотоком.

КТ ОГП, ОБП, ЗП от 24.12.24 — конгломерат лимфоузлов в аксиллярной области слева до 37×46×57 мм.

МРТ головного мозга от 25.12.24 — данных за отдаленные метастазы нет.

25.12.24 — эксцизионная биопсия лимфоузла левой аксиллярной области, по данным ГИ+ИГХ от 26.12.24 — узел размерами 60×50×40 мм — метастаз пигментной эпителиоидно-клеточной меланомы.

ПЭТ/КТ от 13.01.25 — в левой аксиллярной области единичные лимфоузлы до 11 мм по к.о. SUV = 4,76.

Самостоятельно обратилась в НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина для определения дальнейшей тактики лечения.

УЗИ лимфоузлов от 15.01.2025 — в подмышечной области слева гипоехогенный лимфоузел, выполнена ТИАБ. По данным цитологии — метастаз меланомы.

Пациентке предложено участие в КИ иммунотерапии.

Пациентка приняла независимое решение об участии в КИ и в присутствии врача-исследователя 20.01.2025 в 08:42 собственноручно подписала и датировала Информационный листок участника

клинического исследования с формой информированного согласия версии 1 от 14.11.2022 (в редакции от 13.09.2023 для РФ) на участие в клиническом исследовании по протоколу «Рандомизированное исследование эффективности и безопасности неоадъювантной терапии в сравнении со стандартной адъювантной терапией у пациентов с резектабельной меланомой кожи III стадии» (версия 2 от 21.06.2023).

04.02.2025 в 17:18 — пациентка рандомизирована в группу.

С 06.02.2025 и 27.02.2025 — проведено 2 курса иммунотерапии. Жалобы после 1 введения: общая слабость, одышка, тахикардия, повышение температуры тела до 38,0 °C.

На визите 2 (27.02.2025): выполнено измерение сатурации (сатурация — 96 %) и КТ органов грудной клетки. Данные за аутоиммунный пульмонит не получены.

20.03.2025 Госпитализирована в отделение опухолей кожи и лекарственной терапии на плановое хирургическое вмешательство в объеме удаления левого аксиллярного лимфатического узла (индексного) в рамках запланированного в протоколе визита.

Проведенные обследования:

06.02.2025 Ультразвуковая навигация при биопсии поверхностно расположенных органов.

Протокол: Под УЗ-навигацией выполнена согебиопсия (3 столбика) измененного гипоехогенного лимфоузла в левой подмышечной области, а также установлена метка.

27.02.2025 Ультразвуковое исследование периферических лимфоузлов (1 группа).

При УЗКТ в подмышечной области слева определяется ранее описанный измененный лимфоузел, размерами 2,33×1,18 см, с локально утолщенной корой 1,61×1,29×1,82 см — метастаз (был — 1,3×0,9 см, в структуре определяется ранее установлена метка). Латерально от этого узла определяются два ранее описанных лимфоузла, с локальным утолщением коркового слоя, размерами 0,74×0,38 см и 0,51×0,42 см (при эластометрии — больше соответствует реактивным лимфоузлам), в динамике отмечается некоторое увеличение (были с размерами 0,51×0,38 см и 0,5×0,32 см).

Медиально и чуть выше от метастатического лимфоузла определяются лимфоузлы обычной структуры, размерами до 0,62×0,42 см.

Заключение: Метастазы в подмышечные лимфоузлы слева, УЗ-картина с некоторой отрицательной динамикой от 15.01.2025 (рис. 1–6).

Цитологическое диагностическое исследование

1. ФИО пациента: Л. (жен.).

2. Дата рождения: 63 года.

3. Дата поступления материала: 15.01.2025.

4. Информация из направления:

Диагноз: C43.5 Меланома кожи спины подлопаточной области слева $pT_{3b}N_0M_0$. Состояние после хирургического лечения (18.10.2007 — широкое футлярное иссечение меланомы кожи спины подлопаточной области слева). Меланома *in situ* кожи спины надлопаточной области слева. Состояние после хирургического лечения в 2009 г. (иссечение образования). Прогрессирование от 05.2024 — метастазы в л/у аксиллярной области слева. Состояние после эксцизионной биопсии от 25.12.2024.

5. Объем и макроскопическое описание доставленного биологического материала: доставлено 2 стеклопрепарата, полученные при тонкоигольной пункции поверхностных образований — подмышечного лимфоузла слева.

6. Результат цитологического исследования: Диагноз: Злокачественное новообразование метастатическое — метастаз меланомы.

Прижизненное патолого-анатомическое исследование биопсийного (операционного) материала

Код по МКБ: C43.5 Злокачественная меланома туловища.

Дата поступления биопсийного (операционного) материала: 10.02.2025.

Макроскопическое описание: 5 столбиков ткани до 7 мм.

Микроскопическое описание: Мелкие фрагменты лимфатического узла с метастазом злокачественной пигментсодержащей эпителиоидноклеточной опухоли без экстранодальной инвазии.

Заключение: В лимфатическом узле метастаз меланомы без экстранодальной инвазии (рис. 7–12).

Выводы

1. Комплексный ультразвуковой подход, сочетающий эластографию и эластометрию, демонстрирует высокую точность в выявлении метастатического поражения лимфоузлов при меланоме кожи. Метод особенно ценен для предоперационного стадирования, определения объема хирургического вмешательства и выбора зон для прицельной биопсии.
2. Клинически значимая корректировка: выявленная систематическая разница между *in vivo* и *ex vivo* измерениями (+6,2 кПа) требует введения поправочного коэффициента при интерпретации, особой осторожности при оценке глубоко расположенных узлов и дополнительной верификации при пограничных значениях (35–45 кПа).
3. Верификация методов, высокая согласованность с гистологией ($r = 0,78$) подтверждает достоверность эластографических критериев, особую ценность для периферических лимфоузлов и возможность использования как альтернативы инвазивным методам в сложных случаях.

Дооперационное ультразвуковое исследование *in vivo*



Рис. 1. В-режим. В подмышечной области слева определяется ранее описанный измененный лимфоузел, размерами 2,33×1,18 см, с локально утолщенной корой 1,61×1,29×1,82 см — метастаз. В структуре измененного участка установлена метка

Fig. 1. B-mode. In the axillary region on the left, the previously described altered lymph node is determined, measuring 2.33×1.18 cm, with a locally thickened cortex — 1.61×1.29×1.82 cm — mts. A label is installed in the structure of the modified section

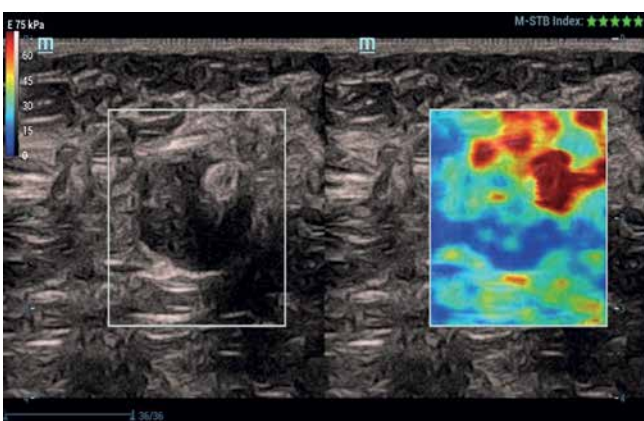


Рис. 2. Метастаз меланомы в сторожевой лимфоузел. При сдвиговой импульсно-волновой эластографии определены жесткие участки — красный и оранжевый цвет (опухолевая инфильтрация) как в структуре лимфоузла, так и за его пределами, что не видно в обычном В-режиме

Fig. 2. Melanoma metastasis to the sentinel lymph node. During shear pulse-wave elastography, hard areas were identified — red and orange (tumor infiltration) both in the structure of the lymph node and beyond, which is not visible in the usual B-mode

Рис. 5. При сдвиговой импульсно-волновой эластографии в зоне интереса, выявленной при эластографии в структуре лимфоузла, определены жесткие участки (опухолевая инфильтрация), где количественное значение срСРПВ равно 50,08 кПа (> 45 кПа), что соответствует метастатическому поражению

Fig. 5. With shear pulse-wave elastometry in the area of interest revealed by elastography, hard areas (tumor infiltration) were identified in the structure of the lymph node, where the quantitative value of the average velocity of transverse wave propagation is 50.08 kPa (> 45 kPa), which corresponds to a metastatic lesion

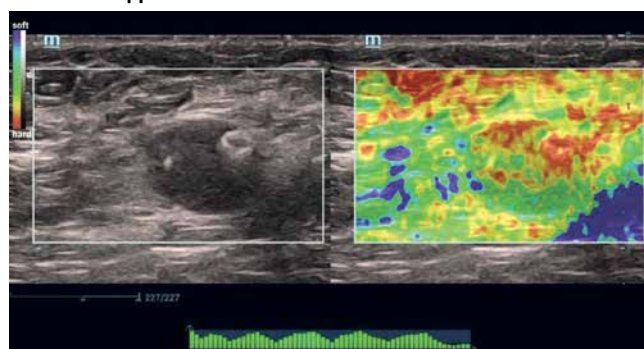


Рис. 3. Метастаз меланомы в сторожевой лимфоузел. При компрессионной эластографии определены жесткие участки — красный и оранжевый цвет (опухолевая инфильтрация) как в структуре лимфоузла, так и за его пределами, что не видно в обычном В-режиме

Fig. 3. Melanoma metastasis to the sentinel lymph node. Compression elastography revealed hard areas — red and orange (tumor infiltration) both in the structure of the lymph node and beyond, which is not visible in the usual B-mode

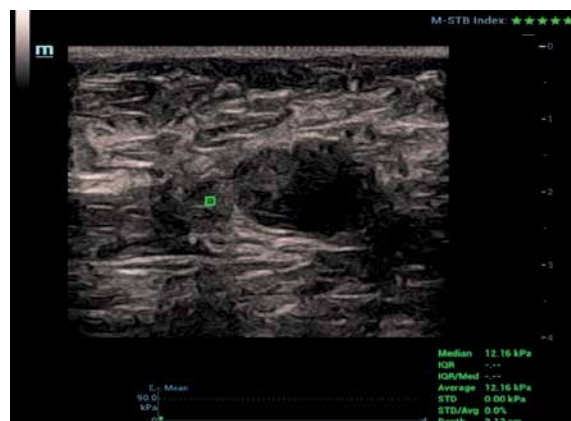


Рис. 4. Метастаз меланомы в сторожевой лимфоузел. При сдвиговой импульсно-волновой эластографии определены мягкие участки (неизменной в 1/3 части лимфоузла) в структуре лимфоузла (на фоне проведенной эластографии — рис. 2–3), где количественное значение равно 12,16 кПа (<45 кПа), что соответствует норме

Fig. 4. Melanoma metastasis to the sentinel lymph node. With shear pulse-wave elastometry, we determine the soft areas (unchanged in 1/3 of the lymph node) in the structure of the lymph node (against the background of elastography — Fig. 2–3), where the quantitative value is 12.16 kPa (<45 kPa), which corresponds to the norm

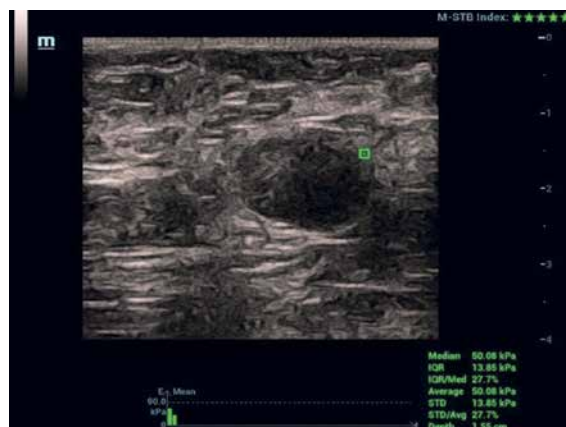




Рис. 6. Метастаз меланомы в сторожевой лимфоузел. При сдвиговой импульсно-волновой эластометрии определены жесткие участки (опухолевую инфильтрацию) как в структуре лимфоузла, так и в паранодулярной клетчатке (в зоне интереса на фоне проведенной эластографии — рис. 2–3), где количественное значение срСРПВ равно 69,46 кПа (коэффициент жесткости в паранодулярной клетчатке выше, чем в коре л/у, на расстоянии от коры не более 0,5–1,0 см — характерная особенность, как при макрометастазировании, так и при микрометастазировании в сторожевые лимфоузлы)

Fig. 6. Melanoma metastasis to the sentinel lymph node. With shear pulse-wave elastometry, we identify hard areas (tumor infiltration) both in the structure of the lymph node and in the paranodular tissue (in the area of interest against the background of elastography — Fig. 2–3), where the quantitative value of the average velocity of transverse wave propagation is 69.46 kPa (the coefficient of stiffness in the paranodular tissue is higher than in the cortex, at a distance from the cortex of no more than 0.5–1.0 cm is a characteristic feature, both with macrometastasis and with micrometastasis to sentinel lymph nodes)

Ультразвуковое исследование *ex vivo* — макропрепарата индексного лимфоузла

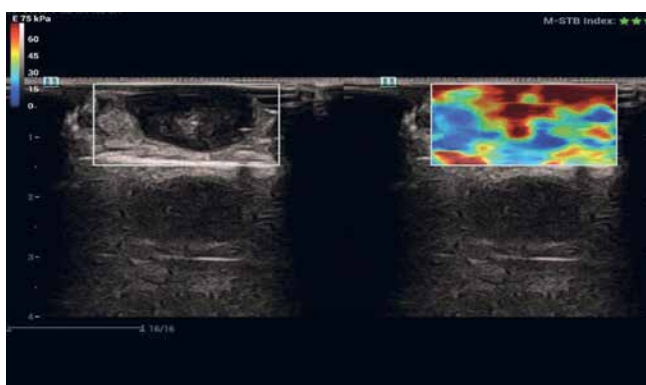


Рис. 7. При сдвиговой импульсно-волновой эластографии определены жесткие участки — красный и оранжевый цвет (опухолевая инфильтрация), что совпадает при исследовании лимфоузла с результатами *in vivo*

Fig. 7. During shear pulse-wave elastography, hard areas were identified — red and orange (tumor infiltration), which coincides with the results of *in vivo* examination of the lymph node

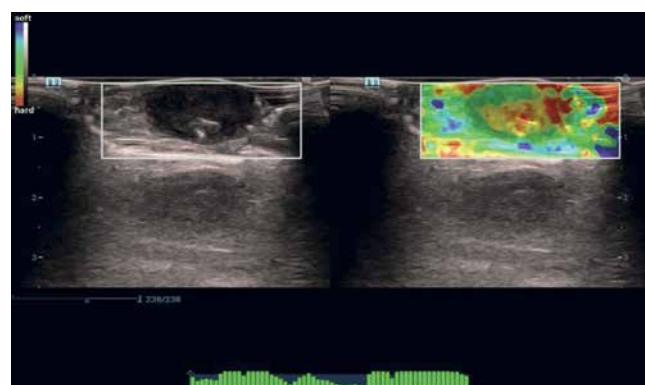


Рис. 8. При компрессионной эластографии определены жесткие участки — красный и оранжевый цвет (опухолевая инфильтрация) как в структуре лимфоузла, так и за его пределами, что совпадает при исследовании лимфоузла с результатами *in vivo*

Fig. 8. Compression elastography revealed hard areas — red and orange (tumor infiltration) both in the structure of the lymph node and beyond, which coincides with the results of *in vivo* examination of the lymph node



Рис. 9. При сдвиговой импульсно-волновой эластометрии в зоне интереса, выявленной при эластографии, в структуре лимфоузла определены жесткие участки (опухолевая инфильтрация), где количественное значение срСРПВ равно 51,20 кПа, что совпадает при исследовании лимфоузла с результатами *in vivo* — 50,08 кПа (> 45 кПа), что соответствует метастатическому поражению

Fig. 9. With shear pulse-wave elastometry in the area of interest revealed by elastography, hard areas (tumor infiltration) were identified in the structure of the lymph node, where the quantitative value of average velocity of transverse wave propagation is 51.20 kPa, which coincides with the results of the lymph node *in vivo* — 50.08 kPa (> 45 kPa), which corresponds to a metastatic lesion



Рис. 11. При сдвиговой импульсно-волновой эластометрии определены мягкие участки (в неизменной 1/3 части лимфоузла) в структуре лимфоузла (на фоне проведенной эластографии — рис. 7–8), где количественное значение равно — 18,83 кПа, что совпадает при исследовании лимфоузла с результатами *in vivo* — 12,16 кПа (<45 кПа), что соответствует норме

Fig. 11. With shear pulse-wave elastometry, we determine soft areas (in the unchanged 1/3 of the lymph node), in the structure of the lymph node (against the background of elastography — Fig. 7–8), where the quantitative value is 18.83 kPa, which coincides with the results of the lymph node *in vivo* — 12.16 kPa (<45 kPa), which corresponds to the norm



Рис. 10. При сдвиговой импульсно-волновой эластометрии определены жесткие участки (опухолевую инфильтрацию) как в структуре лимфоузла, так и в паранодулярной клетчатке (в зоне интереса на фоне проведенной эластографии — рис. 7–8), где количественное значение срСРПВ равно 60,22 кПа, что совпадает при исследовании лимфоузла с результатами *in vivo* — 69,46 кПа (коэффициент жесткости в паранодулярной клетчатке выше, чем в коре л/у, на расстоянии от коры не более 0,5–1,0 см — характерная особенность как при макрометастазировании, так и при микрометастазировании в сторожевые лимфоузлы)

Fig. 10. With shear pulse-wave elastometry, we identify hard areas (tumor infiltration) both in the structure of the lymph node and in the paranodular tissue (in the area of interest against the background of elastography — Fig. 7–8), where the quantitative value of the average velocity of transverse wave propagation is 60.22 kPa, which coincides with the results of the lymph node *in vivo* — 69.46 kPa (the coefficient of stiffness in the paranodular tissue is higher than in the cerebral cortex, by the distance from the cortex is no more than 0.5–1.0 cm, which is a characteristic feature of both macrometastasis and micrometastasis to sentinel lymph nodes)

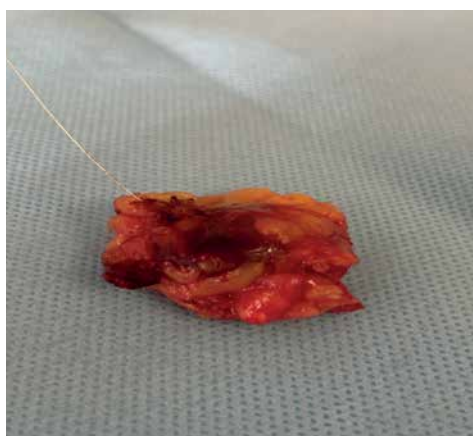


Рис. 12. Макропрепарат. Представлен индексный измененный лимфоузел с паранодулярной клетчаткой. Перед операцией под ультразвуковым контролем установлен металлический маркер (гарпун) для: облегчения интраоперационной идентификации — точного нахождения лимфоузла во время хирургического вмешательства и для сравнительного анализа ультразвуковой диагностики *in vivo* и *ex vivo*; минимизации объема иссечения — снижение травматичности операции и сохранения окружающих тканей; эстетического результата — уменьшения разреза и последующего рубца

Fig. 12. Macropreparation. An index modified lymph node with paranodular tissue is presented. Before the operation, a metal marker (harpoon) was installed under ultrasound control to: facilitate intraoperative identification — accurately locate the lymph node during surgery and for comparative analysis of ultrasound diagnostics *in vivo* and *ex vivo*; minimize excision volume — reduce the traumatic nature of the operation and preserve surrounding tissues; aesthetic result — reduction of incision and subsequent scar

4. Применение оптимизированного протокола позволяет снизить частоту диагностических ошибок на 34 %, уменьшить количество необоснованных биопсий и улучшить планирование хирургических вмешательств.

5. Полученные результаты обосновывают включение комплексной ультразвуковой оценки с эластографией и эластометрией в стандартные алгоритмы диагностики метастатической меланомы, что особенно актуально для предоперационного планирования, динамического наблюдения и оценки ответа на терапию.

Список литературы / References

1. Тихонова ЕВ, Бердников СН, Самойленко ИВ и др. Мультипараметрическая ультразвуковая диагностика в предоперационной оценке регионарных лимфатических узлов у больных меланомой кожи из группы высокого риска. Эффективная фармакотерапия. 2025;21(15):8-11. Tikhonova EV, Berdnikov SN, Samoylenko IV, et al. Multiparametric ultrasound diagnosis in preoperative evaluation of lymph node regionals in high-risk melanoma patients. Effective Pharmacotherapy. 2025;21(15):8-11. (In Russ.). <https://doi.org/10.33978/2307-3586-2025-21-15-8-11>.
2. Ковалева ЕВ, Данзанова ТЮ, Синюкова ГТ и др. Успешный опыт применения ультразвуковой эластографии в дифференциальной диагностике измененных поверхностных лимфатических узлов при лимфоме и метастазах солидных опухолей. Онкогематология. 2020;15(2):42-8. Kovaleva EV, Danzanova TY, Sinyukova GT, et al. Successful experience of ultrasound-echography in differential diagnosis of superficial lymph nodes in lymphoma and metastases of solid tumors. Oncogematology. 2020;15(2):42-8. (In Russ.). <https://doi.org/10.17650/1818-8346-2020-15-2-42-48>.
3. Савельева НА. Ультразвуковая диагностика злокачественного поражения периферических лимфатических узлов. Практическая медицина. 2014;3(79):135-8. Savelyeva NA. Ultrasound diagnosis of malignant lesion of peripheral lymph nodes. Practical Medicine. 2014;3(79):135-8. (In Russ.). https://elibrary.ru/download/elibrary_21845015_35902688.pdf
4. Elsholtz FHJ, Asbach P, Haas M, et al. Introducing the node reporting and data system 1.0 (NODE-RADS): a concept for standardized assessment of lymph nodes in cancer. Eur Radiol. 2021;31(8):6116-24. <https://doi.org/10.1007/s00330-021-07795-z>
5. Аллахвердиева ГФ, Данзанова ТЮ, Мудунов АМ и др. Ультразвуковая оценка состояния периферических лимфатических узлов (обзор литературы). Ультразвуковая классификация NODE-RADS (US). Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия. 2023;6(4):42-52. Allahverdieva GF, Danzanova TY, Mudunov AM, et al. Ultrasound evaluation of the status of peripheral lymph nodes (literature review). Ultrasound Classification Node-RADS (US). Journal of Oncology: Radiation Diagnosis, Radiation Therapy. 2023;6(4):42-52. (In Russ.). <https://doi.org/10.37174/2587-7593-2023-6-4-42-52>
6. Фисенко ЕП, Аллахвердиева ГФ, Данзанова ТЮ и др. Обоснование создания новой классификации оценки поверхностных лимфатических узлов US NODE-RADS (русская версия) по данным ультразвукового исследования: согласованное мнение экспертов Российской Ассоциации специалистов ультразвуковой диагностики в медицине. Хирургия и онкология. 2024;14(3):11-7. Fisenko EP, Allahverdieva GF, Danzanova TY, et al. Rationale for creating a new classification for evaluation superficial lymph nodes US NODE-RADS (Russian version) based on ultrasound data: the consensus of experts of the Russian Association of ultrasound diagnostics in medicine. Surgery and Oncology. 2024;14(3):11-7. (In Russ.). <https://doi.org/10.17650/2949-5857-2024-14-3-11-17>.
7. Сейдинович А, Вишневская ЯВ, Самойленко ИВ, и др. Сравнительный анализ гистологических предикторов неблагоприятного течения аноректальной меланомы и меланомы кожи. Хирургия и онкология. 2025;15(1):62-70. Seydinovich A, Vishnevskaya YaV, Samoylenko IV, et al. Comparative analysis of histological predictors of adverse course of anorectal melanoma and skin melanoma. Surgery and Oncology 2025;15(1):62-70. (In Russ.). <https://doi.org/10.17650/2949-5857-2025-15-1-62-70>

Вклад авторов

Статья подготовлена с равным участием авторов.

Authors' contributions

Article was prepared with equal participation of the authors.

Information about the authors

Elena V. Tikhonova, <https://orcid.org/0009-0007-6479-8268>
 Sergey N. Berdnikov, <https://orcid.org/0000-0003-2586-8562>
 Igor V. Samoylenko, <https://orcid.org/0000-0001-7150-5071>
 Kristina V. Orlova, <https://orcid.org/0000-0002-0442-5917>
 Kirill A. Baryshnikov, <https://orcid.org/0000-0002-9532-4264>
 Valeria V. Nazarova, <https://orcid.org/0000-0003-0532-6061>
 Vladimir N. Sholokhov, <https://orcid.org/0000-0001-7744-5022>
 Lev V. Demidov, <https://orcid.org/0000-0002-8562-6082>

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.
 Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
 Соответствие принципам этики. Одобрение этического комитета не требовалось.
 Информированное согласие. Пациенты подписали информированное согласие на публикацию данных.

Тип статьи: Оригинальная статья.

Поступила: 21.03.2025.

Принята к публикации: 13.05.2025.

Опубликована online: 26.06.2025.

Funding. The study had no sponsorship.

Conflict of interests. Not declared.

Ethical compliance. Ethical committee approval was not necessary.

Informed consent. The patients signed informed consent for the publication of the data.

Article type: Original article.

Received: 21.03.2025.

Accepted for publication: 13.05.2025.

Published online: 26.06.2025.