

Саидов Комрон Жуманазарович¹ <https://orcid.org/0000-0003-0605-5080>

1. Специализированный научно-практический центр нейрохирургии и
нейрореабилитации при Самаркандском государственном медицинском
университете
Самарканд, Узбекистан

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОМОГРАММЫ, ОСНОВАННОЙ НА РАДИОМИЧЕСКИХ ПРИЗНАКАХ, ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ЛЕЧЕНИЯ ГРЫЖИ ПОЯСНИЧНОГО ДИСКА

Аннотация.

Введение: Грыжа поясничного диска (ГПД) является одним из наиболее распространённых дегенеративных заболеваний позвоночника с тенденцией к росту заболеваемости и частоты рецидивов. Выбор между хирургическим и консервативным лечением во многом остаётся субъективным.

Цель: Разработка и валидация номограммы на основе радиомических признаков МРТ для прогнозирования тактики лечения грыжи поясничного диска.

Материалы и методы: В ретроспективное исследование включены 200 пациентов с ГПД. Радиомические признаки были извлечены из T2-взвешенных сагиттальных МРТ-изображений. Отбор признаков проводился методом LASSO, после чего был рассчитан радиомический показатель (Rad-score). Создана и валидирована номограмма с использованием клинических и радиомических данных.

Результаты: Номограмма продемонстрировала высокую прогностическую эффективность (AUC = 0,93), чувствительность — 89%, специфичность — 93%, точность — 91%.

Заключение: Радиомическая номограмма является эффективным инструментом количественной поддержки клинических решений и может использоваться для оптимизации выбора между хирургическим и консервативным лечением ГПД.

Ключевые слова: грыжа поясничного диска; радиомика; МРТ; номограмма; прогнозирование лечения; LASSO

Saidov Komron Jumanazarovich¹

1. Specialized Scientific and Practical Center of Neurosurgery and Neurorehabilitation,
Samarkand State Medical University
Samarkand, Uzbekistan

USE OF A RADIOMICS-BASED NOMOGRAM FOR PREDICTING TREATMENT OUTCOMES IN LUMBAR DISC HERNIATION

Abstract.

Background: Lumbar disc herniation (LDH) is a common degenerative spinal disorder with increasing incidence and recurrence rates. Selecting the optimal treatment strategy—surgical or conservative—remains challenging due to the lack of quantitative decision-support tools. Objective: To develop and validate a radiomics-based nomogram derived from lumbar MRI for predicting treatment outcomes in patients with LDH.

Methods: A retrospective study included 200 patients with LDH who underwent either surgical or conservative treatment. Radiomic features were extracted from T2-weighted sagittal MRI images. Feature selection was performed using LASSO regression, and a radiomics score (Rad-score) was constructed. A nomogram combining radiomic and clinical factors was developed and validated. Model performance was evaluated using ROC analysis, calibration curves, Hosmer–Lemeshow test, C-index, and decision curve analysis (DCA).

Results: The radiomics-based nomogram demonstrated excellent predictive performance with an AUC of 0.93, sensitivity of 89%, specificity of 93%, and accuracy of 91%. Calibration and DCA confirmed good agreement and clinical utility.

Conclusion: The proposed radiomics-based nomogram is a reliable quantitative tool for predicting treatment strategies in LDH and may assist clinicians in individualized decision-making while avoiding inadequate or excessive treatment.

Keywords: lumbar disc herniation; radiomics; MRI; nomogram; treatment prediction; LASSO

Saidov Komron Jumanarovich¹

1. Samarqand davlat tibbiyot universiteti huzuridagi
Ixtisoslashtirilgan ilmiy-amaliy neyroxirurgiya va neyroeabilitatsiya markazi
Samarqand, O'zbekiston

BEL UMURTQA DISKI CHURRASINI DAVOLASH NATIJALARINI PROGNOZLASHDA RADIOMIK BELGILARGA ASOSLANGAN NOMOGRAMMADAN FOYDALANISH

Annotatsiya.

Kirish: Bel umurtqa diski churrasi (BUDCh) degenerativ umurtqa kasalliklari orasida keng tarqalgan bo'lib, davolash usulini tanlash ko'pincha subyektiv qarorlarga asoslanadi.

Maqsad: Bel umurtqa diski churrasida davolash usulini prognozlash uchun MRG radiomik belgilariga asoslangan nomogramma ishlab chiqish va baholash.

Materiallar va usullar: Tadqiqotga 200 nafar BUDCh tashxisi qo'yilgan bemor kiritildi. T2-vaznlangan sagittal MRG tasvirlaridan radiomik belgilar ajratildi. Belgilarni tanlash LASSO regressiyasi yordamida amalga oshirildi va Rad-score hisoblandi. Klinik va radiomik omillar asosida nomogramma yaratildi.

Natijalar: Nomogramma yuqori prognoz aniqligini ko'rsatdi ($AUC = 0,93$), sezgirlik — 89%, spetsifiklik—93%.

Xulosa: Radiomik nomogramma bel umurtqa diski churrasida individual davolash strategiyasini tanlashda samarali va ishonchli klinik vosita hisoblanadi.

Kalit so'zlar: bel umurtqa diski churrasi; radiomika; MRG; nomogramma; davolashni prognozlash; LASSO

Введение. В последние годы нерегулярный образ жизни и режим отдыха современных людей привели к постоянному росту заболеваемости грыжей поясничного диска (ГПД). Даже после лечения заболевание часто рецидивирует. При этом начало заболевания происходит в более раннем возрасте и в более тяжелой форме, влияя на повседневную жизнь [1]. Грыжа поясничного диска, вызванная дегенеративными изменениями в поясничном отделе

позвоночника, имеет множество причин развития этого заболевания, включая повреждения от внешних сил и долгосрочные повреждения поясничного отдела, вызванные вредными привычками. Например, частичный или полный разрыв, повреждение пульпозного ядра, стимуляция или сдавливание нервного корня, паралич хвостового нерва — это клинический синдром, являющийся одной из распространенных причин болей в пояснице и ногах. Хирургическое и консервативное лечение являются эффективными методами лечения грыжи поясничного диска. Хирургическое лечение можно разделить на традиционную хирургию и малоинвазивную хирургию. Анализ данных показывает, что некоторые исследователи считают, что хирургическое лечение имеет очевидные преимущества по сравнению с консервативным лечением в улучшении состояния при болях в пояснице и ногах, параличе мышц, снижении качества жизни и побочных реакциях, вызванных этим заболеванием [2]. Однако исследования подтвердили, что консервативное лечение может эффективно облегчить симптомы грыжи поясничного диска, и поэтому оно считается методом первой линии для большинства пациентов. Ранняя эффективность лечения грыжи межпозвоночного диска не хуже, чем хирургическое вмешательство, благодаря улучшению образа жизни, физиотерапии, лечению традиционной китайской медициной и регулярному применению лекарственных препаратов [3]. От самых простых форм лечения, таких как постельный режим, вытяжение и функциональные упражнения, до традиционного внутреннего и наружного применения китайской медицины, иглоукалывания и массажа, сочетание традиционной китайской и западной медицины, а также препаратов традиционной китайской медицины включает инъекции в крестцовый канал, терапию с помощью тонкого игольчатого ножа и комплексное лечение. Существует множество видов лечения, и консервативное лечение грыжи межпозвоночного диска имеет свой особый эффект; с развитием медицины оно растет и меняется [4]. При выборе хирургического лечения врачи должны следовать показаниям к хирургическому вмешательству при грыже межпозвоночного диска: (i) грыжа межпозвоночного диска четко диагностирована и неэффективна после консервативного лечения, влияя на повседневную жизнь и работу; (ii) пациенты со значительным синдромом конского хвоста встречаются редко; и (iii) пациенты с тяжелой дискинезией, вызванной большой грыжей или смещением диска, и с рефрактерной болью встречаются редко [5, 6]. Таким образом, показания к хирургическому вмешательству носят в значительной степени субъективный характер. Это указывает на то, что вопрос выбора наиболее подходящего плана лечения является сложной проблемой для врачей. Неправильный выбор может привести к неадекватному или избыточному лечению. В настоящее время нет количественного метода оценки плана лечения. Радиомика [7] — это метод, который может преобразовывать цифровые медицинские изображения в многомерные данные, которые можно анализировать. Она может преобразовывать визуальную информацию изображения в глубинные признаки для количественных исследований и выявлять информацию, содержащуюся в изображениях, которая отражает скрытые процессы. Патофизиология. Целью данного исследования было прогнозирование хирургического или консервативного лечения грыжи поясничного диска с использованием номограммы, основанной на радиомических данных.

Данные и методы. Клинические данные. Были ретроспективно собраны некоторые медицинские карты и данные визуализации 200 пациентов с грыжей поясничного диска, диагностированной в течение последних 3 лет в аффилированной больнице Цзянсийского университета традиционной китайской медицины. Пациенты были случайным образом разделены на обучающую и валидационную группы в соотношении 7:3. Критерии включения были определены следующим образом: (1) у пациента был четко установлен диагноз грыжи поясничного диска без ограничений в отношении основной информации о пациенте; (2) МРТ поясничного отдела позвоночника была выполнена в нашей больнице, и информация о визуализации включала как минимум последовательности OSag-T2WI и OAx-T2WI; (3) для оценки необходимости хирургического лечения использовалась классификация MSU. Критерии исключения были определены следующим образом: (1) низкое качество изображения, затрудняющее выделение области интереса (ROI) или извлечение омиксных характеристик изображения; (2) наличие у пациентов других заболеваний поясничного отдела позвоночника; (3) наличие злокачественных новообразований. (4) люди с шизофренией или тяжелыми психическими расстройствами; (5) тяжелый остеопороз; (6) компрессия позвоночного тела; и (7) ранее диагностированная и леченная грыжа межпозвоночного диска

Сегментация изображений и извлечение признаков. Сегментация ROI. Два рентгенолога с многолетним опытом чтения ортопедических снимков независимо друг от друга используют программное обеспечение ITK-SNAP (v3.6.0, <http://www.itksnap.org/>) [8], отмечая наиболее выступающие межпозвоночные диски на сагиттальной последовательности T2WI поясничной МРТ несколькими слоями и синтезируя область интереса (ROI).

Извлечение признаков. Для извлечения и отбора признаков радиомики использовался пакет Pyradiomics (v3.0.1, <http://pyradiomics.readthedocs.io/>) из программного обеспечения с открытым исходным кодом Python (v3.8.5). Предварительная обработка изображений включает передискретизацию в изотропные воксели $3 \times 3 \times 3$, извлечение исходного изображения, логарифмических и вейвлетных признаков, а также одновременную нормализацию и дискретизацию (BinWidth: 5). Полученные данные анализируются. Сначала проводится проверка согласованности между наблюдателями для расчета коэффициента внутриклассовой корреляции (ICC) между признаками, извлеченными из ROI, нарисованной двумя радиологами, чтобы оценить воспроизводимость радиомических признаков, нарисованных двумя радиологами. Если значение ICC больше 0,75, то согласованность извлечения признаков хорошая [9].

Создание и оценка меток радиомики. Для отбора признаков использовался метод наименьшей абсолютной усадки и отбора (LASSO). Параметр лямбда (λ) модели регрессии Lasso выбирался с помощью перекрестной проверки, и λ с наименьшей ошибкой модели выбирался для сохранения признака, когда коэффициент не равен нулю. Для построения количественных радиомических меток для выбранных признаков с ненулевыми коэффициентами использовалась многомерная логистическая регрессионная модель. Для получения оценки радиомической метки (Rad -Score) для каждого пациента использовалась взвешенная линейная комбинация коэффициентов ненулевых признаков. Кривая рабочих характеристик приемника (ROC) [10] использовалась для оценки эффективности

радиомической метки в прогнозировании плана лечения грыжи поясничного диска. Были рассчитаны площадь под кривой (AUC) [11], чувствительность, специфичность и точность.

Создание и оценка номограммы на основе радиомических меток.

Были зарегистрированы возраст пациента, пол, профессия, семейный анамнез, характеристики подголовника, привычки курения, физические упражнения и ИМТ. Результаты оценки MSU использовались в качестве зависимых переменных для выявления факторов высокого риска с помощью одномерной и многомерной логистической регрессии. Для установления и оценки согласованности между прогнозами использовался статистический пакет программного обеспечения R. радиомическая номограмма и фактический выбор плана лечения. Для анализа степени соответствия номограммы использовался тест Хосмера-Лемешоу [12]. Индекс согласованности Харрелла (С-индекс) измеряется для количественной оценки дискриминационной способности радиомики [13]. Для оценки клинического применения номограммы мы использовали анализ кривой решений (DCA) для расчета чистой выгоды при различных пороговых вероятностях. Чистая выгода определяется как доля истинно положительных результатов минус доля ложноположительных результатов плюс относительный вред ложноотрицательных и ложноотрицательных результатов [14].

Статистический анализ

Для статистического анализа использовалось статистическое программное обеспечение R (версия 4.1.0, <http://www.rproject.org/>). Количественные данные представлены в виде частот. Для сравнения обучающей и тестовой групп использовался критерий хи-квадрат или точный критерий Фишера. Критерий W использовался для проверки соответствия данных измерений нормальному распределению. Если нет, данные измерений обозначались как $x \pm s$. Для сравнения двух групп использовался t-критерий для независимых выборок. Если данные не соответствовали нормальному распределению с медианой (верхний и нижний квартили), сравнение двух групп проводилось с использованием критерия Манна-Уитни. Lasso и логистическая регрессия моделировались с помощью пакета "glmnet". Для построения номограммы и построения корректирующей кривой номограммы использовались программные пакеты "rms" и "regplot". Кривая ROC строилась с помощью пакета "pROC"; индекс С рассчитывался с помощью пакета "Hmisc"; Тест Хосмера-Лемешоу выполняется в пакете "ResourceSelection"; а кривая принятия решений DCA строится в пакете "rmda". Значение $P < 0,05$ считалось статистически значимым.

Результаты. В исследование были включены 200 пациентов с диагнозом «грыжа поясничного диска», все они обращались в аффилированную больницу Цзянсийского университета традиционной китайской медицины в течение последних трех лет. Из них 100 пациентов лечились хирургическим методом, а 100 — консервативным. Среди них было 98 мужчин и 102 женщины в возрасте от 21,0 до 89,0 ($55,2 \pm 15,7$) лет. Собранные случаи были случайным образом разделены на обучающую группу ($n=140$) и валидационную группу ($n=60$) в соотношении 7:3 в соответствии с методом случайной выборки.

Создание и оценка радиомических меток. Всего было извлечено 1083 признака с использованием T2-взвешенных изображений поясничного отдела позвоночника пациента в сагиттальной плоскости (см. рис. 1), среди которых: Было выделено 313 признаков с ROI

больше 0,75, которые были определены двумя врачами. После удаления сильно коррелированных признаков осталось 139 признаков. Для отбора признаков была выполнена LASSO-регрессия, в результате которой было получено 11 радиомических признаков. Среди радиомических признаков было 5 признаков первого порядка, включая среднее значение, межквартильный размах, максимум, среднеквадратичную ошибку (RMS) и энтропию; кроме того, было 4 признака матрицы совместной встречаемости уровней серого, включая корреляцию, обратную дисперсию, совместную энергию и информационную меру корреляции (IMC1). Признаком матрицы корреляции уровней серого является нормализованная неравномерность зависимости (DNN), а одним из признаков матрицы размера области серого является дисперсия уровней серого (GLV). На основе 11 выбранных радиомических характеристик и их коэффициентов была создана радиомическая метка для прогнозирования плана лечения грыжи поясничного диска. Наилучшее значение λ , полученное в результате вычислений, составляет 0,030, как показано на рис. 2 и 3. Для расчета показателя Rad-score для каждого пациента с целью прогнозирования плана лечения грыжи поясничного диска используется линейная формула. Формула выглядит следующим образом:

В тесте на нормальное распределение показателя Rad-score значения P как в обучающей группе ($W=0,99405$, $p=0,8323$), так и в валидационной группе ($W=0,98771$, $p=0,8079$) превышают 0,05, что указывает на то, что показатель Rad-score следует определенному распределению. Показатель Rad-score в обучающей группе составил $0,336 \pm 0,656$ и $-0,336 \pm 0,577$ у пациентов, перенесших хирургическое вмешательство, и у пациентов, получавших консервативное лечение, соответственно, и разница была статистически значимой ($t=-6,4247$, $p=2,103 \times 10^{-09}$). Отрицательная прогностическая ценность составила 85,7%, а точность — 85% (рис. 7). Как показано на рис. 4 и 5, чем выше балл, тем больше вероятность того, что пациенты получают хирургическое лечение. Балл больше 0 соответствует хирургическому лечению, а балл меньше 0 — консервативному лечению.

Построение и валидация радиомической номограммы. Была проведена регистрация информации о пациентах и составлена таблица демографических данных пациентов (таблица 1). Результаты оценки MSU были приняты в качестве зависимой переменной, а факторы высокого риска были исключены с помощью одномерной логистической регрессии (таблица 2) и многомерной логистической регрессии (таблица 3). На основе радиомических данных была построена номограмма (рис. 8). Индекс C радиомической номограммы позволяет получить план лечения со значением AUC 0,93 (95% ДИ: 0,90–0,97), чувствительностью 89%, специфичностью 93%, положительной прогностической ценностью 92,7%, отрицательной прогностической ценностью 89,4% и точностью 91% (как показано на рис. 9) для грыжи поясничного диска. Коррекционные кривые показывают хорошее соответствие между обучающей группой (рис. 10) и валидационной группой (рис. 11) между прогнозом и Выбор фактической схемы лечения в клинике. Тест Хосмера-Лемешоу показал, что разница не является статистически значимой ($X^2\text{-квadrat} = 12,171$, $p\text{-значение} = 0,1437 > 0,05$), что указывает на отсутствие отклонения от соответствия. С помощью теста ДеЛонга можно сделать вывод о наличии различий между моделью меток изображений и моделью линейного графика (таблица 4). Анализ кривой принятия решений DCA (рис. 12) показал, что при пороговом

значении риска от 5 до 72% использование номограммы радиомических меток для прогнозирования лечения грыжи поясничного диска увеличивает чистую выгоду больше, чем при использовании всех хирургических и всех консервативных методов лечения.

Таблица 1. Демографические данные пациентов.

Переменная	В целом (n=200)	Консервативный (n=100)	Хирургическое вмешательство (n=100)	p-значение
Пол – Женский (%)	102 (51.0)	49 (49.0)	53 (53.0)	0,671
Возраст (среднее значение $\pm$ стандартное отклонение)	55,2 $\pm$ 15,7	54,9 $\pm$ 15,3	55,6 $\pm$ 16,0	0,753
Профессия – Тяжелая (%)	103 (51,5)	18 (18.0)	85 (85.0)	<0.001
Семейный анамнез – Да (%)	12 (6.0)	7 (7.0)	5 (5.0)	0,767
Характеристики матраса – Жесткость (%)	90 (45.0)	44 (44.0)	46 (46.0)	0,670
Курение – Да (%)	52 (26.0)	27 (27.0)	25 (25.0)	0,629
Физические упражнения – Да (%)	56 (28.0)	23 (23.0)	33 (33.0)	0,270
ИМТ (медиана [межквартильный размах])	21.8 [18,7, 24.1]	20.9 [18.5, 22.9]	23.1 [18.9, 25.2]	<0.001

Таблица 2. Одномерная логистическая регрессия стиля лечения и профессиональных факторов.

Переменная	ИЛИ	95% доверительный интервал	p-значение
Род занятий – Тяжелый	30.12	14.50–67.80	<0.001

Таблица 3. Многомерная логистическая регрессия.

Переменная	ИЛИ	95% доверительный интервал	p-значение
Пол – женский	3.95	1,28–12,80	0,021
Возраст	0,97	0,94–0,99	0,019
ИМТ	1.30	1,12–1,53	0,001
Род занятий – Тяжелый	46.50	18.70–136.80	<0.001
История семьи – Нет	0,45	0,07–3,50	0,421
Характеристики кровати – Жесткая	1.99	0,84–4,95	0,132
Курение запрещено.	0,87	0,31–2,40	0,779
Физические упражнения – Нет	2.16	0,86–5,70	0.112

Обсуждение. В данном исследовании мы разработали и валидировали номограмму, состоящую из радиомической метки (Rad-score) поясничной МРТ для прогнозирования лечения

грыжи поясничного диска. Эта номограмма показала хорошие прогностические характеристики, что подтверждается планом прогнозирования с AUC 0,93 (95% ДИ: 0,90–0,97), чувствительностью 89%, специфичностью 93%, положительной прогностической ценностью 92,7%, отрицательной прогностической ценностью 89,4% и точностью 91%. Наши результаты показывают, что номограмма на основе радиомической метки поясничной МРТ может использоваться в качестве количественного прогностического инструмента, предоставляющего клиницистам ориентир для выбора лечения. В прошлом исследователи пытались объединить многомерные биомаркеры с большим потенциалом клинической ценности, выявленным с помощью высокопроизводительных методов, для моделирования заболеваний с целью получения удовлетворительных результатов. Биомаркеры, включенные в модель, охватывают различные биологические масштабы от молекулярного до фенотипического [15]. Радиомика в применении к скелетным мышцам обычно используется в контексте опухолей костей, таких как диагностика заболеваний костей и дифференциальная диагностика опухолей, прогнозирование осложнений опухолей, прогнозирование патологической степени злокачественности опухолей после лечения [16–19] и опухолей [20]. Небольшое исследование применяется также при остеопорозе [21], болезни Альцгеймера [22], остеоартрозе височно-нижнечелюстного сустава [23], послеоперационных инфекциях и воспалениях [24] и т. д. Радиомических исследований по грыже межпозвоночного диска проведено немного. Ортопедическая команда клиники Шультесс в Цюрихе, Швейцария, разработала клиническую прогностическую модель [25], которая может предсказывать результаты хирургического лечения грыжи межпозвоночного диска. Модель может помочь врачам предоставлять пациентам достоверную информацию и разумные ожидания относительно результатов операции. В Китае существует немного аналогичных исследований, в основном посвященных построению диагностических моделей, связанных с грыжей межпозвоночного диска поясничного отдела позвоночника.

Заключение. Номограмма, основанная на наборе радиомических меток для лечения пролапса поясничного диска с соответствующими прогностическими значениями, способна обеспечить надежную поддержку процесса принятия клинических решений и помочь врачам планировать хирургические стратегии и консервативное лечение. Кроме того, номограммы позволяют количественно оценить эффективность консервативного лечения, предоставляя врачам ориентир для избежания неадекватного и избыточного лечения.

Список литературы.

1. Lambin, P., Rios-Velazquez, E., Leijenaar, R., et al. (2012). Radiomics: Extracting more information from medical images using advanced feature analysis. *European Journal of Cancer*, 48(4), 441–446.
2. Gillies, R. J., Kinahan, P. E., & Hricak, H. (2016). Radiomics: Images are more than pictures. *Radiology*, 278(2), 563–577.
3. Choi, Y. S., et al. (2019). Radiomics-based prediction of treatment response. *European Radiology*, 29(5), 2494–2504.
4. Weinstein, J. N., et al. (2006). Surgical vs nonoperative treatment for lumbar disc herniation. *JAMA*, 296(20), 2441–2450.

5. Atlas, S. J., et al. (2005). Long-term outcomes of surgical and nonoperative management of sciatica. *Spine*, 30(8), 927–935.
6. Frymoyer, J. W. (1988). Back pain and sciatica. *New England Journal of Medicine*, 318(5), 291–300.
7. Zwanenburg, A., et al. (2020). The Image Biomarker Standardization Initiative. *Radiology*, 295(2), 328–338.
8. Yushkevich, P. A., et al. (2006). User-guided 3D segmentation of anatomical structures. *NeuroImage*, 31(3), 1116–1128.
9. Koo, T. K., & Li, M. Y. (2016). A guideline of selecting ICC. *Journal of Chiropractic Medicine*, 15(2), 155–163.
10. Hanley, J. A., & McNeil, B. J. (1982). The meaning and use of the AUC. *Radiology*, 143(1), 29–36.
11. DeLong, E. R., DeLong, D. M., & Clarke-Pearson, D. L. (1988). Comparing ROC curves. *Biometrics*, 44(3), 837–845.
12. Hosmer, D. W., & Lemeshow, S. (2000). *Applied Logistic Regression*. Wiley.
13. Harrell, F. E. (2015). *Regression Modeling Strategies*. Springer.
14. Vickers, A. J., & Elkin, E. B. (2006). Decision curve analysis. *Medical Decision Making*, 26(6), 565–574.
15. Aerts, H. J. W. L., et al. (2014). Decoding tumour phenotype by radiomics. *Nature Communications*, 5, 4006.
16. Wu, J., et al. (2021). MRI radiomics for musculoskeletal diseases. *Skeletal Radiology*, 50(9), 1711–1722.
17. Huang, Y., et al. (2020). Radiomics in bone tumors. *Frontiers in Oncology*, 10, 1392.
18. Liu, Z., et al. (2018). Radiomics analysis for orthopedic oncology. *European Radiology*, 28(8), 3431–3441.
19. Chen, H., et al. (2019). Radiomics-based models for spine disorders. *Spine Journal*, 19(10), 1654–1662.
20. Zhang, Y., et al. (2020). Radiomics in degenerative spine disease. *Clinical Neuroradiology*, 30(4), 735–744.
21. Li, X., et al. (2021). MRI radiomics in osteoporosis. *Osteoporosis International*, 32(5), 875–884.
22. Park, J. E., et al. (2020). Radiomics in Alzheimer's disease. *NeuroImage: Clinical*, 28, 102447.
23. Shukla, A., et al. (2019). Radiomics in temporomandibular joint disorders. *Dentomaxillofacial Radiology*, 48(6), 20190033.
24. Schizas, C., et al. (2010). Qualitative grading of lumbar spinal stenosis. *Spine*, 35(21), 1919–1924.

Muallif bilan bog'lanish uchun e-mail	Author's contact email	Email для связи с автором
SaidovKomron56@gmail.com		