

Дифференциальная диагностика липом и атипичных липоматозных опухолей (ALT) конечностей: мультицентровое исследование с использованием моделей машинного обучения на основе радиомических и семиотических признаков бесконтрастной МРТ

© Уразов А.В.^{1*}, Аксенова С.П.^{1, 2}, Нуднов Н.В.^{1, 2, 3}, Харченко Н.В.¹, Сергеев Н.И.²

¹ ФГАОУ ВО "Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы" Минобрнауки России; 117198 Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6, Российская Федерация

² ФГБУ "Российский научный центр рентгенодиагностики" Минздрава России; 117997 Москва, ул. Профсоюзная, д. 86, Российская Федерация

³ ФГБОУ ДПО "Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования" Минздрава России; 125993 Москва, ул. Баррикадная, д. 2/1, стр. 1, Российская Федерация

Дооперационная диагностика липом и атипичных липоматозных опухолей (ALT) конечностей остается актуальной клинической проблемой. При стандартной МРТ-оценке эти новообразования имеют сходные визуальные характеристики, что затрудняет постановку точного диагноза и может приводить к неправильной тактике лечения. В отличие от доброкачественных липом, ALT обладают потенциалом локального рецидивирования и требуют более радикального иссечения.

Современные подходы, основанные на радиомике и машинном обучении, позволяют извлекать из стандартных МР-последовательностей количественные признаки, отражающие микроструктурные особенности тканей, что открывает возможности для неинвазивной верификации диагноза.

Цель исследования: создать и провести сравнительный анализ диагностической эффективности моделей машинного обучения (LASSO и Random Forest), построенных на основе клинко-семиотических и радиомических признаков бесконтрастной МРТ (T1- и T2-ВИ), для дифференциальной диагностики липом и атипичных липоматозных опухолей (ALT) конечностей.

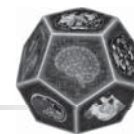
Материал и методы. Исследование является мультицентровым и ретроспективным. Включены данные 61 пациента с гистологически верифицированными липомами и атипичными липоматозными опухолями (ALT) конечностей. Проведена сегментация образований на бесконтрастных T1- и T2-ВИ с извлечением радиомических признаков ($n = 214$) и оценкой клинко-семиотических параметров ($n = 7$). Набор данных разделен на обучающую (80%) и тестовую (20%) выборки. Построены прогностические модели с использованием LASSO-логистической регрессии (кросс-валидация по 10 фолдам) и случайного леса (Random Forest, подбор гиперпараметров сеточным поиском). Эффективность моделей оценена по Accuracy, ROC-AUC, чувствительности, специфичности, Precision и F1-мере. Сравнение выполнено с применением теста Макнемара, теста Делонга и бутстрап-анализа (1000 итераций). Статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$.

Результаты. На тестовой выборке LASSO-логистическая регрессия достигла ROC-AUC 0,889 (95% ДИ 0,694–1,000) и точности 0,692 (95% ДИ 0,434–0,950); чувствительность составила 0,250, специфичность – 0,889, F1-мера (F1-Score) – 0,333. Случайный лес показал ROC-AUC 0,833 (95% ДИ 0,533–1,000) при точности 0,692 (95% ДИ 0,440–0,944); чувствительность и F1-мера (F1-Score) составили 0,000 при специфичности 1,000.

При сравнении моделей с помощью теста Макнемара статистически значимых различий не выявлено ($p = 1,000$). Согласно тесту Делонга, различия в значениях ROC-AUC также не достигли статистической значимости ($p = 0,771$). Бутстрап-анализ (1000 итераций) подтвердил стабильность показателей: для LASSO средняя ROC-AUC составила $0,892 \pm 0,101$, точность – $0,691 \pm 0,131$, для случайного леса – $0,832 \pm 0,153$ и $0,685 \pm 0,125$ соответственно.

LASSO-регрессия отобрала 12 наиболее значимых признаков, включающих семиотические характеристики ("гиперинтенсивный сигнал с FS", "расположение относительно компартментов", "форма", "количество перегородок", "наличие солидной ткани", "толщина перегородок") и радиомические параметры (Coarseness, Maximum2DDiameterColumn, VoxelVolume, ShortRunLowGrayLevelEmphasis.1, MeshVolume, Maximum2DDiameterColumn.1).

Заключение. В данном исследовании LASSO-логистическая регрессия и случайный лес, построенные на основе клинко-семиотических и радиомических признаков бесконтрастной МРТ (T1- и T2-ВИ), продемонстрировали сопоставимую эффективность в дифференциальной диагностике липом и атипичных липоматозных опухолей конечностей (ROC-AUC 0,889 и 0,833 соответственно; $p > 0,05$).



Разработанные прогностические модели в перспективе могут служить инструментом поддержки принятия клинических решений, способствуя повышению точности дооперационной диагностики и стандартизации оценки липоматозных образований мягких тканей. Для подтверждения полученных результатов требуется дальнейшее тестирование на расширенных выборках с проведением внешней валидации.

Ключевые слова: дифференциальная диагностика; липома; атипичная липоматозная опухоль (ALT); магнитно-резонансная томография (МРТ); радиомика; машинное обучение; LASSO; случайный лес; мультицентровое исследование

Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов.

Для цитирования: Уразов А.В., Аксенова С.П., Нуднов Н.В., Харченко Н.В., Сергеев Н.И. Дифференциальная диагностика липом и атипичных липоматозных опухолей (ALT) конечностей: мультицентровое исследование с использованием моделей машинного обучения на основе радиомических и семиотических признаков бесконтрастной МРТ. *Медицинская визуализация*. 2026; 30 (3): 124–135. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1655>

Поступила в редакцию: 02.06.2026.

Принята к печати: 31.08.2026.

Опубликована online: 28.09.2026.

Differential diagnosis of lipomas and atypical lipomatous tumors (ALT) of the extremities: a multicenter study using machine learning models based on radiomic and semiotic features of non-contrast MRI

© Aleksandr V. Urazov^{1*}, Svetlana P. Aksenova^{1, 2}, Nikolay V. Nudnov^{1, 2, 3},
Natalia V. Kharchenko¹, Nikolay I. Sergeev²

¹ Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University); 6, Miklukho-Maklay str., Moscow 117198, Russian Federation

² Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 86, Profsoyusnaya str., Moscow 117997, Russian Federation

³ 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

Preoperative differentiation of lipomas from atypical lipomatous tumors (ALT) of the extremities remains a relevant clinical challenge. On standard MRI assessment, these neoplasms demonstrate overlapping imaging characteristics, which complicates accurate diagnosis and may lead to suboptimal treatment strategies. Unlike benign lipomas, ALTs carry a potential for local recurrence and require wider surgical excision.

Contemporary approaches based on radiomics and machine learning enable the extraction of quantitative features from standard MRI sequences that reflect the microstructural properties of tissues, thereby offering opportunities for non-invasive diagnostic verification.

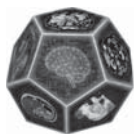
Objective. To develop and comparatively evaluate the diagnostic performance of machine learning models (LASSO logistic regression and Random Forest) built upon clinical-semiotic and radiomic features derived from non-contrast MRI (T1-WI and T2-WI) for the differential diagnosis of lipomas and atypical lipomatous tumors (ALT) of the extremities.

Materials and Methods. This multicenter, retrospective study included data from 61 patients with histologically verified lipomas and atypical lipomatous tumors (ALT) of the extremities. Tumor segmentation was performed on non-contrast T1-WI and T2-WI sequences, followed by extraction of radiomic features ($n = 214$) and assessment of clinical-semiotic parameters ($n = 7$). The dataset was split into training (80%) and test (20%) subsets. Predictive models were constructed using LASSO logistic regression (10-fold cross-validation) and Random Forest (hyperparameter tuning via grid search). Model performance was evaluated by Accuracy, ROC-AUC, sensitivity, specificity, Precision, and F1-score. Comparison was performed using McNemar's test, DeLong's test, and bootstrap analysis (1,000 iterations). Differences were considered statistically significant at $p < 0.05$.

Results. On the test subset, LASSO logistic regression achieved an ROC-AUC of 0.889 (95% CI 0.694–1.000) and an accuracy of 0.692 (95% CI 0.434–0.950); sensitivity was 0.250, specificity 0.889, and F1-score 0.333. The Random Forest model yielded an ROC-AUC of 0.833 (95% CI 0.533–1.000) with an accuracy of 0.692 (95% CI 0.440–0.944); sensitivity and F1-score were 0.000 at a specificity of 1.000.

McNemar's test revealed no statistically significant difference between the models ($p = 1.000$). DeLong's test likewise showed no significant difference in ROC-AUC values ($p = 0.771$). Bootstrap analysis (1,000 iterations) confirmed the stability of the metrics: for LASSO, the mean ROC-AUC was 0.892 ± 0.101 and accuracy 0.691 ± 0.131 ; for Random Forest, 0.832 ± 0.153 and 0.685 ± 0.125 , respectively.

LASSO regression selected 12 features of highest importance, comprising semiotic characteristics ("Hyperintense signal on FS", "intra-/extra compartmental location", "Shape", "Number of septa", "Presence of solid tissue", "Septal thickness") and radiomic parameters (Coarseness, Maximum2DDiameterColumn, VoxelVolume, ShortRunLowGrayLevelEmphasis.I, MeshVolume, Maximum2DDiameterColumn.I).



Conclusion. In this study, LASSO logistic regression and Random Forest models constructed from clinical-semiotic and radiomic features of non-contrast MRI (T1-WI and T2-WI) demonstrated comparable diagnostic performance in the differential diagnosis of lipomas and atypical lipomatous tumors of the extremities (ROC-AUC 0.889 and 0.833, respectively; $p > 0.05$).

The developed predictive models may prospectively serve as clinical decision-support tools, contributing to improved preoperative diagnostic accuracy and standardization of soft tissue lipomatous lesion assessment. Further validation on larger cohorts with external validation is required to confirm these findings.

Keywords: differential diagnosis; lipoma; atypical lipomatous tumor (ALT); magnetic resonance imaging (MRI); radiomics; machine learning; LASSO; random forest; multicenter study

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

For citation: Urazov A.V., Aksenova S.P., Nudnov N.V., Kharchenko N.V., Sergeev N.I. Differential Diagnosis of Lipomas and Atypical Lipomatous Tumors (ALT) of the Extremities: A Multicenter Study Using Machine Learning Models Based on Radiomic and Semiotic Features of Non-Contrast MRI. *Medical Visualization*. 2026; 30 (3): 124-135. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1655>

Received: 02.06.2026.

Accepted for publication: 31.08.2026.

Published online: 28.09.2026.

Введение

Липосаркомы занимают второе место среди всех гистологических подтипов сарком мягких тканей, уступая лишь фибросаркомам. По данным программы SEER (США) за 2001–2021 гг. их доля достигает 20% [1]. Показатели пятилетней выживаемости при данном типе опухоли существенно различаются (от 57,2 до 93%) [2, 3], что связано с гетерогенностью биологического поведения различных гистологических вариантов. Заболеваемость липосаркомой оценивается в 2,5 случая на 1 млн населения, максимальная заболеваемость приходится на возраст 50–60 лет с преобладанием мужского пола [1, 3]. Наиболее типичная локализация – нижняя конечность (35,5%, преимущественно бедро и область коленного сустава), реже – туловище (28,7%) [1, 4].

В Российской Федерации эпидемиологические данные по липосаркомам представлены ограниченно. Согласно статистическому отчету “Злокачественные новообразования в России” за 2024 г., в 2023 г. зарегистрировано 3214 случаев сарком мягких тканей, из которых на долю липосарком приходится около 22% [5]. Заболеваемость саркомой мягких тканей в РФ составляет 1,7–2,2 случая на 100 000 населения [5–7]. Однако в открытых национальных сводках отсутствует детализация по разным гистологическим подтипам [5].

Среди доброкачественных липоматозных образований наиболее распространены липомы, составляющие до 50% всех опухолей мягких тканей [8, 9]. Характерными морфологическими признаками липом на МР-томограмме являются инкапсулированные образования, изоинтенсивные подкожному жиру во всех импульсных последовательностях, нередко с тонкими перегородками, которые в большинстве случаев не накапливают контрастный препарат (58%) [8, 9]. В отличие от них, при атипичных липоматозных опухолях (ALT) контрастное усиление

перегородок наблюдается значительно чаще (78%). При КТ плотность липом составляет от –120 до –65 HU [10].

ALT является наиболее частым подтипом среди липосарком (40–45% случаев). Наиболее типичные места возникновения – глубокие мягкие ткани конечностей и забрюшинное пространство, реже – грудная стенка, голова и шея [11, 12]. ALT характеризуется локально агрессивным ростом и склонностью к рецидивированию и крайне низким метастатическим потенциалом. Гистологически опухоль представлена зрелыми адипоцитами с очагами атипичных стромальных клеток и липобластов. Характерными молекулярными маркерами являются экспрессия генов MDM2 и CDK4, позволяющая дифференцировать ALT от доброкачественных липом [12, 13]. При использовании методов лучевой диагностики (МРТ, КТ) выявляются утолщенные перегородки и узловые элементы, что служит признаками злокачественности.

Дифференциальная диагностика липом и ALT остается сложной задачей, поэтому использование радиомического анализа и методов машинного обучения может открыть новые возможности для неинвазивной верификации диагноза, позволяя выявлять количественные признаки, недоступные при традиционной визуальной оценке МР-изображений [14]. Применение радиомики может уменьшить субъективность интерпретации изображений, что имеет важное значение для клинической практики.

Материал и методы

Исследование выполнено как ретроспективный наблюдательный анализ с формированием выборки из трех медицинских центров: ФГБУ “РНЦРР” Минздрава России; МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России;

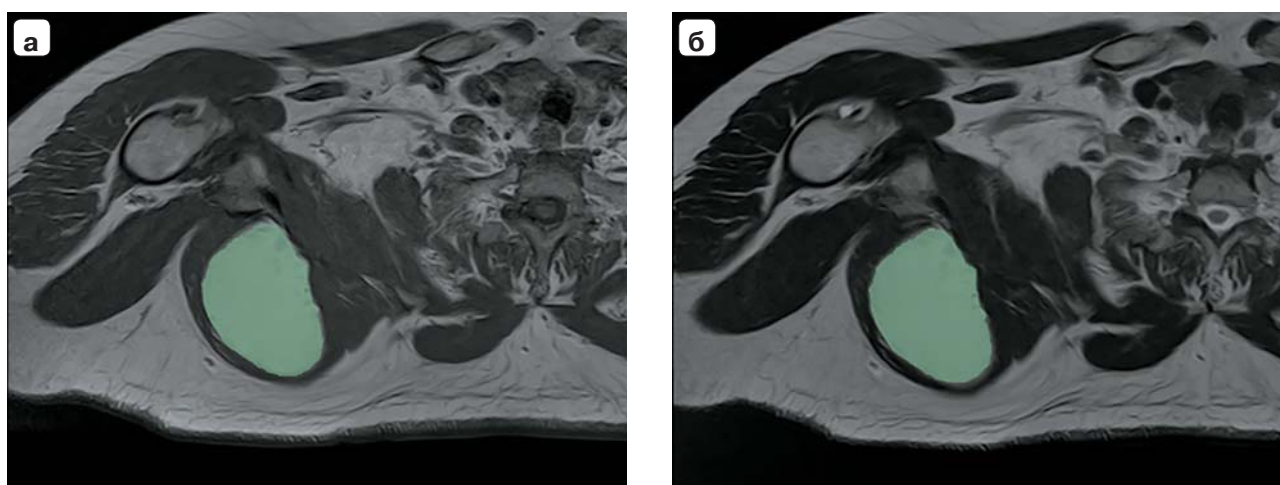
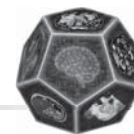


Рис. 1. Пример оконтуривания образования на T1-ВИ (а) и T2-ВИ (б).

Fig. 1. Example of lesion segmentation on T1-weighted (a) and T2-weighted (b) images.

МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ “НМИЦ радиологии” Минздрава России. Все пациенты дали письменное информированное согласие на участие в исследовании.

За период с 2012 по 2025 г. были отобраны данные 950 пациентов с морфологически подтвержденными новообразованиями мягких тканей конечностей, среди которых на этапе скрининга отбирались пациенты с диагнозами липома (D17) и липосаркома (C49).

В исследование включались пациенты, соответствующие следующим условиям:

1. Гистологически верифицированный диагноз липомы (код МКБ-10: D17) или атипичных липоматозных опухолей (ALT) (код МКБ-10: C49), установленный по результатам морфологического исследования операционного или биопсийного материала.

2. Наличие МРТ-исследования, выполненного до начала лечения (хирургического вмешательства или иных видов противоопухолевой терапии).

Из исследования исключались пациенты, не соответствующие следующим условиям:

1. Выраженные артефакты на МР-изображениях.
2. Неполный протокол МРТ-исследования.
3. Гистологический подтип липосарком, отличный от атипичной липоматозной опухоли (ALT), либо неуточненный гистологический подтип.

Характеристика выборки. После применения критериев включения и исключения в исследование вошел 61 пациент: 46 (75,4%) с гистологически верифицированной липомой и 15 (24,6%) с атипичной липоматозной опухолью (ALT). Возраст пациентов варьировал от 27 до 89 лет, средний возраст – 57 лет. Для каждого пациента извлечены радиомические и семиотические признаки, всего 221.

Получение МР-изображений. МРТ выполнялась на системах с напряженностью магнитного поля 1,5 Тл производства Siemens (Aera, Amira, Symphony, Magnetom Vida), GE (Signa Excite, Signa Voyager), Toshiba (Titan) и Philips (Ingenia). Протокол исследования соответствовал рекомендациям Европейского общества радиологов (ESSR) 2024 г. [4].

Стандартный протокол включал следующие импульсные последовательности: T2-, T1-ВИ, а также последовательности с подавлением сигнала от жировой ткани (T1-ВИ FS, T2-ВИ FS, STIR или DIXON или T1-ВИ fat sat, T2-ВИ fat sat, STIR или DIXON). Выбор конкретного метода жироподавления определялся в зависимости от производителя томографа, наличия металлических конструкций в зоне сканирования и клинической ситуации с учетом заключения лечащего врача. Дополнительно проводились диффузионно-взвешенные изображения (ДВИ) с b-фактором 8000-1000 с/мм² и T1-ВИ fat sat после внутривенного введения контрастного препарата на основе солей гадолиния. В отдельных случаях для более детальной оценки взаимоотношений опухоли с сосудистыми структурами применялись косые плоскости сканирования. При наличии множественных образований для последующей сегментации выбиралась опухоль с наилучшей визуализацией в последовательностях T2- и T1-ВИ.

Сегментация опухоли на МР-изображениях. Сегментация областей интереса (ROI) производилась вручную одним исследователем на T1- и T2-последовательностях с использованием бесплатного программного обеспечения 3D-Slicer (рис. 1), позволяющего выделять области интереса и экспортировать радиомические показатели. Для каждого новообразования рассчитано по 107 радиоми-

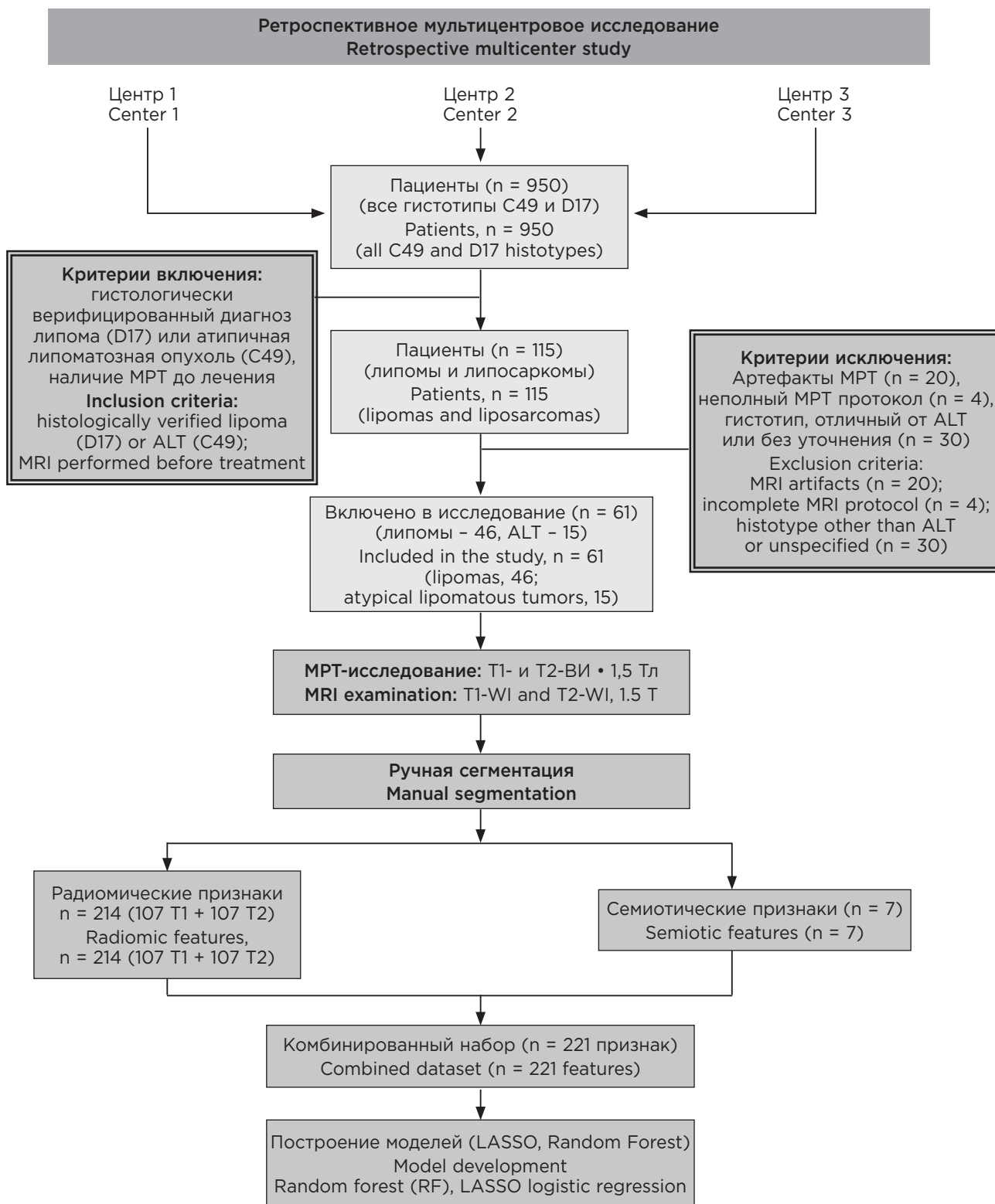
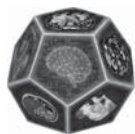
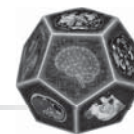


Рис. 2. Дизайн исследования.

Fig. 2. Study design.



ческих признаков отдельно для T1- и T2-последовательностей.

Формирование набора признаков. Для построения прогностических моделей использован комбинированный набор данных, включающий 107 радиомических признаков из T1-ВИ, 107 признаков из T2-ВИ и 7 семиотических параметров, таких как локализация опухоли, расположение относительно компартментов, форма, интенсивность МР-сигнала на T1-ВИ с подавлением сигнала от жировой ткани, количество перегородок, толщина перегородок, наличие солидной ткани, которые являются статистически значимыми для дифференциальной диагностики липом и липосарком [15]. Общее число признаков составило 221.

Машинное обучение и построение модели. Анализ выполнен на языке Python 3.12 с использованием библиотек pandas, numpy, matplotlib, seaborn, sklearn и scipy.stats. Набор данных был разделен на обучающую (80%) и тестовую (20%) выборки. Для LASSO-логистической регрессии признаки были стандартизированы с помощью StandardScaler. Оптимизация гиперпараметров и отбор признаков выполнялись методом GridSearchCV с 10-кратной кросс-валидацией по критерию ROC-AUC. Лучшая модель LASSO автоматически обнуляла коэффициенты для неинформативных признаков, обеспечивая отбор наиболее значимых из них.

Для случайного леса (Random Forest) подбор гиперпараметров также проводился с помощью GridSearchCV с 5-кратной кросс-валидацией. Оптимизации подлежали следующие параметры: количество деревьев ($n_estimators$: 50, 100, 200, 300), критерий разбиения ($criterion$: 'gini', 'entropy'), максимальная глубина деревьев (max_depth : 4-8) и стратегия выбора признаков ($max_features$: 'sqrt', 'log2'). Эффективность моделей оценивалась на тестовой выборке по показателям: точность (accuracy), ROC-AUC (площадь под ROC-кривой), чувствительность (sensitivity), специфичность (specificity), precision (прецизионность) и F1-score (F1-меры). Сравнение моделей проведено с использованием теста Макнемара, теста Делонга и бутстрап-анализа (1000 итераций). Статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$. Дизайн исследования схематически представлен на рис. 2.

Результаты исследования

МР-семиотика липоматозных опухолей ретроспективно оценивалась по следующим параметрам: локализация, расположение относительно компартментов, форма, интенсивность сигнала на ИП с подавлением сигнала от жировой ткани, количество перегородок, толщина перегородок, наличие со-

лидной ткани. Пример МР-характеристики и визуализации липомы представлен на рис. 3, ALT – на рис. 4. Для ALT в сравнении с липомами более характерны ($p < 0,05$): глубокое расположение между компартментами (60,0% против 17,4%), неправильная или многоузловая форма (46,7% против 2,2%), наличие очагов с гиперинтенсивным сигналом на импульсной последовательности с подавлением жира (73,3% против 23,9%), большее число перегородок (более трех у 53,3% против 17,4%), утолщенные перегородки (66,7% против 23,9%), а также присутствие солидной ткани (46,7% против 8,7%). Выявленные различия в МР-семиотике между липомами и ALT легли в основу формирования комбинированного набора из 221 признака (7 семиотических и 214 радиомических), на котором были обучены прогностические модели.

Описание: локализация – левая нижняя конечность, расположение опухоли относительно кожи – глубокое; расположение опухоли относительно компартментов – внутри компартмента; форма – овоидная; объем в $см^3$ – >100 $см^3$; интенсивность МР-сигнала опухоли на T2-ВИ – гиперинтенсивный; интенсивность МР-сигнала опухоли на T1-ВИ – гиперинтенсивный; интенсивность МР-сигнала опухоли на ИП с подавлением сигнала от жировой ткани – изоинтенсивный; количество перегородок – более 3; толщина перегородок – менее 2 мм; наличие солидной ткани – нет.

Описание: локализация – правая нижняя конечность, расположение опухоли относительно кожи – глубокое; расположение опухоли относительно компартментов – внутри компартмента; форма – овоидная; объем в $см^3$ – >100 $см^3$; интенсивность МР-сигнала опухоли на T2-ВИ – гиперинтенсивный; интенсивность МР-сигнала опухоли на T1-ВИ – гиперинтенсивный; интенсивность МР-сигнала опухоли на ИП с подавлением сигнала от жировой ткани – гипоинтенсивный; количество перегородок – более 3; толщина перегородок – более 2 мм; наличие солидной ткани – нет.

Эффективность моделей. На тестовой выборке LASSO-логистическая регрессия достигла ROC-AUC 0,889 (95% ДИ 0,694–1,000), точности 0,692 (95% ДИ 0,434–0,950), чувствительности 0,250, специфичности 0,889, F1-меры (F1-score) 0,333.

Случайный лес показал ROC-AUC 0,833 (95% ДИ 0,533–1,000) при аналогичной точности 0,692 (95% ДИ 0,440–0,944); чувствительность и F1-мера были равны 0, специфичность – 1,000. Нулевая чувствительность модели случайного леса, вероятно, обусловлена несбалансированностью классов в тестовой выборке (9 липом и 4 ALT), что привело к классификации всех случаев как липом (рис. 5, 6).

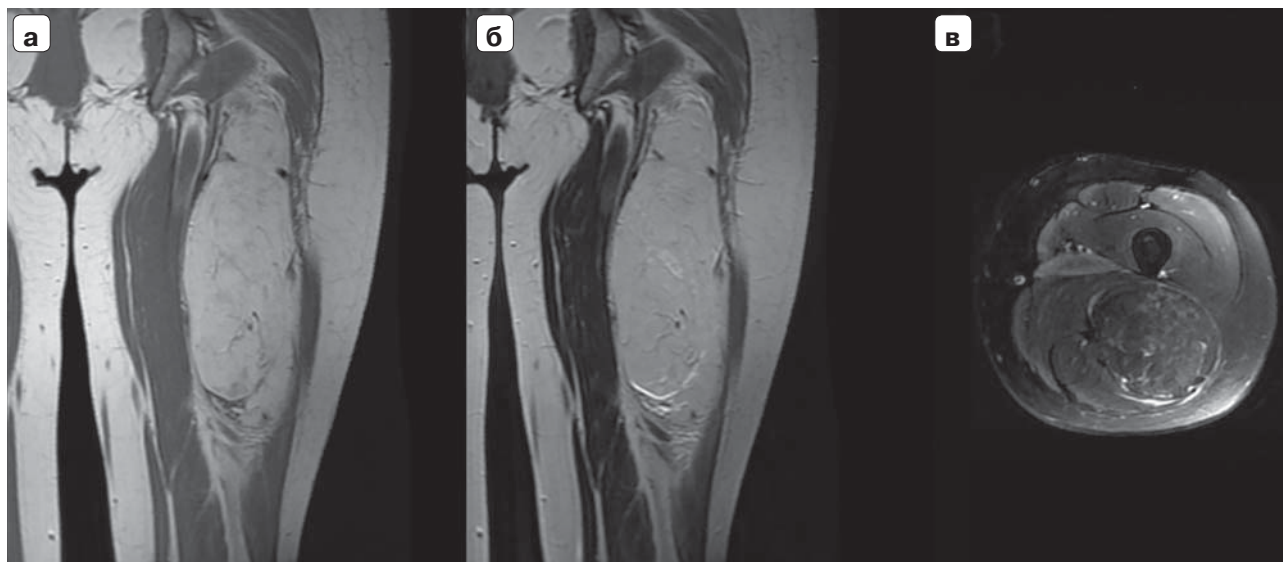
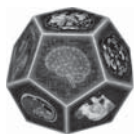


Рис. 3. Пациентка А., 30 лет, МРТ мягких тканей левого бедра с контрастным усилением. Гистологический диагноз: липома. **а** – изображение во фронтальной плоскости (T1-ВИ); **б** – во фронтальной плоскости (T2-ВИ); **в** – в аксиальной плоскости (T2-FS).

Fig. 3. Patient A, a 30-year-old female, contrast-enhanced MRI of soft tissues of the left thigh. Histological diagnosis: lipoma. **a** – coronal plane (T1-weighted image); **б** – coronal plane (T2-weighted image); **в** – axial plane (T2-weighted fat-suppressed image).

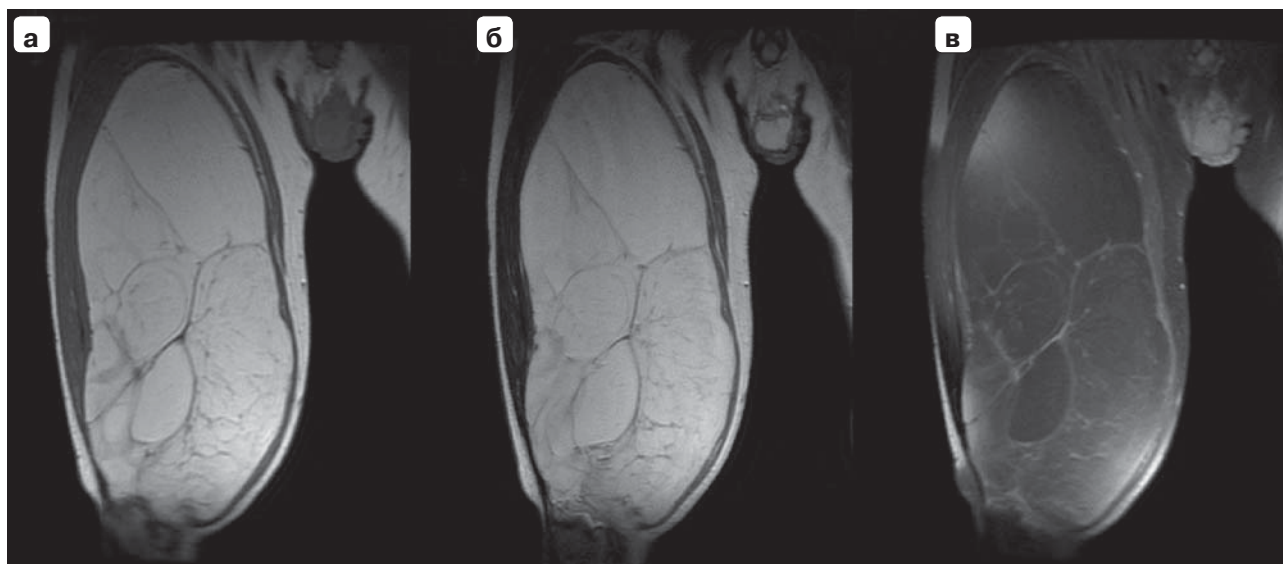


Рис. 4. Пациент Б., 71 год, МРТ мягких тканей правого бедра с контрастным усилением. Гистологический диагноз: ALT G1 T2N0M0. **а** – изображение во фронтальной плоскости (T1-ВИ); **б** – во фронтальной плоскости (T2-ВИ); **в** – во фронтальной плоскости (T1+C).

Fig. 4. Patient B, a 71-year-old male, contrast-enhanced MRI of soft tissues of the right thigh. Histological diagnosis: ALT (G1, T2N0M0). **a** – coronal plane (T1-weighted image); **б** – coronal plane (T2-weighted image); **в** – coronal plane (T1-weighted contrast-enhanced image).

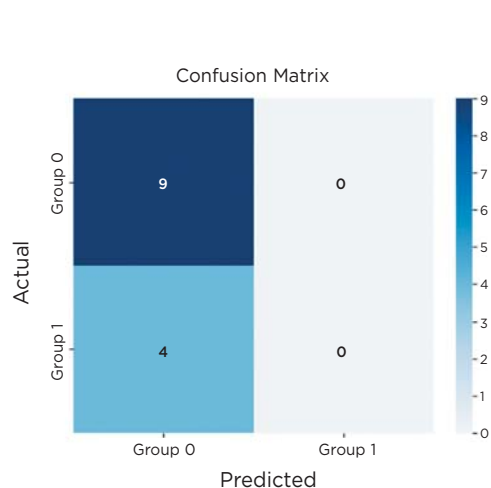
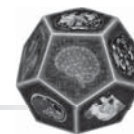


Рис. 5. Матрица ошибок для модели случайный лес.

Fig. 5. Confusion matrix for the random forest model.

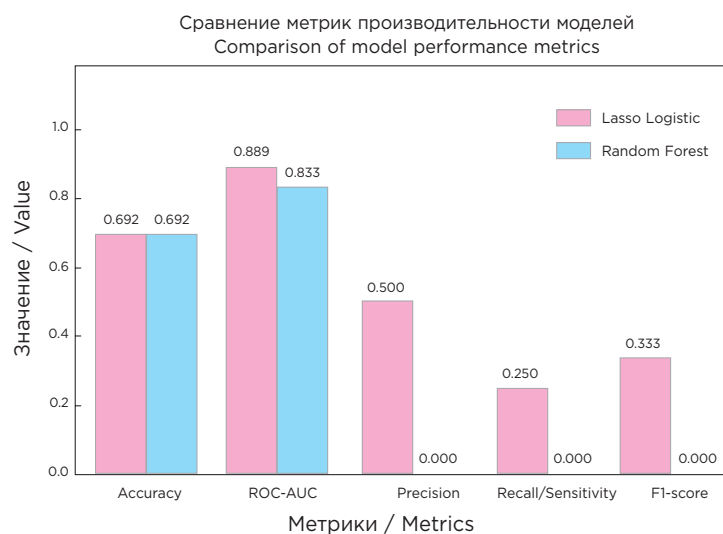


Рис. 6. Сравнение метрик производительности моделей.

Fig. 6. Comparison of model performance metrics.

Сравнение моделей. Статистически значимых различий между моделями не выявлено (тест Макнемара $p = 1,000$; тест Делонга $p = 0,771$). Бутстрап-анализ (1000 итераций) подтвердил стабильность показателей: для LASSO средняя ROC-AUC $0,892 \pm 0,101$, точность $0,691 \pm 0,131$; для случайного леса $0,832 \pm 0,153$ и $0,685 \pm 0,125$ соответственно. Согласованность предсказаний моделей составила 84,6% (рис. 7).

Лучший результат показала LASSO-модель: AUC-ROC 0,889, точность 0,692, чувствительность 0,250, специфичность 0,889. Для модели Random Forest значение AUC-ROC составило 0.833 при аналогичной точности. Различия между моделями не достигли статистической значимости ни по тесту Макнемара ($p = 1,0$), ни по тесту Делонга ($p = 0,771$).

Полученное в нашем исследовании значение AUC (0,889 для LASSO) сопоставимо с этими данны-

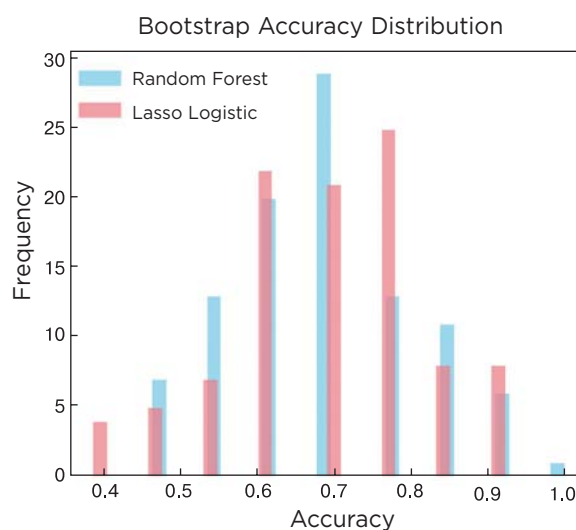
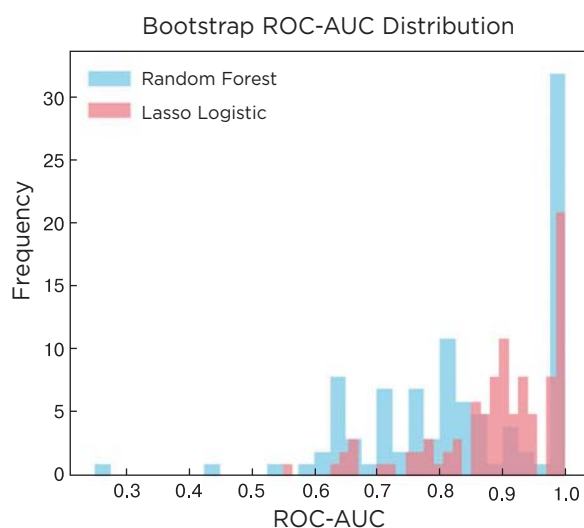


Рис. 7. Распределение показателей ROC-AUC (слева) и точности (справа) по результатам бутстрап-анализа (1000 итераций) для моделей LASSO-логистической регрессии и случайного леса. По оси X отображены значения соответствующих метрик, по оси Y – частота встречаемости (frequency). Синим цветом обозначена модель случайного леса (Random Forest), красным – LASSO-логистическая регрессия (Lasso Logistic).

Fig. 7. Distribution of ROC-AUC (left) and accuracy (right) metrics from bootstrap analysis (1000 iterations) for the LASSO logistic regression and random forest models. The x-axis shows the corresponding metric values, the y-axis shows frequency. The random forest model is shown in blue, and the LASSO logistic regression is shown in red.

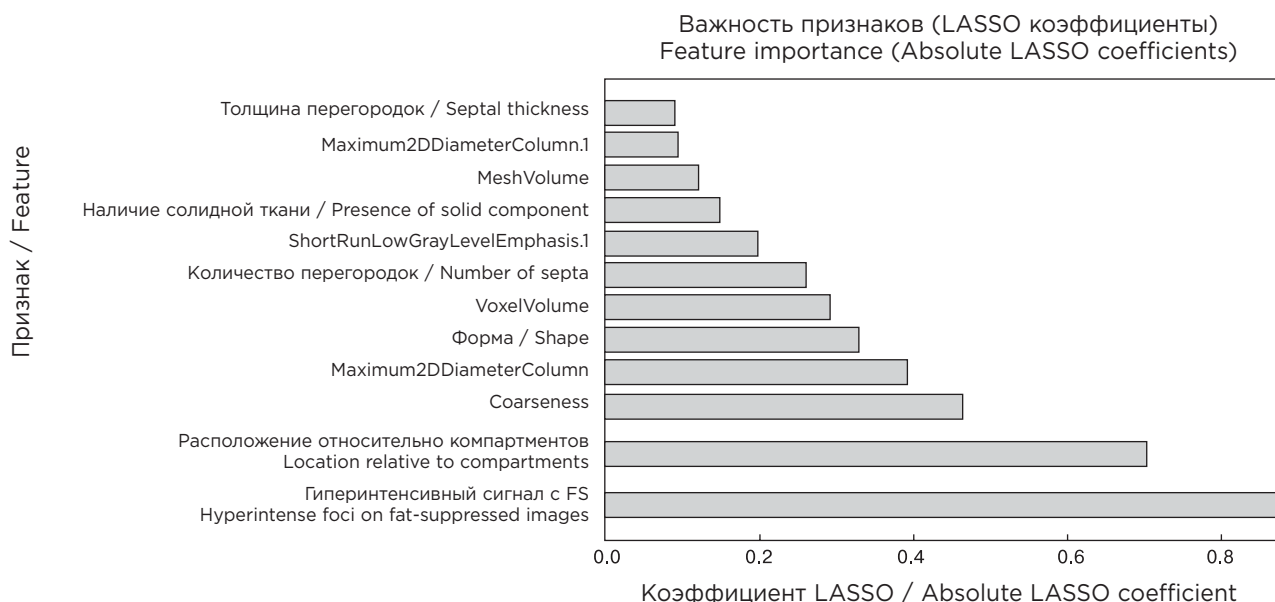
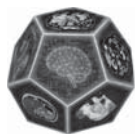


Рис. 8. Важность признаков по абсолютной величине коэффициентов LASSO-логистической регрессии.

Fig. 8. Feature importance based on the absolute values of the coefficients from the LASSO logistic regression model.

ми, однако чувствительность нашей модели существенно ниже (25% против 70%). Это расхождение объясняется прежде всего выраженным преобладанием липом над ALT в тестовой выборке: из 13 пациентов лишь 4 имели диагноз ALT, что делает оценку чувствительности крайне нестабильной при малом объеме данных.

Отбор признаков. LASSO-регрессия выделила 12 наиболее значимых признаков. Наибольшие по абсолютной величине коэффициенты имели семиотические характеристики: “гиперинтенсивный сигнал с FS” (0,877), “расположение относительно компартментов” (0,705), “форма” (0,331), а также радиомический признак Coarseness (0,465) (рис. 8).

Полный перечень отобранных признаков

Семиотические: “гиперинтенсивный сигнал с FS”, “расположение относительно компартментов”, “форма”, “количество перегородок”, “наличие солидной ткани”, “толщина перегородок”;

Радиомические: Coarseness (T1), Maximum2D DiameterColumn (T1), VoxelVolume (T1), ShortRunLow GrayLevelEmphasis.1 (T2), MeshVolume (T1), Maximum2DDiameterColumn.1 (T2).

Обсуждение

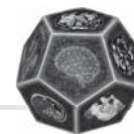
В настоящем исследовании были разработаны и сопоставлены две модели машинного обучения: логистическая регрессия (LASSO) и случайный лес (Random Forest). Целью их применения являлась

дифференциальная диагностика липом и атипичных липоматозных опухолей (ALT) на основе радиомических и семиотических признаков MPT. Выборка включала 61 пациента: 46 с липомами и 15 с ALT, что отражает значительное преобладание липом в представленной выборке.

Полученные значения AUC-ROC согласуются с результатами сопоставимых исследований. В работе S.C. Foreman и соавт. (2023) логистическая регрессия LASSO, обученная на признаках нескольких MPT-последовательностей (T2, T1 и контрастной T1 с FS), достигла AUC 0,88, чувствительности 70% и специфичности 81% на выборке из 257 пациентов [16].

В ретроспективном многоцентровом исследовании S. Gitto и соавт. (2023) на 150 пациентах из трех центров применяли 3D-сегментацию на T1- и T2-взвешенных MPT с последующим обучением трех классификаторов [17]. Лучшая модель – случайный лес (Random forest) показала: AUC 0,74, чувствительность 92%, специфичность 33% и предсказательная способность 89% на внешней тестовой выборке, что оказалось сопоставимо с данными опытного рентгенолога ($p = 0,474$). В нашем исследовании модель Random Forest при той же архитектуре продемонстрировала существенно более низкую чувствительность (0%) при специфичности 100%, что, по всей видимости, обусловлено малым числом пациентов с ALT в тестовой выборке ($n = 4$ из 13).

Исследование Y. Tang и соавт. (2022) включало данные 122 пациентов (90 липом и 32 ALT) с исполь-



зованием МР-томографа с напряженностью поля 3,0 Тл в режимах T1 и T2 с подавлением жира [18]. Соотношение групп составило примерно 3:1 в пользу липом, что близко к соотношению в нашем исследовании ($46:15 \approx 3:1$). Комбинированная радиомическая модель T1+T2 достигла AUC = 0,968 на тестовой выборке, превысив показатели моделей на отдельных последовательностях (AUC = 0,952 для T1 и 0,944 для T2). Эти результаты превышают показатели нашего исследования (AUC = 0,889 для LASSO и 0,833 для Random Forest), что объясняется прежде всего большим числом пациентов с ALT в работе Y. Tang и соавт. (32 против 15), а также использованием одной модели томографа, с большей напряженностью магнитного поля 3 Тл против 1,5 Тл.

В настоящем исследовании данные были получены на различных МРТ-аппаратах при условии использования единого стандартизированного протокола сканирования. N. Сау и соавт. (2022) подчеркивают, что использование единого стандартизированного протокола и однотипного аппарата являлось целенаправленным критерием включения в их исследование, поскольку это повышает воспроизводимость радиомических параметров и точность модели [19]. Таким образом, применение различных МРТ-аппаратов в нашей работе, несмотря на стандартизированный протокол, потенциально вносит дополнительную вариабельность в извлекаемые радиомические признаки и может снижать устойчивость модели.

Примечательно, что в числе наиболее весомых предикторов в нашей модели присутствуют семиотические признаки (гиперинтенсивный сигнал с FS, форма, количество перегородок), которые отражают визуальные характеристики опухолей. M. Vos и соавт. (2019) показали, что включение субъективно оцениваемых МРТ-признаков в комбинированную модель не улучшало ее относительно модели, основанной исключительно на количественных радиомических характеристиках изображений, поскольку такие признаки зависимы от наблюдателя и, следовательно, подвержены субъективности [20].

Ограничения

Настоящее исследование имеет ряд ограничений, которые необходимо учитывать при интерпретации полученных результатов. Общий объем выборки составил 61 пациента, что существенно уступает большинству сопоставимых радиомических исследований. Значительное преобладание липом над ALT (46 и 15 соответственно) привело к тому, что тестовая выборка включала лишь 4 пациента с ALT, что делает оценку чувствительности модели статистически нестабильной. Несмотря на использование стандартизированного протокола сканирова-

ния, применение нескольких МРТ-аппаратов различных производителей потенциально вносит дополнительную вариабельность в извлекаемые радиомические признаки. Помимо этого, исследование носит ретроспективный характер, внешняя валидация модели на независимой когорте не проводилась.

Заключение

В проведенном мультицентровом ретроспективном исследовании разработаны и валидированы прогностические модели дифференциальной диагностики липом и атипичных липоматозных опухолей (ALT) конечностей на основе клинико-семиотических и радиомических признаков бесконтрастной МРТ (T1- и T2-ВИ). Использование LASSO-логистической регрессии и случайного леса достигло сопоставимой эффективности (ROC-AUC 0,889 и 0,833 соответственно; $p > 0,05$). LASSO-регрессия выделила 12 наиболее значимых параметров, среди которых ключевую роль сыграли семиотические характеристики (“гиперинтенсивный сигнал с FS”, “расположение относительно компарментов”, “форма”, “наличие солидной ткани”) и радиомические параметры (Coarseness, Maximum2DDiameter Column). Нулевая чувствительность модели случайного леса на тестовой выборке с высокой вероятностью объясняется преобладанием липом в тестовой выборке и указывает на ограничения применения данного алгоритма при небольшом объеме данных.

Полученные результаты демонстрируют возможность использования радиомического подхода в сочетании с машинным обучением для неинвазивной верификации липоматозных образований мягких тканей. Но для использования необходимо провести дальнейшие исследования с привлечением более крупных выборок и проведением внешней валидации. Это, вероятно, сможет позволить определить истинную диагностическую ценность разработанных моделей и их применимость в клинической практике.

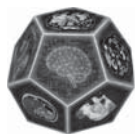
Дополнительная информация

Этическая экспертиза. Научное исследование было рассмотрено и одобрено независимым этическим комитетом при ФГБУ “РНЦРР” Минздрава России (выписка из протокола №7 от 03.10.2025). Все участники перед включением в исследование подписали письменное добровольное информированное согласие на использование обезличенных данных.

Участие авторов

Разработка дизайна исследования – Уразов А.В., Аксенова С.П., Нуднов Н.В., Харченко Н.В.

Получение данных для анализа, анализ полученных данных, статистическая обработка материала – Уразов А.В., Сергеев Н.И., Аксенова С.П., Нуднов Н.В.



Написание текста рукописи – Уразов А.В., Аксенова С.П.
Обзор публикаций по теме статьи – Уразов А.В., Аксенова С.П., Нуднов Н.В.

Authors' participation

Development of the study design – Urazov A.V., Aksenova S.P., Nudnov N.V., Kharchenko N.V.

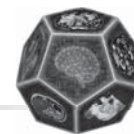
Obtaining data for analysis, analysis of the data obtained, statistical processing of the material – Urazov A.V., Sergeev N.I., Aksenova S.P., Nudnov N.V.

Writing the text of the manuscript – Urazov A.V., Aksenova S.P.

Review of publications on the topic of the article – Urazov A.V., Aksenova S.P., Nudnov N.V.

Список литературы [References]

1. Zhao J., Du W., Tao X. et al. Survival and prognostic factors among different types of liposarcomas based on SEER database. *Sci. Rep.* 2025; 15 (1): 1790. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-85937-9>
2. Knebel C., Lenze U., Pohlig F. et al. Prognostic factors and outcome of Liposarcoma patients: a retrospective evaluation over 15 years. *BMC Cancer.* 2017; 17 (1): 410. <https://doi.org/10.1186/s12885-017-3398-y>
3. Jonczak E., Grossman J., Alessandrino F. et al. Liposarcoma: A Journey into a Rare Tumor's Epidemiology, Diagnosis, Pathophysiology, and Limitations of Current Therapies. *Cancers.* 2024; 16 (22): 3858. <https://doi.org/10.3390/cancers16223858>
4. Noebauer-Huhmann I.M., Vanhoenacker F.M., Vilanova J.C. et al. Soft tissue tumor imaging in adults: European Society of Musculoskeletal Radiology Guidelines 2023 – overview, and primary local imaging: how and where? *Eur. Radiol@* 2024; 34 (7): 4427–4437. <https://doi.org/10.1007/s00330-023-10425-5>
5. Состояние онкологической помощи населению России в 2024 году / Под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, А.О. Шахзадовой. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ "НМИЦ радиологии" Минздрава России, 2025. 275 с. ISBN 978-5-85502-309-1
Kaprin A.D., Starinskiy V.V., Shakhzadova A.O. (eds). *Sostoyanie onkologicheskoy pomoshchi naseleniyu Rossii v 2024 godu* [The State of Oncological Care for the Population of Russia in 2024]. Moscow: P.A. Herzen Moscow Oncology Research Institute – Branch of the FSBI "National Medical Research Radiological Centre" of the Ministry of Health of Russia, 2025. 275 p. ISBN 978-5-85502-309-1 (In Russian)
6. Клинические рекомендации. Саркомы мягких тканей. 2025. URL: https://cr.minzdrav.gov.ru/preview-cr/515_3 (дата обращения: 02.04.2026). Ministerstvo zdravookhraneniya Rossiyskoy Federatsii. *Klinicheskkiye rekomendatsii. Sarkomy myagkikh tkaney* [Clinical Guidelines. Soft Tissue Sarcomas]. 2025. Available at: https://cr.minzdrav.gov.ru/preview-cr/515_3 (accessed: 02.04.2026). (In Russian)
7. Морозов А.К., Завадовская В.Д., Алексеева О.Г. и др. Лучевая диагностика заболеваний костей и суставов: национальное руководство. 2-е изд., перераб. и доп. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2026: 615–625. ISBN 978-5-9704-8867-6. <https://doi.org/10.33029/9704-8867-6-DKS-2026-1-664>. EDN: NPVDLH
Morozov A.K., Zavadovskaya V.D., Alekseeva O.G. et al. *Luchevaya diagnostika zabolevaniy kostey i sustavov: natsionalnoye rukovodstvo* [Radiation Diagnosis of Bone and Joint Diseases: National Guidelines]. 2nd ed., revised and expanded. Moscow: GEOTAR-Media; 2026: 615–625. ISBN 978-5-9704-8867-6. <https://doi.org/10.33029/9704-8867-6-DKS-2026-1-664>. EDN: NPVDLH. (In Russian)
8. Natella R., Varriano G., Brunese M.C. et al. Increasing differential diagnosis between lipoma and liposarcoma through radiomics: a narrative review. *Explor. Targeted Anti-tum. Ther.* 2023; 4 (3): 498–510. <https://doi.org/10.37349/etat.2023.00147>
9. Burt A.M., Huang B.K. Imaging review of lipomatous musculoskeletal lesions. *Sicot J.* 2017; 3: 34. <https://doi.org/10.1051/sicotj/2017015>
10. Kransdorf M.J., Bancroft L.W., Peterson J.J. et al. Imaging of fatty tumors: distinction of lipoma and well-differentiated liposarcoma. *Radiology.* 2002; 224 (1): 99–104. <https://doi.org/10.1148/radiol.224101113>
11. Zhou X.P., Xing J.P., Sun L.B. et al. Molecular characteristics and systemic treatment options of liposarcoma: A systematic review. *Biomed. & Pharmacother.* 2024; 178: 117204. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2024.117204>
12. Dwianingsih E.K., Bawono R.G., Saputri A. et al. Histomorphological and molecular characteristics of liposarcoma (Review). *Oncol. Lett.* 2025; 30 (4): 454. <https://doi.org/10.3892/ol.2025.15200>
13. Lee A.T.J., Thway K., Huang P.H., Jones R.L. Clinical and molecular spectrum of liposarcoma. *J. Clin. Oncol.* 2018; 36 (2): 151–159. <https://doi.org/10.1200/JCO.2017.74.9598>
14. Malinauskaite I., Hofmeister J., Burgermeister S. et al. Radiomics and Machine Learning Differentiate Soft-Tissue Lipoma and Liposarcoma Better than Musculoskeletal Radiologists. *Sarcoma.* 2020: 7163453. <https://doi.org/10.1155/2020/7163453>
15. Нуднов Н.В., Харченко Н.В., Аксенова С.П. и др. Магнитно-резонансная томография в дифференциальной диагностике липом и липосарком мягких тканей. *Медицинская визуализация.* 2025; 29 (2): 72–87 <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1533>
Nudnov N.V., Kharchenko N.V., Aksenova S.P. et al. Magnetic resonance imaging in the differential diagnosis of soft tissue lipomas and liposarcomas. *Medical Visualization.* 2025; 29 (2): 72–87. <https://doi.org/10.24835/1607-0763-1533>. (In Russian)
16. Foreman S.C., Llorián-Salvador O., David D.E. et al. Development and Evaluation of MR-Based Radiogenomic Models to Differentiate Atypical Lipomatous Tumors from Lipomas. *Cancers.* 2023; 15 (7): 2150. <https://doi.org/10.3390/cancers15072150>
17. Gitto S., Interlenghi M., Cuocolo R. et al. MRI radiomics-based machine learning for classification of deep-seated lipoma and atypical lipomatous tumor



- of the extremities. *La Radiologia Medica*. 2023; 128: 989–998. <https://doi.org/10.1007/s11547-023-01657-y>
18. Tang Y., Cui J., Zhu J., Fan G. Differentiation Between Lipomas and Atypical Lipomatous Tumors of the Extremities Using Radiomics. *J. Magn. Res. Imaging*. 2022; 56 (6): 1746–1754. <https://doi.org/10.1002/jmri.28167>
 19. Cay N., Mendi B.A.R., Batur H. et al. Discrimination of lipoma from atypical lipomatous tumor/well-differentiated liposarcoma using magnetic resonance imaging radiomics combined with machine learning. *Japanese J. Radiol.* 2022; 40 (9): 951–960. <https://doi.org/10.1007/s11604-022-01278-x>
 20. Vos M., Starmans M.P.A., Timbergen M.J.M. et al. Radiomics approach to distinguish between well differentiated liposarcomas and lipomas on MRI. *Br. J. Surg.* 2019; 106 (13): 1800–1809. <https://doi.org/10.1002/bjs.11410>

Для корреспонденции*: Уразов Александр Викторович – urazoff1432@yandex.ru

Уразов Александр Викторович – ассистент кафедры онкологии и рентгенодиагностики им. В.П. Харченко МИ ФГАОУ ВО “Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы” Минобрнауки России, Москва. <https://orcid.org/0009-0004-8226-2449>

Аксенова Светлана Павловна – канд. мед. наук, научный сотрудник лаборатории рентгенодиагностики научно-исследовательского отдела комплексной диагностики заболеваний и радиотерапии ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России; ассистент кафедры онкологии и рентгенодиагностики им. В.П. Харченко ФГАОУ ВО “Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы” Минобрнауки России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-2552-5754>

Нуднов Николай Васильевич – доктор мед. наук, профессор, заместитель директора по научной работе, заведующий научно-исследовательским отделом комплексной диагностики заболеваний и радиотерапии ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России; профессор кафедры рентгенологии и радиологии ФГБОУ ДПО “Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования” Минздрава России; профессор кафедры онкологии и рентгенодиагностики им. В.П. Харченко ФГАОУ ВО “Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы” Минобрнауки России, Москва. <https://orcid.org/0000-0001-5994-0468>

Харченко Наталья Владимировна – доктор мед. наук, профессор, профессор кафедры онкологии и рентгенодиагностики им. В.П. Харченко ФГАОУ ВО “Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы” Минобрнауки России, Москва. <https://orcid.org/0000-0002-5352-492X>

Сергеев Николай Иванович – доктор мед. наук, заведующий лабораторией рентгенодиагностики научно-исследовательского отдела комплексной диагностики заболеваний и радиотерапии ФГБУ “Российский научный центр рентгенодиагностики” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0000-0003-4147-1928>

Contact*: Aleksandr V. Urazov – urazoff1432@yandex.ru

Aleksandr V. Urazov – Assistant Professor, Department of Oncology and Roentgenology named after V.P. Kharchenko, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University), Moscow. <https://orcid.org/0009-0004-8226-2449>

Svetlana P. Aksenova – Cand. of Sci. (Med.), research fellow, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; Assistant Professor, Department of Oncology and Roentgenology named after V.P. Kharchenko, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University), Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-2552-5754>

Nikolay V. Nudnov – Doct. of Sci. (Med.), Professor, Deputy Director for Scientific Work, Head of the Research Department for Complex Diagnostics of Diseases and Radiotherapy, Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; Professor, Department of Roentgenoradiology and Radiology, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; Professor, Department of Oncology and Radiology, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0001-5994-0468>

Natalia V. Kharchenko – Doct. of Sci. (Med.), Professor, professor of the Department of Oncology and Roentgenology named after V.P. Kharchenko, Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN University), Moscow. <https://orcid.org/0000-0002-5352-492X>

Nikolay I. Sergeev – Doct. of Sci. (Med.), Head of the Laboratory of X-ray Radiology of the Research Department of Complex Diagnostics of Diseases and Radiotherapy of the Russian Scientific Center of Roentgenoradiology of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0000-0003-4147-1928>