

ПРОГНОСТИЧЕСКАЯ ЛОГИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РИСКА МЕТАСТАТИЧЕСКОГО ПОРАЖЕНИЯ РЕГИОНАРНЫХ ЛИМФАТИЧЕСКИХ УЗЛОВ У БОЛЬНЫХ МЕЛАНОМОЙ КОЖИ

Тихонова Е.В.¹✉, Сергеева А.М.², Бердников С.Н.¹

¹ Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н.Н. Блохина Минздрава России; Россия, 115478, Москва, Каширское шоссе, 24

² Национальный исследовательский университет «МЭИ»; Россия, 111250, Москва, Красноказарменная улица, 14, стр. 1

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

РЕФЕРАТ

Актуальность: Меланома кожи характеризуется выраженным метастатическим потенциалом, при этом поражение регионарных лимфатических узлов является ключевым прогностическим фактором.

Цель: Разработать и оценить логистическую модель прогнозирования метастатического поражения регионарных лимфатических узлов у больных меланомой кожи.

Материалы и методы: Проведено одноцентровое проспективное исследование 121 пациента с морфологически верифицированным статусом лимфатических узлов. В модель включены клинические характеристики, параметры первичной опухоли, ультразвуковые и эластографические признаки лимфоузлов, данные сцинтиграфии и результаты цитологической/гистологической верификации.

Результаты: Модель продемонстрировала высокую дискриминационную способность (ROC AUC ≈ 0,95). При пороге $p = 0,272$ чувствительность составила около 0,85, специфичность — около 0,96. Разработана четырёхуровневая шкала риска.

Заключение: Полученная модель может использоваться для стратификации риска метастазирования и обоснования необходимости инвазивного стадирования.

Ключевые слова: меланома кожи, лимфатические узлы, метастазы, прогностическая модель, логистическая регрессия, ROC-кривая, эластография

Для цитирования: Тихонова Е.В., Сергеева А.М., Бердников С.Н. Прогностическая логистическая модель риска метастатического поражения регионарных лимфатических узлов у больных меланомой кожи. Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия. 2026;9(2):59-63.

<https://doi.org/10.37174/2587-7593-2026-9-2-59-63>

PREDICTIVE LOGISTIC MODEL OF REGIONAL LYMPH NODE METASTASIS RISK IN PATIENTS WITH CUTANEOUS MELANOMA

Elena V. Tikhonova¹✉, Anna M. Sergeeva², Sergey N. Berdnikov¹

¹ N.N. Blokhin National Medical Research Center of Oncology, Ministry of Health of Russia; 24 Kashirskoe Shosse, Moscow, 115522, Russia

² National Research University "MEI"; 14 Build. 1 Krasnokazarmennaya Str., Moscow, 111250, Russia

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

ABSTRACT

Relevance: Cutaneous melanoma is characterized by high metastatic potential, and regional lymph node involvement is a key prognostic factor.

Purpose: To develop and evaluate a logistic regression model for predicting regional lymph node metastases.

Materials and methods: A single-center retrospective study included 121 patients with morphologically verified lymph node status. Clinical, ultrasound, elastography, scintigraphy, and pathological data were analyzed.

Results: The model demonstrated high discrimination (ROC AUC ≈ 0.95). At $p = 0.272$ sensitivity was ~0.85 and specificity ~0.96. A four-level risk stratification system was developed.

Conclusion: The model can be used for risk stratification and decision-making regarding invasive nodal staging.

Key words: melanoma, lymph nodes, metastases, predictive model, logistic regression, ROC curve, elastography

For citation: Tikhonova E.V., Sergeeva A.M., Berdnikov S.N. Predictive Logistic Model of Regional Lymph Node Metastasis Risk in Patients with Cutaneous Melanoma. Journal of Oncology: Diagnostic Radiology and Radiotherapy. 2026;9(2):59-63. (In Russ.).

<https://doi.org/10.37174/2587-7593-2026-9-2-59-63>

Введение

Меланома кожи относится к числу наиболее агрессивных злокачественных опухолей и обладает высоким метастатическим потенциалом, внося значительный вклад в онкологическую смертность [1]. Прогноз заболевания во многом определяется состоянием регионарных лимфатических узлов: их поражение ухудшает показатели выживаемости, влияет на стадирование и определяет необходимость более интенсивного лечения [2, 3].

Одним из ключевых методов стадирования является биопсия сторожевого лимфатического узла, однако её выполнение связано с инвазивностью, затратами ресурсов и риском осложнений. При этом значительная часть пациентов, подвергающихся данному вмешательству, не имеет метастатического поражения, что подчёркивает необходимость более точного отбора [4]. С другой стороны, недооценка риска метастазирования может приводить к поздней диагностике и ухудшению исходов [5].

Разработка прогностических моделей, основанных на сочетании клинических, инструментальных и морфологических признаков, позволяет более точно оценивать индивидуальный риск метастатического поражения регионарных лимфатических узлов и оптимизировать тактику стадирования.

Материалы и методы

Проведено одноцентровое проспективное исследование. В анализ включены данные 121 пациента с меланомой кожи, наблюдавшихся и лечившихся в одном учреждении. У всех пациентов выполнялось морфологическое (гистологическое и иммуногистохимическое) исследование регионарных лимфатических узлов.

Зависимая переменная ИГХ кодировалась бинарно:

- ИГХ = 0 — метастатическое поражение лимфатических узлов не выявлено;
- ИГХ = 1 — по данным морфологического исследования подтверждены метастазы.

Из 121 пациента у 27 (22,3 %) были выявлены метастазы в регионарных лимфатических узлах, у 94 (77,7 %) метастатическое поражение отсутствовало.

В анализ были включены следующие группы предикторов:

- Клинические характеристики пациента и первичной опухоли: возраст, пол, локализация первичной меланомы (диагноз C43.x), толщина по Бреслоу, наличие изъязвления.
- Ультразвуковые признаки регионарных лимфатических узлов: форма лимфоузла, ширина и толщина лимфоузла, толщина коркового слоя, наличие неравномерного утолщения коркового слоя и его толщина, потеря центрального эхосигнала, наличие периферической перфузии, отношение длинной оси к короткой (L/S), количество поражённых лимфоузлов при ультразвуковом исследовании (УЗИ).
- Эластографические показатели: количественные значения эластометрии лимфоузла и окружающих тканей, параметры компрессионной/импульсно-волновой эластографии.
- Данные сцинтиграфии: факт выявления лимфатического узла, количество активных лимфоузлов.
- Результаты инвазивной верификации: цитологическое заключение по подозрительным лимфатическим узлам, гистологическое заключение.

Кодирование переменных

Категориальная переменная «пол» кодировалась бинарной переменной POL_MUZ (1 — мужчина, 0 — женщина). Локализация первичной меланомы представлена набором фиктивных (dummy) переменных вида DIAG_C43_1, DIAG_C43_3, DIAG_C43_4, DIAG_C43_5, DIAG_C43_6, DIAG_C43_7, DIAG_C43_8,

одна из категорий использовалась в качестве базовой (референсной).

Числовые показатели (толщина по Бреслоу, размеры лимфоузла, толщины коркового слоя, эластометрические и другие количественные параметры) использовались в исходных единицах измерения, без стандартизации, что облегчает клиническую интерпретацию коэффициентов модели.

Многомерная логистическая регрессия применялась для моделирования зависимости вероятности метастатического поражения лимфатических узлов от совокупности предикторов. Коэффициенты регрессии (β) оценивались методом максимального правдоподобия. Для каждого признака вычислялись коэффициенты β и отношения шансов).

Качество моделей оценивали по: площади под ROC-кривой (ROC AUC), кривой распределения предсказанных вероятностей (separation plot), кривой Precision-Recall, калибровочной кривой (соответствие предсказанной и фактической частоты метастазов, чувствительности (Se), специфичности (Sp), общей точности (Acc), индексу Юдена ($J = Se + Sp - 1$) при разных порогах предсказанной вероятности p .

Для клинической интерпретации анализировались пороги: $p = 0,138; 0,272; 0,349$;

На основе модели разработана четырёхуровневая шкала риска: низкий, промежуточный, высокий и очень высокий риск.

Результаты

Дискриминационная способность модели

Построенная полная логистическая модель показала высокую дискриминационную способность: ROC AUC составила около 0,952, что свидетельствует о хорошем разделении пациентов с наличием и отсутствием метастазов регионарных лимфатических узлов. ROC-кривая на рис. 1 существенно превосходит линию случайной классификации.

Рис. 2 демонстрирует распределение предсказанных вероятностей (separation plot), а кривая на рис. 3 Precision-Recall показывает устойчивую чувствительность и точность в диапазоне клинически значимых порогов.

Калибровочная кривая на рис. 4 подтверждает хорошее соответствие предсказанных вероятностей фактической частоте метастазов.

Вклад основных предикторов

Многомерный анализ выявил ряд предикторов, существенно ассоциированных с риском метастатического поражения регионарных лимфатических узлов.

Наличие периферической перфузии лимфатического узла по данным УЗИ ($\beta \approx 11,2$; OR порядка 10^4 - 10^5). Такой экстремально высокий показатель отражает практически полное разделение выборки по данному признаку: подавляющее большинство

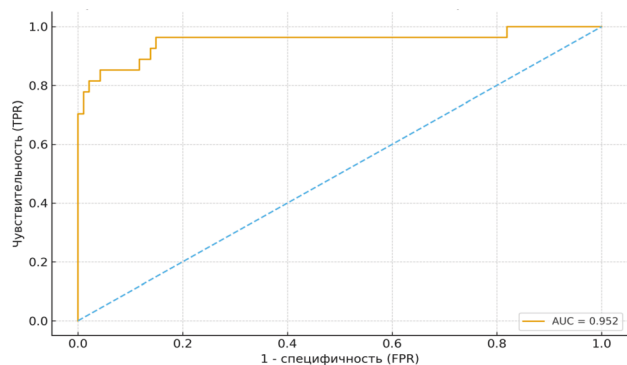


Рис. 1. ROC-кривая полной логистической модели (с учётом цитологии и гистологии) для прогнозирования метастатического поражения регионарных лимфатических узлов (AUC ≈ 0,95)

Fig. 1. ROC curve of the full logistic model (including cytology and histology) for predicting metastatic involvement of regional lymph nodes (AUC ≈ 0,95)

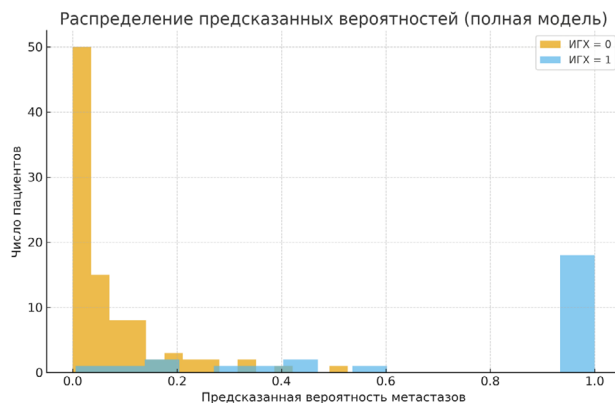


Рис. 2. Распределение предсказанных вероятностей метастазов по классам: пациенты без метастазов (ИГХ = 0) и с метастазами (ИГХ = 1) в полной модели

Fig. 2. Distribution of predicted probabilities of metastases by class: patients without metastases (IHC = 0) and with metastases (IHC = 1) in the full model

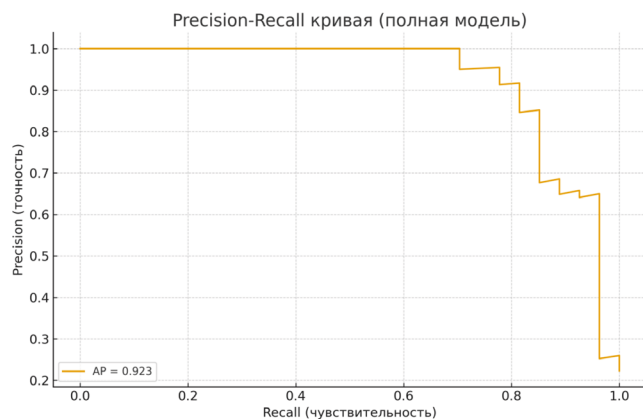


Рис. 3. Кривая «чувствительность–точность» (Precision–Recall) для полной логистической модели прогнозирования метастатического поражения регионарных лимфатических узлов

Fig. 3. Precision–Recall curve for the full logistic model for predicting regional lymph node metastasis

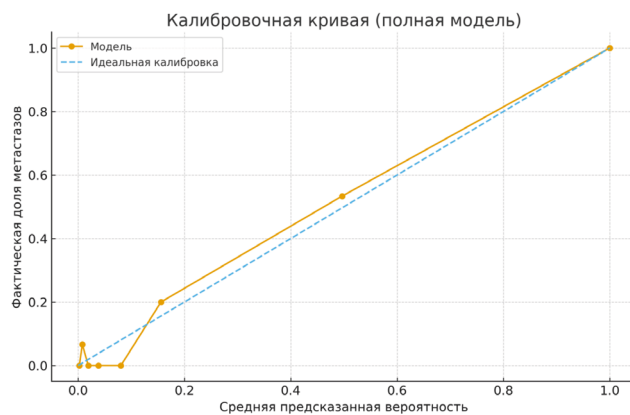


Рис. 4. Калибровочная кривая полной логистической модели: соответствие между предсказанной вероятностью метастазов и фактической долей поражённых лимфатических узлов

Fig. 4. Calibration curve of the full logistic model: the agreement between the predicted probability of metastasis and the actual proportion of affected lymph nodes

пациентов с периферической перфузией имели метастазы, тогда как при её отсутствии метастатическое поражение наблюдалось существенно реже.

Толщина коркового слоя лимфатического узла ($\beta \approx 9,3$; OR более 10^4). Утолщение коркового слоя лимфоузла сопровождалось резким увеличением шансов метастатического поражения, что согласуется с патофизиологическими представлениями о перестройке структуры лимфоузла при инфильтрации опухолевыми клетками.

Толщина неравномерно утолщённого коркового слоя ($\beta \approx 7,0$; OR порядка 10^3). Неравномерное утолщение коркового слоя и его выраженность являлись дополнительными сильными прогностическими признаками, указывающими на высокую вероятность метастазирования.

Результаты цитологического и гистологического исследований подозрительных лимфатических узлов: положительная цитология ($\beta \approx 6,3$; OR $\sim 5 \times 10^2$) и гистология ($\beta \approx 6,3$; OR $\sim 5 \times 10^2$) ассоциировались с резким увеличением вероятности метастазов, что

Таблица 1. Диагностические характеристики модели при различных порогах
Table 1. Diagnostic performance at different thresholds

Порог p	Чувствительность (Se)	Специфичность (Sp)	Точность (Acc)	Индекс Юдена J	TN	FP	FN	TP
0,138	0,926	0,862	0,876	0,788	81	13	2	25
0,272	0,852	0,957	0,934	0,809	90	4	4	23
0,349	0,815	0,979	0,942	0,794	92	2	5	22

ожидаемо, учитывая непосредственный морфологический характер этих методов.

Среди количественных ультразвуковых характеристик значимыми предикторами были: короткая ось лимфатического узла, компрессионная/импульсно-волновая эластометрия лимфатического узла (β порядка 2,6; OR ~ 13–14), количество поражённых лимфатических узлов по данным ультразвукового исследования (β порядка 2,1; OR ~ 8–9), потеря центрального эхосигнала (β порядка 1,6–1,9; OR ~ 5–6), выявление лимфатических узлов при скинтиграфии (β ~ 1,5; OR ~ 4–5).

Показатель «отношение» (соотношение длинной оси к короткой оси лимфатического узла) имел коэффициент β порядка 0,7 (OR ~ 2), что соответствует приблизительно двукратному увеличению шансов метастатического поражения при его росте.

Ряд признаков продемонстрировал отрицательные коэффициенты, указывая на снижение вероятности метастатического поражения при их увеличении или при наличии соответствующей категории:

овальная или плоская форма лимфатического узла лимфатического узла (β порядка -5,1; OR ~ 0,006), отсутствие выраженного неравномерного утолщения коркового слоя (β порядка -3,1; OR ~ 0,05), более высокие значения эластометрии лимфатического узла (β порядка -1,1; OR ~ 0,33), некоторые категории локализации первичной опухоли (коды диагнозов С43.1 и С43.4) по сравнению с базовой категорией.

В совокупности эти результаты подтверждают, что наиболее информативными предикторами риска являются структурно-функциональные характеристики лимфатического узла по данным УЗИ и эластографии, дополняемые результатами инвазивной морфологической верификации

Пороговые значения вероятности и матрицы ошибок

При анализе пороговых значений предсказанной вероятности p были получены следующие характеристики (табл. 1):

При $p = 0,138$ (режим «максимально не пропустить»): чувствительность $Se \approx 0,926$, специфичность $Sp \approx 0,862$, точность $Acc \approx 0,876$; TN = 81, FP = 13, FN = 2, TP = 25. В этом режиме пропущено минимальное число пациентов с метастазами, однако увеличивается доля ложноположительных результатов.

При $p = 0,272$ (оптимум по индексу Юдена, $J \approx 0,81$): $Se \approx 0,852$, $Sp \approx 0,957$, $Acc \approx 0,934$; TN = 90, FP = 4, FN = 4, TP = 23. Этот порог обеспечивает наилучший баланс между чувствительностью и специфичностью.

При $p = 0,349$ (максимальная общая точность): $Se \approx 0,815$, $Sp \approx 0,979$, $Acc \approx 0,942$; TN = 92, FP = 2, FN = 5, TP = 22. В этом режиме минимизируется число ложноположительных решений ценой некоторого увеличения числа пропущенных метастазов.

Стратификация риска

На основании распределения предсказанной вероятности p и фактической частоты метастазов по диапазонам значений была выделена четырёхуровневая шкала риска:

Низкий риск: $p < 0,138$ — N = 83, метастазы выявлены у 2 пациентов; доля метастазов $\approx 2,4$ %.

Промежуточный риск: $0,138 \leq p < 0,272$ — N = 11, метастазы выявлены у 2 пациентов; доля метастазов ≈ 18 %.

Высокий риск: $0,272 \leq p < 0,349$ — N = 3, метастазы у 1 пациента; доля метастазов ≈ 33 % (оценка ориентировочная ввиду малого числа наблюдений).

Очень высокий риск: $p \geq 0,349$ — N = 24, метастазы у 22 пациентов; доля метастазов ≈ 92 %.

Таким образом, принадлежность к группе очень высокого риска практически однозначно связана с наличием метастатического поражения регионарных лимфатических узлов, тогда как в группе низкого риска вероятность метастазов минимальна.

Полученные результаты согласуются с данными литературы, свидетельствующими о высокой диагностической значимости ультразвуковых и эластографических признаков лимфатических узлов.

Обсуждение

Результаты настоящего исследования демонстрируют, что комплексная оценка клинических, ультразвуковых, эластографических и морфологических признаков позволяет с высокой точностью сцировать метастатическое поражение регионарных лимфатических узлов у больных меланомой кожи.

Высокое значение ROC AUC ($\approx 0,95$) подтверждает хорошую дискриминационную способность модели. Наибольший вклад в прогноз вносят ультразвуковые признаки лимфатических узлов (периферическая перфузия, утолщение коркового слоя, потеря

центрального эхосигнала) и эластографические показатели, отражающие структурную и функциональную перестройку лимфатического узла при метастатическом поражении.

Наличие положительных цитологических и гистологических результатов ожидаемо ассоциируется с высоким риском метастазов, однако важным является то, что модель сохраняет прогностическую значимость и за счёт неинвазивных ультразвуковых и эластографических характеристик.

Предложенная четырёхуровневая шкала риска позволяет перейти от бинарной оценки к градации вероятности метастатического поражения. При низком риске частота метастазов минимальна, тогда как в группе очень высокого риска она превышает 90 %, что позволяет более обоснованно подходить к выбору тактики стадирования.

При этом модель не должна рассматриваться как самостоятельный инструмент принятия решений, а должна использоваться в комплексе с клиническими данными и в рамках мультидисциплинарного подхода.

К ограничениям исследования относятся относительно небольшой объём выборки, одноцентровый дизайн, отсутствие внешней валидации, а также зависимость результатов от качества ультразвукового и эластографического исследования.

Заключение

Разработанная модель обладает высокой диагностической точностью (ROC AUC \approx 0,95). Наиболее значимыми предикторами являются ультразвуковые и эластографические признаки лимфатических узлов. Использование порогов $p = 0,138; 0,272; 0,349$ позволяет адаптировать модель под различные клинические задачи. Предложенная шкала риска может применяться для стратификации пациентов и оптимизации показаний к инвазивному стадированию. Требуется внешняя валидация модели.

Вклад авторов

Статья подготовлена с равным участием авторов.

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.

Поступила: 24.03.2026

Принята к публикации: 12.05.2026

Опубликована online: 26.06.2026

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 regions in high-risk melanoma patients. Effective pharmacotherapy. 2025;21(15):8-11. <https://doi.org/10.33978/2307-3586-2025-21-15-8-11>. (In Russ.).
2. Возгомент ОВ, Надточий АГ, Фисенко ЕП и др. Многоцентровое исследование по определению значимости ультразвуковых критериев для стандартизации оценки риска злокачественности поверхностных лимфатических узлов. Хирургия и онкология. 2025;15(3):36-45.
Vozgoment OV, Nadtochiy AG, Fisenko EP, et al. Multicenter study for determining the significance of ultrasonic criteria for standardizing the risk of malignancy in superficial lymph nodes. Surgery and Oncology. 2025;15(3):36-45. <https://doi.org/10.17650/2949-5857-2025-15-3-36-45>. (In Russ.).
3. Сейдинович А, Вишневецкая 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 YV, 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. <https://doi.org/10.17650/2949-5857-2025-15-1-62-70>. (In Russ.).
4. Тихонова ЕВ, Бердников СН, Сергеева АМ и др. Сравнение диагностической эффективности полной логистической модели и биопсии сторожевого лимфатического узла у больных меланомой кожи. Эффективная фармакотерапия. 2026;22(8):30-33.
Tikhonova EV, Berdnikov SN, Sergeeva AM, et al. Comparison of the diagnostic performance of the full logistic model and sentinel lymph node biopsy in patients with cutaneous melanoma. Effective pharmacotherapy. 2026;22(8):30-33. (In Russ.).
5. Аллавердиева 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). Cancer journal: radiation diagnosis, radiation therapy. 2023;6(4):42-52. DOI: 10.37174/2587-7593-2023-6-4-42-52 (In Russ.).

Information about the authors

Elena V. Tikhonova <https://orcid.org/0009-0007-6479-8268>

Anna M. Sergeeva <https://orcid.org/0009-0001-6342-3305>

Sergey N. Berdnikov <https://orcid.org/0000-0003-2586-8562>

Authors' contributions

Article was prepared with equal participation of the authors.

Funding

The study had no sponsorship.

Conflict of interests

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.

Received: 24.03.2026

Accepted for publication: 12.05.2026

Published online: 26.06.2026