На правах рукописи

УРАЗОВ Александр Викторович

РАДИОМИКА В ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКЕ ЛИПОМ И ЛИПОСАРКОМ КОНЕЧНОСТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ

3.1.25. Лучевая диагностика
3.1.6. Онкология, лучевая терапия

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени кандидата медицинских наук

Москва – 2026

Работа выполнена в ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы»

Научные руководители:

доктор медицинских наук, профессор **Нуднов Николай Васильевич**
доктор медицинских наук, профессор **Харченко Наталья Владимировна**

Официальные оппоненты:

- доктор медицинских наук, профессор **Труфанов Геннадий Евгеньевич**, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр имени В.А. Алмазова» Минздрава России, кафедра лучевой диагностики и медицинской визуализации с клиникой Института медицинского образования, заведующий кафедрой

- кандидат медицинских наук **Бохян Бениамин Юрикович**, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии имени Н.Н. Блохина» Минздрава России, отделение опухолей костей, мягких тканей и кожи НИИКО им. академика Н.Н. Трапезникова, старший научный сотрудник

Ведущая организация: ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова» Минздрава России

Защита состоится « 28 » декабря 2026 г. в 17.30 часов на заседании диссертационного совета 21.1.056.01 при ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» Минздрава России по адресу: 117997, Москва, ул. Профсоюзная, д. 86.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБУ «РНЦРР» Минздрава России по адресу: 117997, Москва, ул. Профсоюзная, д. 86 и на сайте организации: https://www.rncrr.ru/nauka/.

Автореферат разослан «___» ноября 2026 г.

Учёный секретарь диссертационного совета,
доктор медицинских наук, профессор Цаллагова З.С.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы

Липомы относятся к наиболее распространённым новообразованиям мягких тканей и составляют до 50% от их общего числа (Moran L.M., 2025), тогда как на долю липосарком приходится от 13% до 20% сарком мягких тканей (Jonczak E., 2024). Дооперационное разграничение этих опухолей остаётся нерешённой клинической задачей вследствие их визуального сходства (Muhib M., 2024; Natella R., 2023; Asano Y., 2022). Ошибка в дифференциальной диагностике напрямую влияет на выбор объёма хирургического вмешательства и прогноз: при липомах, как правило, достаточно краевого иссечения или динамического наблюдения, тогда как липосаркомы подлежат широкому иссечению.

Магнитно-резонансная томография (МРТ) является методом выбора для дооперационной оценки липоматозных опухолей (Wilson M.P., 2023; Nalbant H., 2025), однако её диагностические возможности в данной задаче ограничены. По данным метаанализа, включавшего исследования КТ и МРТ, чувствительность визуальной оценки достигает 85%, тогда как специфичность остаётся умеренной и составляет около 63% (Wilson M.P., 2023). Межэкспертная согласованность при этом низкая: в части исследований до 21,7% образований были переоценены как более злокачественные по сравнению с гистологическим заключением (Ballhause T.M., 2022).

«Золотым стандартом» верификации остаётся гистологическое исследование биопсийного материала с молекулярно-генетическим тестированием (Lee A.T.J., 2018; Natella R., 2023), однако этот метод инвазивен и сопряжён с риском ошибки забора материала. Для атипичной липоматозной опухоли (ALT) диагностическая точность прицельной трепан-биопсии составила 81% (Thavikulwat A.C., 2021).

Перспективным направлением решения этой проблемы является радиомика. Данная методика позволяет извлекать из медицинских изображений количественные признаки, многие из которых недоступны

при визуальной оценке. На основе этих признаков строятся модели машинного обучения (Shah A., 2025).

Вместе с тем внедрению радиомики препятствует ряд нерешённых методологических проблем. Во-первых, значения радиомических признаков зависят от модели томографа, протокола сканирования и способа сегментации (Leporq B., 2020; Sudjai N., 2023). Во-вторых, лишь около трети исследований (29%) включали проверку моделей на независимых данных других учреждений (Gitto S., 2024). В-третьих, при большом количестве признаков и малом объёме выборки высок риск переобучения моделей (Shah A., 2025). Кроме того, основное внимание в литературе уделено разграничению липом и ALT, тогда как диагностический потенциал радиомики в дифференциации липом с иными гистологическими подтипами липосарком остаётся изученным в значительно меньшей степени (Muhib M., 2024).

Таким образом, вопрос о практической значимости радиомики остаётся открытым. Это обусловливает актуальность исследований, в которых проводится прямое сравнение диагностической эффективности семиотики, радиомического анализа и их комбинации. Решению этих вопросов посвящено настоящее диссертационное исследование.

Цель исследования

Разработать прогностические модели, построенные на основе семиотических, радиомических и комбинированных наборов признаков и сравнить диагностическую эффективность в дооперационной дифференциальной диагностике липом и липосарком конечностей по данным МРТ.

Задачи исследования

ровести оценку и выделить статистически значимые семиотические МР-признаки липом и липосарком.

азработать на основе статистически значимых семиотических признаков диагностический инструмент (номограмму) для оценки злокачественности опухолей.

азработать и сравнить прогностические модели машинного обучения на основе радиомических и комбинированных наборов признаков с применением нескольких алгоритмов классификации.

равнить диагностическую эффективность номограммы, лучших радиомической и комбинированной моделей с независимой оценкой врачей-рентгенологов.

Научная новизна

Впервые проведено прямое сопоставление диагностической эффективности стандартизированной оценки семиотических МР-признаков (реализованной в виде номограммы), независимой оценки врачей-рентгенологов и лучших прогностических моделей машинного обучения, построенных на радиомических и комбинированных наборах признаков, для дифференциальной диагностики липом с широким спектром гистологических подтипов липосарком.

На примере набора T2_radiomics+sem показано, что увеличение доли радиомических признаков в составе сокращённого комбинированного набора сопровождалось приростом диагностической эффективности модели (ROC-AUC 0,920 против 0,905 при меньшей доле радиомических признаков), что указывает на самостоятельный диагностический вклад радиомических данных при их сочетании с семиотическими даже в условиях ограниченного объёма выборки.

Результаты работы обосновывают место радиомического анализа в дифференциальной диагностике липоматозных опухолей конечностей: показано, что при ограниченном объёме выборки радиомические модели самостоятельно не превосходят по диагностической эффективности стандартизированную оценку семиотических признаков, однако их сочетание с семиотическими данными позволяет достичь сопоставимой эффективности, расширяя объективную основу дооперационной диагностики.

Практическая значимость работы

Практическая значимость работы определяется тем, что выделен и обоснован набор семиотических МР-признаков, обеспечивающий высокую диагностическую эффективность в дифференциации липом и липосарком конечностей. Эти признаки могут быть оценены визуально в рамках стандартного протокола МРТ, что позволяет применять их в повседневной клинической практике.

На основе статистически значимых семиотических признаков разработана диагностическая номограмма для расчёта индивидуальной вероятности злокачественности липоматозных опухолей конечностей (ROC-AUC 0,941). Номограмма представляет собой практический инструмент, реализующий диагностическую ценность семиотических признаков в клинически применимой форме.

Диагностическая эффективность номограммы сопоставима с оценкой опытного врача-рентгенолога и превышает результат врача с меньшим опытом работы. Это позволяет рассматривать номограмму как перспективный инструмент поддержки принятия решений, в первую очередь для начинающих специалистов.

Установлены роль и место радиомического анализа в прогнозировании злокачественности липоматозных опухолей. В условиях ограниченной выборки радиомические модели уступают по эффективности номограмме. Сопоставимая по прогностической способности модель на основе комбинированного набора данных (T2_radiomics+sem, ROC-AUC 0,920) указывает на самостоятельный диагностический вклад радиомических данных при их сочетании с семиотическими.

Основные положения, выносимые на защиту

цениваемые при МРТ семиотические признаки доброкачественных и злокачественных липоматозных опухолей конечностей (локализация опухоли, расположение относительно компартментов, форма опухоли, интенсивность МР-сигнала на импульсных

последовательностях с подавлением сигнала от жировой ткани, количество перегородок, толщина перегородок, наличие солидного компонента) статистически значимо различаются и могут быть использованы для дооперационной дифференциальной диагностики.
остроенная на основе семиотических признаков номограмма позволяет с высокой диагностической эффективностью (ROC-AUC 0,941) оценивать вероятность злокачественности липоматозных опухолей конечностей на дооперационном этапе.
адиомические признаки опухоли, извлеченные из нативных T1- и T2-взвешенных изображений, у пациентов с липомами и липосаркомами конечностей несут диагностически значимую информацию. Их сочетание с семиотическими признаками позволяет построить устойчивую прогностическую модель (ROC-AUC до 0,920), сопоставимую по эффективности с номограммой.

Внедрение результатов исследования

Результаты диссертационного исследования внедрены в работу ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» Минздрава России, использованы в учебном процессе кафедры онкологии и рентгенорадиологии им. В.П. Харченко МИ РУДН им. П. Лумумбы.

Апробация результатов исследования

Материалы диссертации доложены и обсуждены на XIX Всероссийском национальном конгрессе лучевых диагностов и терапевтов «Радиология - 2025» (г. Москва, май 2025), II-й Научно-практической конференции с международным участием «ИИ и радиомика: от диагностики до лечения» памяти академика Кармазановского Григория Григорьевича (г. Москва, июнь 2025), XX Юбилейном Всероссийском национальном конгрессе лучевых диагностов и терапевтов «Радиология - 2026» (г. Москва, май 2026).

Апробация диссертации состоялась 18 июня 2026 г. на совместном заседании кафедры онкологии и рентгенорадиологии имени В.П. Харченко Медицинского института ФГАОУ ВО «Российский

университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» и ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» Минздрава России (протокол № 300-26-06/06).

Публикации

По материалам диссертации опубликованы 3 научные статьи в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК и индексируемых в международной базе данных Scopus.

Объём и структура диссертации

Диссертация изложена на 148 страницах машинописного текста и состоит из введения, трёх глав (обзора литературы, описания материала и методов исследования, результатов собственных исследований), заключения, выводов, практических рекомендаций, списка сокращений и условных обозначений и списка литературы. Работа иллюстрирована 29 рисунками и 23 таблицами. Список литературы включает 116 источников, из них 4 отечественных и 112 зарубежных.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Материалы и методы исследования

Настоящее ретроспективное исследование выполнено на основе данных трёх медицинских учреждений: ФГБУ «Российский научный центр рентгенорадиологии» Минздрава России, Московского научно-исследовательского онкологического института имени П.А. Герцена (филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России) и Медицинского радиологического научного центра имени А.Ф. Цыба (филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России). В исследование были включены данные 95 пациентов с липоматозными опухолями (гистологически подтверждён один из следующих диагнозов: D17 липома, C49 липосаркома), прошедших лечение и получивших консультацию специалистов в одном из перечисленных медицинских учреждений в период с 2012 по 2025 г.

Критерии включения: гистологически верифицированный диагноз (липома или липосаркома), возраст 18 лет и старше, МР-исследование области интереса выполнено не позднее чем за 1 месяц до начала специфического лечения.

Критерии исключения: отсутствие в протоколе МР-исследования необходимых для анализа последовательностей, неполный охват зоны интереса, выраженные артефакты, затруднявшие оценку опухоли.

Во всех случаях диагноз был подтверждён морфологически. Гистологически верифицированный диагноз «липома» был подтверждён у 50 (52,6%) пациентов, 45 (47,4%) пациентов имели гистологически верифицированный диагноз «липосаркома», что соответствует соотношению групп 1,1:1. Выборку составили пациенты в возрасте от 27 до 90 лет (средний возраст 58 лет, стандартное отклонение (СО) ±14,8). Распределение пациентов в зависимости от гистологического подтипа представлено в таблице 1.

Таблица 1. *Распределение пациентов в зависимости от гистологического подтипа.*

Гистологический диагноз	**Подтип опухоли**	**Количество пациентов**
Липома		
Липосаркома	Атипичная липоматозная опухоль	
	Дедифференцированная липосаркома (DDLPS)	
	Миксоидная липосаркома (MLPS)	
	Плеоморфная липосаркома (PLPS)	
	Не уточнён	
Всего		

Исследование включало девять последовательных этапов, охватывающих отбор пациентов, анализ МР-изображений, построение

диагностических моделей и сравнительную оценку их диагностической эффективности. Схема дизайна исследования представлена на рисунке 1.

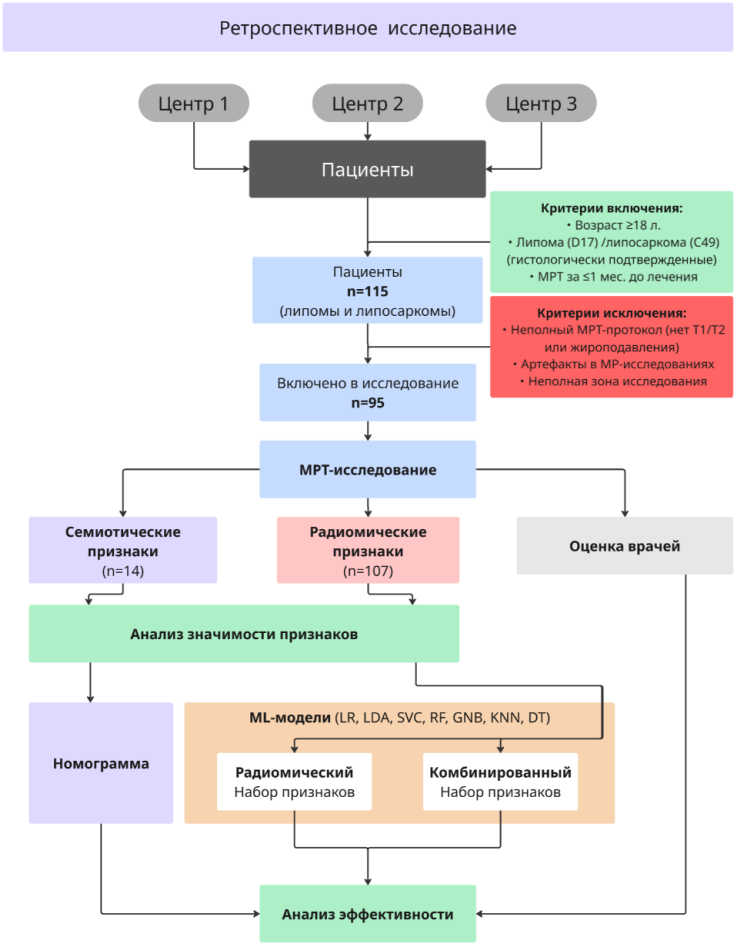


Рисунок 1. *Дизайн исследования.*

Всем пациентам проведено магнитно-резонансное сканирование на томографах с индукцией магнитного поля 1,5 Тл (9 моделей МР-томографов от 4 производителей). Протокол МР-исследования в большинстве случаев включал следующие импульсные

последовательности: Т2-ВИ, Т1-ВИ, последовательности с подавлением сигнала от жировой ткани (T1 FS, T2 FS, STIR, Dixon), диффузионно-взвешенные изображения (ДВИ) с b-фактором взвешенности 800-1000 с/мм² и T1 FS с контрастным усилением солями гадолиния.

Анализировались клинико-анамнестические данные пациентов и семиотические признаки опухоли по данным МРТ. Каждый из анализируемых признаков оценивался по заранее определённым градациям. Сравнение пропорций семиотических признаков в группах липом и липосарком проводилось с помощью критерия χ^2 Пирсона, для сравнения объёма липом и липосарком использовался U-критерий Манна-Уитни. Различия считали статистически значимыми при $p<0,05$. Отобранным признакам были присвоены числовые значения для дальнейшего анализа.

На основе статистически значимых признаков была построена диагностическая номограмма для расчёта вероятности злокачественности новообразования. Ввиду выраженного преобладания овоидной формы (49 из 50) в группе липом для построения номограммы использовалась регрессия Фирта. Внутренняя валидация номограммы проводилась методом бутстреп (1000 итераций) с расчётом скорректированных показателей точности и калибровки модели. При выявлении признаков завышенной точности коэффициенты номограммы корректировались shrinkage-методом в соответствии с рекомендациями

Независимая оценка МР-изображений проводилась двумя врачами-рентгенологами с опытом работы 8 лет и 2 года. Врачи-рентгенологи оценивали одну и ту же выборку МР-изображений (95 пациентов) независимо друг от друга, не имея данных о результатах гистологического исследования. Для каждого случая определялся один из четырёх вариантов заключения: липома, вероятно липома, вероятно липосаркома, липосаркома.

Сегментация выполнялась врачом-рентгенологом в программе 3D Slicer (версия 5.8.1). Объём опухоли выделялся вручную на аксиальных

срезах нативной Т2-ВИ, после чего проводилась ручная синхронизация по срезам в Т1-ВИ для получения идентичной области интереса (VOI). Расчёт признаков выполнялся в модуле PyRadiomics независимо для каждой из последовательностей. Перед извлечением признаков изображения подвергались ресемплингу до размера вокселя 1×1×1 мм³. Для каждой последовательности (Т1-ВИ и Т2-ВИ) рассчитывалось по 107 радиомических признаков, принадлежащих 7 классам: First Order, Shape, GLCM, GLDM, GLRLM, GLSZM и NGTDM. При совместном анализе обеих последовательностей итоговый набор составлял 214 признаков. Для стандартизации признаков применялся метод Z-score нормализации.

Модели машинного обучения строились на шести наборах данных: трёх радиомических (T1_radiomics, T2_radiomics, T1+T2_radiomics) и трёх комбинированных, использующих семиотические и радиомические признаки (T1_radiomics+sem, T2_radiomics+sem, T1+T2_radiomics+sem). Данные разделены на обучающую и тестовую выборки в соотношении 80% к 20%. Обучающая и тестовая выборки были сопоставимы по полу ($p=0,271$), возрасту ($p=0,982$), локализации ($p=0,602$) и частоте встречаемости липосарком ($p=1,000$). Сравнивались семь алгоритмов: логистическая регрессия (LR), линейный дискриминантный анализ (LDA), метод опорных векторов (SVC), случайный лес (RF), наивный байесовский классификатор (GNB), метод k-ближайших соседей (KNN) и дерево решений (DT). Оптимизация гиперпараметров проводилась методом RandomizedSearchCV (200 итераций, 5-кратная перекрёстная валидация). Эффективность моделей оценивалась по метрикам Accuracy, Precision, Recall, F1-score и ROC-AUC. Для ROC-AUC вычислялись 95% доверительные интервалы методом бутстреп (1000 итераций).

Учитывая значительное превышение количества признаков над объёмом выборки, модели строились как на полных наборах признаков, так и на сокращённых. Сокращённые наборы содержали 8 наиболее информативных признаков, отобранных по F-критерию. Для комбинированных наборов дополнительно рассматривались два

варианта отбора. Окно 1-8 включало восемь признаков с наивысшим F-критерием. В окне 3-10 два признака с наивысшим значением F-критерия исключались, и в набор входили признаки с третьего по десятый ранг.

Диагностическая эффективность независимой оценки врачей-рентгенологов, диагностической номограммы, а также лучших радиомической и комбинированной моделей машинного обучения сопоставлялась по показателю ROC-AUC. Показатели номограммы и врачей-рентгенологов рассчитывались на полной когорте (n=95), а показатели моделей машинного обучения на тестовой выборке. Ввиду различного объёма и состава выборок сопоставление носило описательный характер, статистическое сравнение ROC-кривых не проводилось.

Результаты собственных исследований

Анализ семиотических признаков

В ходе проведённого исследования были установлены статистически значимые различия между группами пациентов с липомами и липосаркомами (таблица 2).

Таблица 2. *Статистически значимые семиотические МР-признаки липом и липосарком.*

Признак	Липомы (n=50)	Липосаркомы (n=45)	p
Локализация на нижних конечностях	20 (40%)	41 (91%)	<0,001
Расположение внутри компартмента	14 (28%)	33 (73%)	<0,001
Неправильная форма	1 (2%)	18 (40%)	<0,001
Гиперинтенсивный сигнал на ИП с подавлением сигнала от жировой ткани	14 (28%)	36 (80%)	<0,001
Количество перегородок 3 и более	18 (36%)	40 (89%)	<0,001
Толщина перегородок более 2 мм	8 (16%)	25 (56%)	<0,001
Наличие солидной ткани	5 (10%)	28 (62%)	<0,001

Примечание: ИП – импульсная последовательность; p – уровень статистической значимости.

Статистически значимых различий между группами по полу (p=0,670) и возрасту (p=0,135) выявлено не было. В группе липосарком статистически значимо чаще выявлялись локализация на нижних конечностях, расположение внутри компартмента и неправильная форма опухоли. Наиболее значимыми признаками злокачественности оказались гиперинтенсивный сигнал на последовательностях с подавлением сигнала от жировой ткани, количество перегородок 3 и более, толщина перегородок более 2 мм и наличие солидной ткани. Статистически значимых различий по стороне поражения, глубине залегания, объёму опухоли и интенсивности МР-сигнала на Т1- и Т2-ВИ выявлено не было (p>0,05). По результатам анализа отобраны 7 наиболее информативных семиотических предикторов для построения диагностической номограммы и комбинированных моделей машинного обучения.

Номограмма

Для построения диагностической номограммы использованы семь статистически значимых семиотических признаков: локализация опухоли, расположение относительно компартментов, форма опухоли, интенсивность МР-сигнала на ИП с подавлением сигнала от жировой ткани, количество перегородок, толщина перегородок, наличие солидной ткани. После проведения внутренней валидации и коррекции коэффициентов были получены итоговые коэффициенты регрессионного уравнения, на основании которых была построена диагностическая номограмма (рисунок 2).

Номограмма показала результат ROC-AUC 0,961, что превышает показатель каждого из отдельных признаков (ROC-AUC 0,690-0,772) (рисунок 3). Поскольку приведённое значение ROC-AUC было рассчитано на той же выборке, на которой обучена модель, для устранения завышенной оценки необходимо было провести корректировку. Скорректированная на bootstrap-оптимизм оценка составила ROC-AUC 0,941 (95% ДИ 0,905-0,978). Тест Хосмера-Лемешоу не выявил статистически значимого отклонения (χ^2=7,15; df=3;

p=0,067), показатель Бриера составил 0,081, что говорит о низкой погрешности прогнозирования.

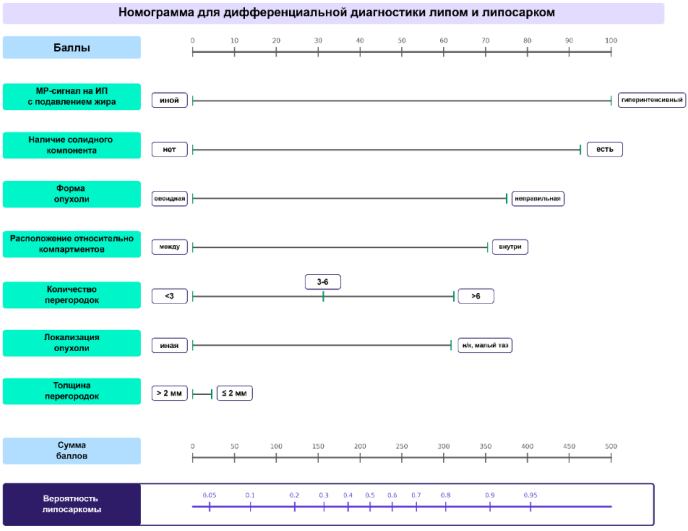


Рисунок 2. *Номограмма для дифференциальной диагностики липом и липосарком мягких тканей конечностей на основе семиотических признаков МРТ.*

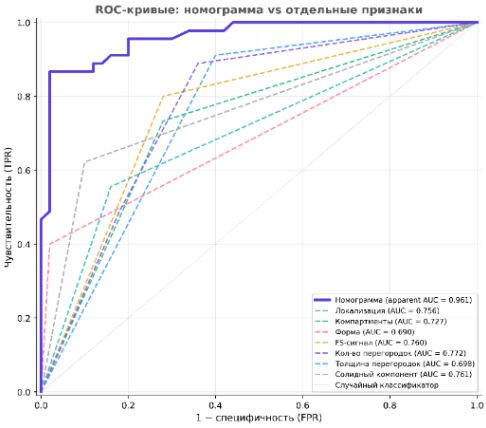


Рисунок 3. *ROC-кривые номограммы и отдельных МР-признаков в дифференциальной диагностике липом и липосарком.*

Независимая оценка врачей-рентгенологов

Результаты независимой оценки МР-изображений двумя врачами-рентгенологами представлены в таблице 3. Диагностическая эффективность для каждого рентгенолога оценивалась с помощью ROC-AUC, рассчитанного по всем четырём градациям заключения. Для расчёта чувствительности, специфичности и точности результаты «вероятно липосаркома» и «липосаркома» объединялись в положительный результат, результаты «липома» и «вероятно липома» объединялись в отрицательный результат.

Для рентгенолога с опытом работы 8 лет: ROC-AUC 0,924, чувствительность 84,4%, специфичность 88%, точность 86,3%. Для рентгенолога с опытом работы 2 года: ROC-AUC 0,800, чувствительность 75,6%, специфичность 78%, точность 76,8%.

Таблица 3. *Таблица сопряжённости истинных диагнозов и заключений врачей-рентгенологов (n=95).*

Оценка врача	**Рентгенолог 1, «липома»**	**Рентгенолог 1, «липосаркома»**	**Рентгенолог 2, «липома»**	**Р е**
Липома				
Вероятно липома				
Вероятно липосаркома				
Липосаркома				

Примечание: рентгенолог 1 – опыт работы 8 лет, рентгенолог 2 – опыт работы 2 года; обозначение «липома», «липосаркома» в заголовках столбцов – гистологически верифицированный диагноз.

Модели машинного обучения

На полных наборах признаков наибольшую неустойчивость показали радиомические модели. После оптимизации гиперпараметров эффективность большинства алгоритмов на наборах T1_radiomics, T2_radiomics и T1+T2_radiomics снижалась до уровня случайного

угадывания (ROC-AUC 0,500). Лучшие результаты до оптимизации составили: для T1_radiomics алгоритм SVC (ROC-AUC 0,852), для T2_radiomics алгоритм SVC (ROC-AUC 0,833), для T1+T2_radiomics алгоритм RF (ROC-AUC 0,852). После оптимизации: для T1_radiomics алгоритм DT (ROC-AUC 0,611), для T2_radiomics алгоритм RF (ROC-AUC 0,700) и для T1+T2_radiomics алгоритм LR (ROC-AUC 0,722). Комбинированные модели на полных наборах признаков показали более высокие результаты: наивысшую эффективность среди них продемонстрировал набор T2_radiomics+sem (алгоритм RF, ROC-AUC 0,911, точность 0,737).

Ввиду высокого соотношения числа признаков к объёму выборки дополнительно проведён анализ на сокращённых наборах признаков. В наборах T1_radiomics+sem и T2_radiomics+sem окно 1-8 включало 7 семиотических и 1 радиомический признак. В наборе T1+T2_radiomics+sem окно 1-8 включало 6 семиотических и 2 радиомических признака. Во всех трёх наборах два наиболее информативных признака были семиотическими (гиперинтенсивный сигнал на последовательностях с подавлением сигнала от жировой ткани и наличие солидной ткани), поэтому их исключение в окне 3-10 увеличивало долю радиомических признаков. Во всех комбинированных наборах окно 3-10 включало 5 семиотических и 3 радиомических признака.

После сокращения количества признаков устойчивость радиомических и комбинированных моделей повысилась (таблица 4).

Лучший результат среди радиомических моделей достигнут для набора T2_radiomics (алгоритм GNB, ROC-AUC 0,838), среди комбинированных для набора T2_radiomics+sem (окно 3-10, алгоритм

При анализе значимости признаков в комбинированных наборах методом F-теста доминировали семиотические признаки: наибольшие значения F-критерия имели гиперинтенсивный сигнал на последовательностях с подавлением сигнала от жировой ткани (F=32-

40), наличие солидной ткани (F=34-37) и количество перегородок (F=28-29). Среди радиомических признаков наиболее информативными оказались Skewness (F=19-21) и Kurtosis (F=12-18).

Таблица 4. *Показатели метрик моделей машинного обучения после сокращения признаков (после оптимизации гиперпараметров).*

Набор признаков	**Модель**		**ROC-AUC (95% ДИ)**

Сравнение диагностической эффективности

Итоговое сопоставление диагностической эффективности объединяет результаты независимой оценки врачей-рентгенологов, диагностической номограммы, а также лучшей радиомической и комбинированной моделей машинного обучения (на сокращённых наборах признаков). В качестве лучшей радиомической модели выбран результат набора «T2_radiomics» (алгоритм GNB, ROC-AUC 0,838), в качестве лучшей комбинированной модели использован результат набора «T2_radiomics+sem» (окно 3-10, алгоритм SVC, ROC-AUC 0,920). Сопоставление проведено по показателю ROC-AUC (таблица 5, рисунок

Таблица 5. *Сопоставление диагностической эффективности врачей-рентгенологов, номограммы, лучшей радиомической и лучшей комбинированной моделей.*

Метод	
Рентгенолог (опыт 2 года)	
Лучшая радиомическая модель (T2_radiomics, GNB)	
Лучшая комбинированная модель (T2_radiomics+sem, окно 3-10, SVC)	
Рентгенолог (опыт 8 лет)	
Диагностическая номограмма	

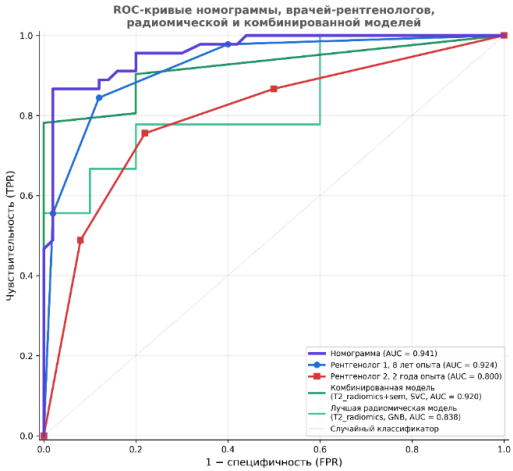


Рисунок 4. *Сопоставление ROC-кривых номограммы, врачей-рентгенологов и лучших радиомической и комбинированной моделей машинного обучения.*

Наибольшее значение ROC-AUC продемонстрировала номограмма (ROC-AUC 0,941), незначительно превысившая результат рентгенолога с опытом работы 8 лет (ROC-AUC 0,924) и лучшей комбинированной модели (ROC-AUC 0,920). Более скромные результаты продемонстрировали лучшая радиомическая модель и рентгенолог с опытом работы 2 года (ROC-AUC 0,838 и 0,800 соответственно).

Показатель номограммы рассчитан на полной выборке (n=95), показатель комбинированной модели получен на тестовой выборке (n=19), врачи-рентгенологи оценивали 95 пациентов исследования. Ввиду разного объёма и состава сравниваемых выборок сопоставление носит описательный характер и не является формальным статистическим сравнением на одних и тех же наблюдениях.

Таким образом, номограмма, построенная на основе семиотических признаков МРТ, обладает высокой диагностической эффективностью в дифференциальной диагностике липом и липосарком конечностей (ROC-AUC 0,941). Полученный результат сопоставим с оценкой опытного врача-рентгенолога (ROC-AUC 0,924). Радиомические признаки несут самостоятельную диагностическую информацию, а их сочетание с семиотическими признаками позволяет достичь сопоставимой эффективности (ROC-AUC 0,920), что определяет перспективность радиомического анализа при увеличении объёма выборки и проведении внешней валидации.

ВЫВОДЫ

ри оценке семиотических МР-признаков выделено семь статистически значимых предикторов злокачественности липоматозных опухолей ($p<0,05$): локализация на нижних конечностях, расположение внутри компартмента, неправильная форма, гиперинтенсивный сигнал на последовательностях с подавлением жира, количество перегородок 3 и более, толщина перегородок более 2 мм и наличие солидного компонента.

остроенная на основе статистически значимых семиотических признаков диагностическая номограмма показала высокую прогностическую способность в дифференциации липом и липосарком (ROC-AUC 0,941, 95% ДИ 0,905-0,978, показатель Бриера 0,081, тест Хосмера-Лемешоу $p = 0,067$).

азработаны прогностические модели дифференциации липом и

липосарком на основе семи алгоритмов машинного обучения для шести наборов признаков. Наборы включали радиомические признаки из МР-изображений и комбинированные признаки. После оптимизации гиперпараметров из-за высокого соотношения числа признаков к объёму выборки модели на полных наборах данных демонстрировали неустойчивость. Сокращение набора признаков до 8 наиболее информативных устраняло эту неустойчивость. Лучший результат для радиомического типа признаков показал алгоритм GNB (набор T2_radiomics, ROC-AUC 0,838), для комбинированного набора признаков алгоритм SVC (набор T2_radiomics+sem, ROC-AUC 0,920). равнительный анализ диагностической эффективности по показателю ROC-AUC показал более высокую диагностическую эффективность номограммы (0,941) по сравнению с оценкой рентгенолога с 2-летним стажем (0,800) и лучшей радиомической моделью (0,838). При этом диагностическая эффективность номограммы сопоставима с оценкой опытного рентгенолога (8 лет стажа, 0,924) и с лучшей комбинированной моделью (0,920).

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

ри описании липоматозной опухоли конечности по данным МРТ рекомендуется оценивать семь семиотических признаков: локализацию опухоли, расположение относительно компартментов, форму, интенсивность МР-сигнала на последовательностях с подавлением сигнала от жировой ткани, количество и толщину перегородок, наличие солидного компонента.

ля количественной оценки вероятности злокачественности липоматозной опухоли на дооперационном этапе может использоваться разработанная номограмма. Её применение целесообразно врачам-рентгенологам с небольшим опытом работы.

ри построении радиомических моделей на выборках ограниченного объёма число признаков следует сокращать в соответствии с объемом

выборки, радиомические признаки целесообразно рассматривать как дополнение к семиотическим.
омограмма и модели машинного обучения не заменяют морфологическую верификацию диагноза. До проведения внешней валидации их следует рассматривать как вспомогательный инструмент поддержки принятия решений.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

уднов Н.В., Харченко Н.В., Аксенова С.П., **Уразов А.В.**, Солодкий В.А., Каприн А.Д. Магнитно-резонансная томография в дифференциальной диагностике липом и липосарком мягких тканей // Медицинская визуализация. – 2025. – Т. 29, № 2. – С. 72-87

разов А.В., Аксенова С.П., Нуднов Н.В., Харченко Н.В., Сергеев Н.И., Солодкий В.А., Каприн А.Д. Дифференциальная диагностика липом и липосарком мягких тканей конечностей: мультицентровое исследование с применением машинного обучения на основе клинических, семиотических и радиомических признаков, извлеченных из бесконтрастной магнитно-резонансной томографии // Digital Diagnostics. – 2026. – С. 261–284

разов 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. – Т. 30, № 3. – С. 124–136 DOI:

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ДВИ – диффузионно-взвешенное изображение
ДИ – доверительный интервал
ИП – импульсная последовательность
КТ – компьютерная томография
МР – магнитно-резонансный
МРТ – магнитно-резонансная томография
СО – стандартное отклонение
Т1-ВИ – Т1-взвешенное изображение
Т2-ВИ – Т2-взвешенное изображение
ALT – Atypical Lipomatous Tumor (атипичная липоматозная опухоль)
DDLPS – Dedifferentiated Liposarcoma (дедифференцированная липосаркома)
DT – Decision Tree (дерево решений)
F1 (F1-score) – F-мера
FS – Fat Saturation (режим МРТ с подавлением сигнала жировой ткани)
GLCM – Gray Level Co-occurrence Matrix (матрица совместной встречаемости уровней серого)
GLDM – Gray Level Dependence Matrix (матрица зависимости уровней серого)
GLRLM – Gray Level Run-Length Matrix (матрица длин серий уровней серого)
GLSZM – Gray Level Size-Zone Matrix (матрица зон уровней серого по размеру)
GNB – Gaussian Naive Bayes (наивный байесовский классификатор)
KNN – K-Nearest Neighbors (метод k-ближайших соседей)
LDA – Linear Discriminant Analysis (линейный дискриминантный анализ)
LR – Logistic Regression (логистическая регрессия)
MLPS – Myxoid Liposarcoma (миксоидная липосаркома)
NGTDM – Neighborhood Gray-Tone Difference Matrix (матрица разностей серых тонов соседних вокселей)
PLPS – Pleomorphic Liposarcoma (плеоморфная липосаркома)

RF – Random Forest (случайный лес)
ROC-AUC – Area Under the ROC Curve (площадь под ROC-кривой)
STIR – Short Tau Inversion Recovery (импульсная последовательность МРТ с подавлением сигнала от жировой ткани)
SVC – Support Vector Classifier (классификатор на основе метода опорных векторов)
TRIPOD – рекомендации по представлению прогностических моделей
VOI – Volume of Interest (объём интереса)