



<https://doi.org/10.34883/PI.2026.14.1.009>



Савич Я.А.✉, Короткевич П.Е.

Республиканский научно-практический центр онкологии и медицинской радиологии имени Н.Н. Александрова, Минск, Беларусь

Особенности рентгенологической картины аденокарциномы легкого и ее роль в принятии клинических решений. Литературный обзор

Конфликт интересов: не заявлен.

Вклад авторов: Савич Я.А. – концепция и дизайн работы, сбор данных, анализ и интерпретация данных, составление статьи, итоговая переработка статьи; Короткевич П.Е. – концепция и дизайн работы, итоговая переработка статьи, окончательное утверждение версии для публикации.

Подана: 09.10.2025

Принята: 18.01.2026

Контакты: janek.savich@gmail.com

Резюме

В последние десятилетия благодаря широкому внедрению тонкосрезовой компьютерной томографии существенно возросло количество выявляемых образований в легких, в том числе по типу матового стекла. Эти очаги приобрели большое значение в диагностике и прогнозировании течения наиболее распространенного подтипа немелкоклеточного рака легкого – аденокарциномы. Особое внимание уделяется индексу консолидации к размеру опухоли, отражающему соотношение солидного компонента к общему размеру опухоли. Показано, что индекс консолидации к размеру опухоли является надежным прогностическим маркером инвазивности аденокарциномы и онкологического прогноза, превосходящим простую оценку диаметра новообразования. Анализ ключевых клинических исследований продемонстрировал значимость индекса консолидации к размеру опухоли в выборе объема хирургического вмешательства.

В статье рассматриваются современные международные рекомендации по ведению впервые выявленных образований в легких, а также обсуждаются перспективы применения радиомики и искусственного интеллекта для повышения точности диагностики и онкологического прогноза.

Таким образом, рентгенологические характеристики опухоли, прежде всего наличие компонента матового стекла и индекс консолидации к размеру опухоли, становятся важнейшими инструментами персонализированного лечения и позволяют оптимизировать баланс между онкологической радикальностью и сохранением качества жизни пациентов.

Ключевые слова: аденокарцинома легкого, компьютерная томография, радиомика, искусственный интеллект, прогноз

Savich Y.✉, Korotkevich P.

N.N. Alexandrov National Cancer Centre of Belarus, Minsk, Belarus

The Characteristics of the Radiological Image of Adenocarcinoma of the Lung and their Significance in Clinical Decision-Making: a Review of the Literature

Conflict of interest: nothing to declare.

Authors' contribution: Savich Y. – concept and design of the work, data collection, data analysis and interpretation, drafting the article, final revision of the article; Korotkevich P. – concept and design of the work, final revision of the article, final approval of the version for publication.

Submitted: 09.10.2025

Accepted: 18.01.2026

Contacts: janek.savich@gmail.com

Abstract

In recent decades, the widespread introduction of thin-section computed tomography has led to a significant increase in the detection of pulmonary lesions, including ground-glass opacities. These findings have acquired particular importance in the diagnosis and prognostic assessment of the most common subtype of non-small cell lung cancer – adenocarcinoma. Special attention is given to the consolidation-to-tumor ratio, which reflects the proportion of the solid component relative to the total tumor size. Consolidation-to-tumor ratio has been shown to be a reliable prognostic marker of tumor invasiveness and oncological outcomes, surpassing simple measurement of lesion diameter. Analysis of key clinical trials has demonstrated the relevance of consolidation-to-tumor ratio in determining the extent of surgical resection.

This article reviews contemporary international guidelines on the management of newly detected pulmonary nodules, as well as discusses the prospects of applying radiomics and artificial intelligence to improve diagnostic accuracy and prognostic stratification.

Thus, radiological characteristics of the tumor – primarily the presence of a ground-glass component and the consolidation-to-tumor ratio – are becoming essential tools for personalized treatment planning, allowing optimization of the balance between oncological radicality and preservation of patients' quality of life.

Keywords: lung adenocarcinoma, computed tomography, radiomics, artificial intelligence, prognosis

■ ВВЕДЕНИЕ

Рак легкого остается одной из наиболее актуальных медицинских проблем современности, занимая лидирующее место в структуре онкологической смертности во всем мире. По данным GLOBOCAN, ежегодно регистрируется свыше двух миллионов новых случаев рака легкого, а смертность превышает показатели любых других злокачественных опухолей [1]. Немелкоклеточный рак легкого (НМРЛ) составляет около 80% от всех случаев, среди которых наибольшую долю занимает аденокарцинома легкого, демонстрирующая рост заболеваемости в последние десятилетия [2].



Одной из ведущих причин изменения структуры НМРЛ является широкое внедрение и совершенствование методов рентгенологической диагностики.

Исторически попытки организованного скрининга рака легкого начинались с рентгенографии грудной клетки и цитологического исследования мокроты, однако эти подходы не продемонстрировали значимого снижения смертности. Прорывом стало проведение крупных рандомизированных исследований с использованием низкодозовой компьютерной томографии (НДКТ).

Результаты национального исследования по скринингу рака легкого (NLST) в США показали снижение смертности на 20% при применении НДКТ у групп высокого риска, а европейское исследование NELSON подтвердило эффективность скрининга в аналогичных когортах [3, 4]. На основании этих данных во многих странах внедрены национальные программы раннего выявления рака легкого с использованием НДКТ.

Появление тонкосрезовой компьютерной томографии (КТ) позволило существенно улучшить чувствительность метода и привело к значительному росту числа выявляемых мелких очаговых образований, включая так называемые образования по типу матового стекла (ground-glass opacity, GGO). Эти находки имели большое клиническое значение, так как именно с ними часто ассоциированы преинвазивные и минимально инвазивные формы аденокарциномы легкого. В связи с этим возникла необходимость в разработке новых диагностических критериев и прогностических индикаторов, наиболее важным из которых стал индекс соотношения консолидации к общему размеру опухоли.

Наряду с классическими рентгенологическими признаками, в последние годы активно развиваются методы количественного анализа изображений – радиомика, позволяющая извлекать скрытые характеристики опухоли и строить предиктивные модели ее биологического поведения. Все это формирует основу для современного персонализированного подхода к ведению пациентов со впервые выявленными образованиями в легких.

■ ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЕДЕНИЮ ВПЕРВЫЕ ВЫЯВЛЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ В ЛЕГКИХ

Случайно выявленные образования в легких встречаются часто в практической рентгенодиагностике, что связано с широким применением КТ. Хотя большинство таких образований доброкачественные, небольшой их процент оказывается злокачественным, что подчеркивает важность их своевременного выявления. В последние годы международные рекомендации, в частности Fleischner Society 2017, смещают акцент в сторону сокращения избыточных обследований при учете индивидуальных факторов риска пациента [5].

Ряд современных метаанализов указывает, что примерно у четверти пациентов, прошедших скрининговую или диагностическую КТ, обнаруживаются образования в легких. Так, по данным метаанализа Chen D. и соавт., общая распространенность впервые выявленных образований на КТ составляет около 27–30%. При этом частота их выявления значительно колеблется – от нескольких процентов при строгих критериях до 50–80% в скрининговых когортах [6].

Большинство обнаруженных на КТ образований до 1 см оказываются доброкачественными [7]. Тем не менее выявление рака легкого на доклинической стадии – это шанс на значительное улучшение онкологического прогноза. В клинической

практике важно уметь отличать образования легкого с высоким и низким риском злокачественности. Раннее выявление злокачественного новообразования позволяет применить более щадящие методы лечения и повысить выживаемость.

Для стратификации риска малигнизации образований легкого учитываются клинические факторы и рентгенологические признаки. Ключевые клинические факторы – это возраст пациента (риск удваивается примерно каждые 10 лет) и статус курильщика (текущие или бывшие курильщики имеют примерно в 8 раз выше вероятность выявления рака по сравнению с некурящими) [7, 8]. Также играет роль семейный анамнез рака легкого, фоновые заболевания (хроническая обструктивная болезнь легких, идиопатический легочный фиброз, эмфизема и др.), онкологический анамнез.

Основным радиологическим предиктором злокачественности является размер. Средний риск обнаружения рака в солидных образованиях размером менее 6 мм у пациентов с высоким риском составляет менее 1%, а для узелков размером 6–8 мм риск злокачественности оценивается приблизительно в 0,5–2,0% [9]. Риск обнаружения рака увеличивается при образованиях легкого размером более 8 мм. В исследовании NELSON вероятность обнаружения рака легкого была высокой у участников с объемом образования 300 мм³ (16,9%) и более или диаметром 10 мм и более (15,2%) [4].

Другими радиологическими особенностями злокачественных новообразований легкого являются наличие спикул, втяжение плевры, рост образования (время удвоения объема <400 дней) и расположение в верхней доле легкого [10].

Международные руководства предлагают алгоритмы динамического наблюдения, основанные на размерах, плотности образования и общем риске пациента. Fleischner Society 2017 – эталон для случайно выявленных узлов у пациентов без известного рака и не в рамках скрининга [5]. Для образований, выявленных при скрининге, в руководстве LUNG-RADS используется стандартизированная система категорий от 0 до 4, которая определяет вероятность злокачественности образования легкого и тактику последующих действий [11]. Рекомендации NCCN содержат раздел по пациентам с клиническим подозрением на рак легкого, включая алгоритмы по узлам, схожие с LUNG-RADS: расписаны пороги по размеру и интервалы наблюдения в зависимости от внешнего вида узла и анамнеза пациента [12]. ACCP/CHEST Guidelines 2013 рекомендовали использовать калькулятор Майо (Mayo Clinic model) для стратификации вероятности рака в образовании и придерживаться тактики в зависимости от уровня риска: низкий риск (<5%) – наблюдение, промежуточный (5–65%) – последовательная КТ, высокий (>65%) – биопсия/хирургия [13]. В свою очередь British Thoracic Society рекомендуют рассчитывать вероятность злокачественности образования по модели Brock для КТ и Herder для ПЭТ-КТ [14].

Таким образом, ключевой принцип – интеграция радиологических данных с клинической картиной, возрастом пациента, историей курения, наличием онкологических заболеваний в анамнезе. Окончательное решение всегда должно приниматься мультидисциплинарной командой. Данные рекомендации являются моделью для минимизации необоснованных вмешательств при своевременной диагностике клинически значимых образований.

Перспективы развития искусственного интеллекта и радиомики обещают нам нейросетевые и радиомические алгоритмы, способные автоматически обнаруживать



узлы и оценивать риск рака легкого по данным КТ. Продолжаются разработки биомаркеров в крови (цодНК, микроРНК и др.) для дифференциальной диагностики природы образований легкого. Эти инновации могут персонализировать решения, уменьшить число ложноположительных результатов и улучшить раннюю диагностику рака легкого.

■ ИНДЕКС КОНСОЛИДАЦИИ К РАЗМЕРУ ОПУХОЛИ

С развитием современных методов визуализации и расширением доступности КТ повысилась частота выявления поражений легкого на ранних стадиях. Между тем соотношение различных патологических подтипов рака легкого существенно изменилось, и аденокарцинома в настоящее время составляет значительную долю среди НМРЛ [2]. С ростом заболеваемости аденокарциномой легкого в последние годы был описан и получил широкое внедрение новый термин – ground-glass opacity (GGO), или образования по типу матового стекла. Образования по типу матового стекла – это описательный термин для обозначения неспецифической рентгенологической картины, которая характеризуется повышением плотности легочной ткани без вовлечения легочных сосудов или бронхиальных структур, в то время как в солидных образованиях эти структуры уже не идентифицируются. На основании рентгенологических данных, полученных при помощи КТ, поражения легкого разделяются на образования по типу матового стекла, частично солидные и солидные (рис. 1–3).

Исходя из вышеуказанного, при описании рентгенологической картины используется индекс соотношения размера солидного компонента к общему размеру образования (consolidation to tumor ratio (индекс CTR)) [15].

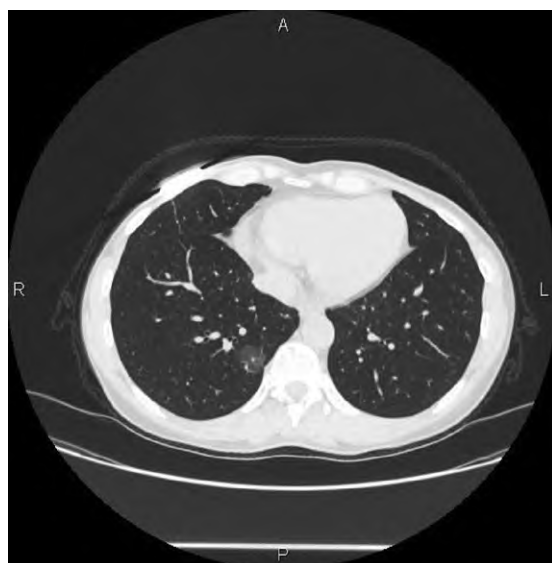


Рис. 1. Образование по типу матового стекла легкого
Fig. 1. Ground-glass opacity of lung

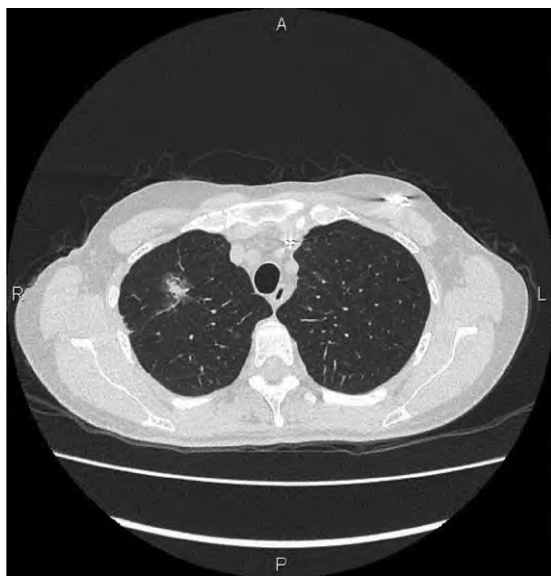


Рис. 2. Частично солидное образование легкого
Fig. 2. Part-solid nodule of lung

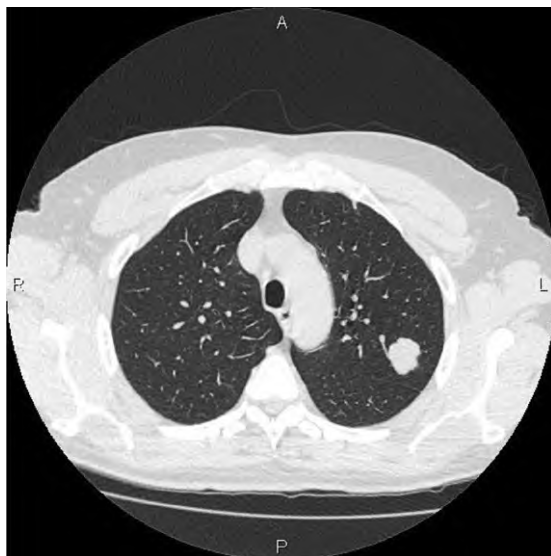


Рис. 3. Солидное образование легкого
Fig. 3. Solid nodule of lung

Индекс CTR – это количественный визуальный параметр, определяемый как отношение диаметра солидного компонента к диаметру опухоли на КТ. Схема расчета индекса CTR представлена на рис. 4.

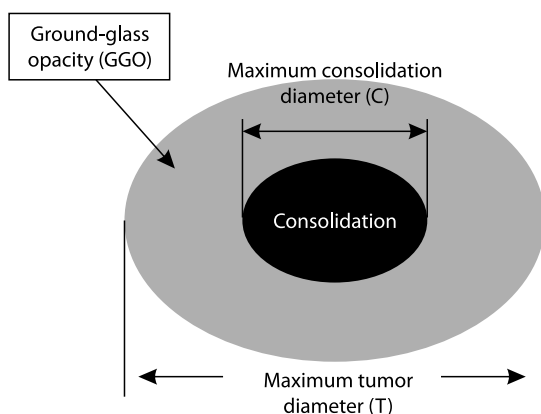


Рис. 4. Схема расчета индекса соотношения диаметраolidного компонента к диаметру опухоли
Fig. 4. The scheme of consolidation to tumor ratio

Несмотря на простоту, индекс CTR доказал высокую прогностическую значимость, превосходящую традиционную оценку по размеру опухоли, и стал краеугольным камнем в стратификации риска и принятии клинических решений для пациентов с ранней аденокарциномой легкого.

Индекс CTR определяется как количественная шкала от 0 до 1,0. Стандартизированное измерение проводится на аксиальных срезах КТ в легочном окне. Сolidным компонентом считается часть образования, полностью скрывающая легочные структуры с индексом затухания больше –300 единиц Хаунсфилда [15].

Согласно исследованиям, наличие образований по типу матового стекла в аденокарциноме легкого обычно указывает на вялотекущую природу поражений, а также на связь с преинвазивными формами рака легкого [16–19]. Другими словами, процент solidного компонента отражает степень злокачественности аденокарциномы легкого. По сравнению с образованиями по типу матового стекла и субsolidными очагами, аденокарцинома легкого, представляющая собой solidное поражение, как правило, связана с более агрессивным течением и худшим прогнозом [20–23]. Поэтому наличие или отсутствие матового стекла, а также индекс CTR следует учитывать при диагностике и определении тактики лечения.

В японском проспективном многоцентровом исследовании JCOG 0201 было впервые научно обосновано использование индекса CTR для неинвазивной дифференциальной диагностики минимально инвазивных и инвазивных форм рака легкого. Исследование проводилось в 37 учреждениях, были включены 811 пациентов с периферическим раком легкого стадии IA (размер ≤ 3 см). Всем пациентам была выполнена лобэктомия с систематической лимфодиссекцией.

Анализ показал, что размер опухоли ≤ 2 см с индексом CTR $\leq 0,25$ является высокоспецифичным предиктором неинвазивной аденокарциномы. Пятилетняя безрецидивная выживаемость в этой группе пациентов составила 99,7%. Ни у одного пациента, соответствующего этому критерию, не были обнаружены метастазы в лимфоузлах. Результаты исследования стали прямым обоснованием для изменения

парадигмы лечения раннего рака легкого и легли в основу последующих исследований JCOG0804, JCOG1211, JCOG0802 [24–27].

В метаанализе Pan X.L. и соавт., опубликованном в 2021 году, включавшем 4467 пациентов, изучалась прогностическая роль компонента по типу матового стекла на КТ с I стадией аденокарциномы легкого после радикальной операции. Результаты показали, что наличие матового стекла на КТ ассоциировано с лучшими показателями общей (HR=0,44; 95% CI 0,34–0,59; $p<0,001$) и безрецидивной выживаемости (HR=0,35; 95% CI 0,18–0,70; $p=0,003$). Анализ подгрупп, основанный на соотношении индекса CTR, показал, что наличие матового компонента было независимым предиктором общей выживаемости. У пациентов с более высоким соотношением индекса CTR общая выживаемость была лучше, чем у пациентов с более низким соотношением. Подгрупповой анализ показал, что чем больше процент матового компонента в образовании, тем лучше прогноз. При этом оптимальный пороговый уровень (например, 50% или 80%) остается предметом дискуссий [28].

Sun K. и соавт. оценили прогностическое влияние CTR на общую и безрецидивную пятилетнюю выживаемость пациентов с IA1 стадией. В ретроспективное исследование были включены 257 пациентов. Общая и безрецидивная пятилетняя выживаемость отличалась среди групп с образованиями по типу матового стекла, частично солидными и солидными образованиями и составили 100%/100%, 95,4%/98,9%, 76,6%/87,5% соответственно ($p<0,0001$). На основании полученных результатов авторы сделали вывод, что индекс CTR является независимым прогностическим фактором общей и безрецидивной выживаемости при IA1 стадии аденокарциномы легкого [29].

Процент солидного компонента также имеет прогностическое значение. Показано, что показатели выживаемости при индексе CTR $<0,5$ достоверно выше, чем при индексе CTR $>0,5$ [30, 31]. Отмечено, что в группе пациентов даже с незначительной долей компонента по типу матового стекла (CTR $>0,9$) общая и безрецидивная пятилетняя выживаемость выше по сравнению с группой с чисто солидными образованиями (83,4% против 55,0%, $p<0,001$; 92,4% против 76,4%, $p=0,004$ соответственно) [32].

В исследовании Weiwei Jing и соавт. установлено, что CTR $>0,750$ является независимым фактором неблагоприятного прогноза у пациентов с аденокарциномой легкого IA стадии. Пятилетняя безрецидивная и общая выживаемость у пациентов с индексом CTR $>0,750$ была хуже, чем у пациентов с индексом CTR $\leq 0,750$ ($p<0,001$ и $p<0,001$ соответственно), но лучше, чем у пациентов с индексом CTR =1 ($p=0,002$ и $p=0,03$ соответственно). Для пациентов с индексом CTR $\leq 0,750$ сублобарные резекции обеспечивали сопоставимые с лобэктомией прогнозы, независимо от диаметра опухоли. Однако при опухолях ≤ 2 см и CTR $>0,750$ лобэктомия превосходила сублобарное вмешательство по показателям выживаемости [33].

Zhihua Li и соавт. изучили прогностическое влияние индекса CTR и размера опухоли на течение НМРЛ. Были проанализированы результаты хирургического лечения 1366 пациентов с НМРЛ легкого 1-й стадии. Были отобраны 416, 510 и 440 пациентов с образованиями по типу матового стекла, частично солидными и солидными соответственно. Пятилетняя общая и безрецидивная выживаемость составила 99,5% и 99,5%, 97,3% и 95,8%, 90,4% и 78,9% соответственно [34].



CTR доказал свое значение как простого и надежного инструмента для прогнозирования биологического поведения аденокарциомы легкого. Он напрямую связан с инвазивным потенциалом опухоли и является краеугольным камнем для стратификации пациентов и выбора органосохраняющих методов лечения, что позволяет персонализировать терапию на самом раннем этапе.

■ РОЛЬ CTR В ПРИНЯТИИ КЛИНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Лобэктомия является «золотым стандартом» хирургического лечения рака легкого на ранней стадии с 1960 года [35]. В 1982 году Североамериканская группа по изучению рака легкого инициировала проспективное рандомизированное исследование, сравнивающее лобэктомию с сублобарной резекцией у пациентов с периферическим НМРЛ I стадии. 276 пациентов в период с 1982 по 1988 год с клиническими периферическими опухолями T1N0 размером ≤ 3 см на рентгенограммах грудной клетки были случайным образом распределены в 2 группы (1-я – лобэктомия, $n=125$, 2-я – атипичная резекция, $n=40$, или сегментэктомия, $n=82$). После периода наблюдения в 4,5 года были проанализированы данные 247 пациентов. Выводами данного исследования стали более высокие показатели смертности и трехкратный риск локальных рецидивов в группе с сублобарной резекцией по сравнению с группой со стандартной лобэктомией. С тех пор при функциональной переносимости лобэктомия стала стандартом лечения пациентов с клинической I стадией НМРЛ [36].

С появлением КТ-скрининга, а также внедрением тонкосрезовой КТ повысилась частота выявления небольших опухолей легкого и образований по типу матового стекла. Следовательно, вопрос о практических показаниях к сублобарным резекциям при раке легкого на ранней стадии снова стал актуальным.

Благодаря значительному прогрессу в технологии визуализации в 2007 году Cancer and Leukemia Group B (CALGB), а позднее и Японская клиническая онкологическая группа (JCOG) инициировали крупные рандомизированные исследования, сравнивающие лобэктомию с сублобарными резекциями у пациентов с клинической IA стадией.

В исследовании CALGB140503 с 2007 по 2017 год 697 пациентам с периферическим НМРЛ ≤ 2 см (исключая образования по типу матового стекла) была выполнена сублобарная резекция (атипичная резекция, $n=129$, сегментэктомия, $n=201$) или лобэктомия ($n=357$). После медианы наблюдения в 7 лет сублобарная резекция оказалась не менее эффективной, чем лобэктомия, по показателям безрецидивной выживаемости (63,6% после сублобарной резекции и 64,1% после лобэктомии). Кроме того, общая выживаемость после сублобарной резекции была аналогична таковой после лобэктомии (80,3% после сублобарной резекции и 78,9% после лобэктомии). Существенной разницы между 2 группами по частоте локорегионарного или отдаленного рецидива не наблюдалось. Таким образом, у пациентов с периферическим НМРЛ с размером опухоли не более 2 см и патогистологически подтвержденным отсутствием поражения лимфатических узлов легкого и средостения сублобарная резекция не уступала лобэктомии по показателям выживаемости [37].

В многоцентровом рандомизированном контролируемом исследовании III фазы JCOG0802/WJOG4607L пациенты с клинической IA стадией НМРЛ (диаметр опухоли ≤ 2 см; индекс CTR $>0,5$) были случайным образом распределены в соотношении 1:1

для выполнения либо лобэктомии, либо сегментэктомии. Были включены 1106 пациентов для выполнения лобэктомии ($n=554$) или сегментэктомии ($n=552$). При медиане наблюдения 7,3 года пятилетняя общая выживаемость составила 94,3% для групп сегментэктомий и 91,1% для лобэктомий. Достоверных межгрупповых различий в пятилетней безрецидивной выживаемости получено не было. Однако частота локальных рецидивов оказалась выше в группе сегментэктомий – 10,5% против 5,4% для группы лобэктомий ($p=0,0018$). Риск местного рецидива в группе сегментэктомий был связан с уменьшением рекомендуемого отступа, что может быть обусловлено анатомо-техническими особенностями сегментэктомии (край резекции легочной паренхимы $\geq$ максимального диаметра опухоли или ≥ 2 см) [27].

JCOG0802/WJOG4607L стало первым рандомизированным исследованием, демонстрирующим преимущество сегментэктомии над лобэктомией с 1995 года по общей выживаемости пациентов с периферическим НМРЛ.

В 2024 году был проведен post-hoc анализ исследования JCOG0802/WJOG4607L, в котором анализировалась эффективность сегментэктомии в сравнении с лобэктомией при периферическом НМРЛ небольшого размера с солидными опухолями. Из 1106 пациентов 553 (50%) имели рентгенологически солидный НМРЛ и соответствовали критериям для данного дополнительного анализа. Из этих 553 пациентов 274 (50%) перенесли лобэктомию, а 279 (50%) – сегментэктомию. Пятилетняя общая выживаемость была значительно выше после сегментэктомии (92,4%), чем после лобэктомии (86,1%), тогда как пятилетняя безрецидивная выживаемость была практически сопоставимой в 2 группах (81,7% против 82,0% после сегментэктомий и лобэктомий соответственно). Локорегиональный рецидив был выше после сегментэктомии – 45 (16%) против 21 (8%), $p=0,0021$. При анализе подгрупп лучшая общая пятилетняя выживаемость после сегментэктомии, чем после лобэктомии, наблюдалась в подгруппе пациентов в возрасте 70 лет и старше (77,1% в группе с лобэктомией против 85,6% с сегментэктомией; $p=0,013$) и у пациентов мужского пола (80,5% против 92,1%; $p=0,0085$). Напротив, лучшая пятилетняя безрецидивная выживаемость после лобэктомии, чем после сегментэктомии, наблюдалась в подгруппе моложе 70 лет (87,4% с лобэктомией против 84,4% с сегментэктомией; $p=0,049$) и у пациентов женского пола (94,2% против 82,2%; $p=0,047$) [38].

Данный ретроспективный анализ показал улучшение общей выживаемости после сегментэктомии у пациентов с чисто солидным НМРЛ по сравнению с лобэктомией. Однако результаты выживаемости после сегментэктомии зависят от возраста и пола пациента. С учетом результатов данного анализа необходимы дальнейшие исследования для определения клинически значимых показаний к сегментэктомии при рентгенологически солидном НМРЛ.

В 2023 году было опубликовано исследование III фазы JCOG1211, целью которого была оценка эффективности и безопасности сегментэктомии при НМРЛ с размерами опухоли до 3 см и индексом CTR $\leq 0,5$. В анализ были включены 357 пациентов, которым была выполнена сегментэктомия. При медиане наблюдения 5,4 года пятилетняя безрецидивная выживаемость составила 98,0% [26].

В многоцентровом нерандомизированном исследовании III фазы JCOG0804/WJOG4507L оценивалась эффективность атипичной резекции при периферическом раннем раке легкого размером ≤ 2 см с индексом CTR $\leq 0,25$. В исследовании приняли участие 330 пациентов, у которых опухоль располагалась в наружной трети легкого.



Широкая атипичная резекция была выполнена у 264 пациентов (79,3%), конверсия в сегментэктомию – у 5 пациентов (1,5%). Сегментэктомия выполнена у 53 пациентов (15,9%). Таким образом, сублобарная резекция была выполнена в 322 случаях (96,7%) из 330. Пятилетняя безрецидивная выживаемость составила 99,7% [25].

Результаты анализа 3 ключевых исследований Японской группы по изучению рака легкого: JCOG0802/WJOG4607L, JCOG1211 и JCOG0804/WJOG4507L – позволяют сделать фундаментальные выводы, которые способны изменить парадигму хирургического лечения раннего НМРЛ. Эти исследования доказали, что у подавляющего большинства пациентов с ранним НМРЛ сублобарные резекции, а именно сегментэктомия и атипичная резекция легкого, не просто не уступают, но в некоторых случаях превосходят лобэктомию по онкологическим результатам. Ключевым параметром для принятия решения стала степень инвазивности, определяемая по индексу CTR. Для опухолей с индексом CTR >0,5 и размером ≤2 см сегментэктомия показала статистически значимое превосходство в общей выживаемости (94,3% против 91,1%) по сравнению с лобэктимией, несмотря на более высокий уровень локальных рецидивов. Для образований с индексом CTR ≤0,5 и размером до 3 см сегментэктомия является высокоэффективным и безопасным объемом хирургического вмешательства. Пятилетняя безрецидивная выживаемость составила 98,0%, а общая выживаемость – 99,0%. Локальные рецидивы были казуистически редки (всего 1 случай). Для опухолей с индексом CTR ≤0,25 и размером ≤2 см атипичная резекция легкого является достаточным и оптимальным методом лечения. Результаты показали феноменальную пятилетнюю безрецидивную выживаемость на уровне 99,7%. Для этой группы пациентов любая более объемная операция считается избыточной. В представленной таблице сформирован четкий и научно обоснованный алгоритм выбора объема операции.

Во всех 3 исследованиях показатели общей выживаемости превысили 90%. Это доказывает, что при правильном отборе пациентов на основе данных КТ сублобарные резекции обеспечивают радикальное лечение. В то время как разница в сохранении функции дыхания (ОФВ1) оказалась статистически значимой, но клинически умеренной (3–4%), ключевым преимуществом стало сокращение смертности от других причин (метахронные онкологические, сердечно-сосудистые и респираторные заболевания) в группе сегментэктомии в исследовании JCOG0802 [27].

Трилогия исследований JCOG, а также CALGB140503 совершили революцию в торакальной хирургии. Они сместили фокус с максимально возможной резекции на минимально достаточную, но онкологически радикальную. Подход «чем больше, тем лучше» окончательно уступил место принципу прецизионной хирургии – точному соответствию объема резекции биологическим характеристикам конкретной опухоли. Это позволило не только улучшить непосредственные послеоперационные

Алгоритм выбора объема хирургического вмешательства Algorithm for determining the volume of surgical intervention

Размер опухоли	Индекс CTR	Рекомендуемая операция	Исследование
≤2,0 см	≤0,25	Атипичная резекция	JCOG0804/WJOG4507L
≤2,0 см	>0,5	Сегментэктомия	JCOG0802/WJOG4607L
2,1–3,0 см	≤0,5	Сегментэктомия	JCOG1211

результаты и качество жизни пациентов, но и, что крайне важно, увеличить их общую выживаемость.

■ РАДИОМИКА КАК НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА ТОМОГРАФИЮ

Опухоли человека демонстрируют значительные фенотипические различия, которые можно визуализировать с помощью неинвазивных методов диагностики, а именно томографии.

Пространственная и временная гетерогенность солидных опухолей создает значительное препятствие для традиционной биопсии, анализ которой зачастую не отражает полной картины заболевания. В этом контексте методы медицинской визуализации приобретают ключевое значение, поскольку позволяют неинвазивно характеризовать морфофункциональную неоднородность новообразования. Благодаря развитию методов медицинской визуализации, новых контрастных препаратов и стандартизации протоколов исследования, томография трансформируется в точную дисциплину. Данный прогресс, в свою очередь, стимулирует разработку автоматизированных и воспроизводимых алгоритмов анализа для декодирования заложенной в изображениях информации. Решением этой задачи занимается радиомика.

Радиомика – это метод количественного анализа медицинских изображений, который заключается в автоматизированном извлечении большого числа признаков из стандартных изображений, таких как КТ, магнитно-резонансная томография (МРТ) или позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ), с последующей их интеграцией в клинично-биологические модели для улучшения диагностики, прогнозирования исхода и персонализации лечения [39, 40].

Ключевая концепция радиомики основана на гипотезе о том, что медицинские изображения содержат скрытую информацию, невидимую невооруженным глазом, которая отражает гетерогенность опухоли, патологические и молекулярные характеристики новообразования. Таким образом, радиомика позволяет преобразовать изображения в данные для анализа и раскрыть их диагностический и прогностический потенциал [39–41].

Несмотря на огромный потенциал в персонализации онкологической помощи, радиомические подходы требуют дальнейшей масштабной валидации в рамках многоцентровых исследований и проверки *in vitro*.

Фундаментальным трудом в области радиомики является работа Gillies R.J. и соавт., результаты которой опубликованы в журнале *Radiology* в 2016 году. Авторы представляют радиомику как новую парадигму в анализе томографии и утверждают, что медицинские изображения являются комплексными и количественными данными, извлечение которых позволяет получить скрытую диагностическую и прогностическую информацию. Статья является исследованием, провозглашающим переход от субъективного описания изображений к объективному измерению и анализу данных. Авторы систематизируют и популяризуют термин «радиомика», определяя его как процесс извлечения большого количества количественных признаков из медицинских изображений с последующей их интеграцией в прогностические модели. В статье представлена и детально описана универсальная схема работы с радиомическими данными [40].



- Выделяют 5 ключевых этапов анализа и извлечения радиомических данных [40–46]:
- 1) получение и предобработка изображений. На первом этапе ключевое значение имеет стандартизация параметров сканирования, так как вариабельность протоколов рентгенологического исследования может существенно влиять на значения радиомических признаков. Доработка может включать ресемплинг (приведение всех изображений к единому пространственному разрешению), нормализацию интенсивности пикселей и фильтрацию для подавления шумов и усиления определенных текстурных особенностей;
 - 2) сегментация области интереса. Сегментация – процесс определения границ опухоли или другого биологического объекта на изображении. Это один из наиболее ответственных этапов, так как от его точности напрямую зависят все последующие расчеты. Выделяют 3 основных метода. Ручная сегментация выполняется опытным рентгенологом. Считается «золотым стандартом», но чрезвычайно трудоемка и субъективна. При полуавтоматической сегментации врач корректирует результат, сгенерированный алгоритмом. Полностью автоматическая сегментация выполняется с помощью алгоритмов глубокого обучения. Перспективный метод для устранения человеческой ошибки, но требующий больших наборов данных для обучения;
 - 3) извлечение признаков. После сегментации из выделенного объема извлекаются сотни и тысячи количественных признаков;
 - 4) контроль качества и селекция признаков. Колоссальное количество извлеченных признаков (часто >1000) создает риск переобучения модели, особенно при небольшом размере выборки. Поэтому критически важным этапом является селекция признаков. Отбор наиболее информативных и устойчивых признаков происходит с использованием методов статистики (тест Стьюдента, критерий Манна – Уитни и др.), корреляционного анализа, а также более сложных методов;
 - 5) построение и валидация модели. Отобранные признаки используются для построения прогностической модели с помощью алгоритмов машинного обучения. Одним из методов построения прогностической модели является метод кластеризации. Кластеризация – это метод машинного обучения, задачей которого является автоматическое разделение набора данных на группы схожих объектов. Эти группы называются кластерами. Каждый кластер объединяет объекты, которые близки по определенным признакам (например, по радиомическим, рентгенологическим или клиническим параметрам) и в то же время отличаются от объектов в других кластерах.

Процесс кластеризации не требует заранее известных меток или подсказок – алгоритм самостоятельно обнаруживает скрытые закономерности и группирует данные на основе их внутренней структуры. Это позволяет выявлять новые, ранее неизвестные подтипы в данных, что особенно ценно в биомедицинских исследованиях. Например, с помощью кластеризации можно обнаружить подгруппы пациентов с уникальным молекулярным профилем, прогнозом или ответом на лечение, что способствует развитию персонализированной медицины.

Подтипом кластеризации является метод консенсус-кластеризации – это подход, направленный на повышение надежности и устойчивости кластеризации. В отличие от стандартных методов, которые выполняют кластеризацию один раз,

консенсус-кластеризация многократно повторяет процесс на случайных подмножествах исходных данных. На каждом повторении используется выбранный алгоритм кластеризации, например k-средних. Затем на основе всех запусков строится консенсусная матрица, элементы которой отражают частоту попадания каждой пары объектов в один кластер. Чем выше значение в матрице, тем устойчивее связь между объектами. Важнейшим этапом является валидация модели на независимой, предварительно не использовавшейся когорте пациентов для подтверждения ее обобщающей способности и готовности к клиническому внедрению.

Основная ценность радиомики, по мнению авторов, заключается в ее способности неинвазивно выявлять внутриопухолевую гетерогенность, которая является критически важным фактором резистентности к лечению и прогрессирования заболевания.

Одним из первых масштабных исследований связи между радиомическими признаками и биологией опухоли является труд Aerts H.J.W.L. и соавт., опубликованный в 2014 году. Данное исследование представляет концепцию о том, что радиомические признаки, извлеченные из стандартных КТ-изображений, содержат глубокую биологическую и прогностическую информацию, выходящую за рамки визуальной оценки. Авторы демонстрируют, что количественные данные могут отражать молекулярные характеристики опухоли и предсказывать выживаемость пациентов.

В исследовании были объединены данные 1019 пациентов с НМРЛ. Было извлечено 440 радиомических признаков, описывающих интенсивность, текстуру, форму и размер опухоли. Для анализа использовались алгоритмы машинного обучения. Результаты позволили количественно оценить неоднородность опухоли, которая является ключевым фактором устойчивости к лечению и плохого прогноза. Радиомические признаки показали связь с экспрессией ключевых генов и активностью биологических путей (например, путей клеточной пролиферации, гипоксии, ангиогенеза). Также было показано, что высокая энтропия (мера неоднородности на изображении) коррелировала с повышенной клеточной пролиферацией и активацией сигнальных путей, связанных с движением клеток и метастазированием [41].

В статье 2013 года, опубликованной в журнале *Radiology*, авторы показали, что такие параметры, как энтропия, коррелируют с метаболической активностью опухоли и ангиогенезом. Это заложило основу для современного направления иммунорадиомики, где неоднородность на КТ пытаются связать с характеристиками иммунного микроокружения опухоли, что может быть важно для прогноза ответа на иммунотерапию [47].

Одна из главных проблем радиомики – воспроизводимость результатов. Разные настройки могут по-разному вычислять одни и те же признаки. В масштабной работе международной программы IBSI (Image Biomarker Standardization Initiative) попытались решить фундаментальные проблемы радиомики – отсутствие стандартизации и воспроизводимости. Консорциум предложил унифицированные математические определения, формулы и этапы предобработки изображений для расчета радиомических признаков. В статье представлен исчерпывающий справочный материал, даны четкие рекомендации по именованию и расчету признаков [42].

В статье, опубликованной в 2025 году в журнале торакальной онкологии, Hong-Ji Li и соавт. изучали радиомические признаки, извлеченные из КТ-изображений, которые позволяют неинвазивно идентифицировать молекулярные подтипы



аденокарциномы легкого на ранних стадиях. В исследовании были проанализированы данные 1212 пациентов с аденокарциномой легкого 0–IV стадии. Из КТ-изображений извлекли радиомические признаки и с помощью метода консенсус-кластеризации разделили всех пациентов на 4 кластера, основываясь исключительно на сходстве их радиомических профилей.

Кластер № 1 характеризовался низким CTR, преинвазивной и минимально инвазивной аденокарциномой легкого, высокой дифференцировкой, индолентным ростом, низкой пролиферативной активностью опухоли и благоприятным прогнозом. Опухоли были ассоциированы с мутациями BRAF и ERBB2. Для кластера № 4 был характерен умеренный CTR. Клинически и по прогнозу похож на кластер № 1, однако содержал большее количество опухолей grade II. Для кластера № 2 был определен высокий CTR, опухоли отличались инвазивными формами, высокой пролиферативной активностью и активным иммунным микроокружением, плохим прогнозом. Кластер № 3 ассоциирован с высоким CTR, наихудшим прогнозом, наибольшей частотой инвазии опухоли в плевру. Опухоли имели высокую пролиферативную активность, но крайне подавленное иммунное микроокружение (значительно снижена инфильтрация всеми типами иммунных клеток и активность иммунных процессов) по сравнению с кластером № 2. Опухоли были ассоциированы с мутациями KRAS и TP53 [46].

Данное исследование показывает, что радиомика является мощным неинвазивным инструментом, который помогает отражать фундаментальные молекулярные процессы в опухоли. Это позволяет точно оценивать биологическое поведение конкретного образования в легком еще до хирургического вмешательства, выявлять иммунный фенотип опухоли, что важно для прогнозирования эффекта иммунотерапии, а также принимать обоснованные решения о лечении на основе индивидуального молекулярно-радиологического портрета опухоли.

Ряд вышеуказанных исследований напрямую развивает тему ранее упомянутых статей. Они показывают, что радиомика идет гораздо дальше простого измерения индекса CTR. Ключевой вывод в том, что образования с высоким индексом CTR неоднородны, и радиомика может выделить среди них подтипы с кардинально разным иммунным фоном и, следовательно, разным прогнозом и потенциальным ответом на терапию.

Радиомика представляет собой мост между визуальной оценкой изображений и прецизионной медициной. Она позволяет выявлять внутриопухолевую гетерогенность, недоступную при биопсии одного участка, неинвазивно оценивать биологические характеристики опухоли, строить прогностические и предиктивные модели для оценки ответа на терапию (лучевую, химио-, иммунотерапию) и вероятности рецидива.

Таким образом, радиомика является мощным инструментом количественной оценки медицинских изображений, который углубляет наше понимание биологии опухоли и открывает новые пути для персонализации диагностики и лечения онкологических заболеваний.

■ СОБСТВЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В последние годы в онкологическом (торакальном) отделении Республиканского научно-практического центра онкологии и медицинской радиологии им. Н.Н. Александрова (РНПЦ ОМР) прослеживается устойчивая тенденция к увеличению числа

пациентов с ранними формами НМРЛ, выявляемыми при выполнении диагностических КТ грудной клетки. Как следствие, количество сублобарных анатомических резекций, выполняемых в онкологическом (торакальном) отделении РНПЦ ОМР им. Н.Н. Александрова, увеличивается с каждым годом. Так, если в 2023 году было выполнено 47 анатомических сегментэктомий, то в 2024 году их количество возросло до 54, а за первые три квартала 2025 года было проведено 56 операций. Переход к малоинвазивным технологиям стал одним из ключевых направлений развития торакальной хирургии в нашем центре. В настоящее время подавляющее большинство операций выполняется видеоассистированным торакоскопическим доступом, что существенно снижает травматичность вмешательств и способствует сокращению сроков послеоперационного восстановления. Использование предоперационного 3D-моделирования и интраоперационной ICG/NIR-навигации позволяет повысить точность определения границ резекции и снизить частоту послеоперационных осложнений.

Накопленный опыт центра подтверждает, что видеоассистированная торакоскопическая сегментэктомия может быть безопасной и онкологически оправданной альтернативой лобэктомии у пациентов с ранним НМРЛ, соответствуя международным тенденциям персонализированного хирургического подхода. Продолжающееся наблюдение и последующий анализ отдаленных результатов позволят окончательно оценить долгосрочную эффективность данной стратегии в отечественной клинической практике.

■ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные данные убедительно показывают, что рентгенологические характеристики образований легкого, в частности наличие компонента по типу матового стекла и величина индекса CTR, обладают высокой прогностической значимостью. Они позволяют стратифицировать пациентов по риску злокачественности и индивидуализировать хирургическую тактику, включая выбор между лобэктомией и сублобарными резекциями. Результаты крупных клинических исследований (NLST, NELSON, JCOG, CALGB) радикально изменили подходы к диагностике и лечению раннего НМРЛ, сделав возможным переход от универсального к персонализированному подходу.

Важным направлением развития остается интеграция традиционной визуальной оценки с методами радиомики, которые позволяют извлекать скрытые количественные характеристики опухоли, отражающие ее биологическое поведение. Эти технологии в сочетании с молекулярными маркерами открывают перспективы точной неинвазивной диагностики, прогнозирования и выбора оптимальной терапии.

Таким образом, роль лучевой диагностики при аденокарциноме легкого выходит далеко за рамки простого выявления опухоли. Она становится ключевым инструментом для клинического принятия решения, определяющим прогноз и стратегию лечения. Дальнейшие многоцентровые исследования и внедрение искусственного интеллекта будут способствовать еще более точной стратификации пациентов и совершенствованию персонализированного подхода к терапии рака легкого.



■ ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Global cancer observatory. International Agency for Research on Cancer; 1965–2025. Available at: <https://gco.iarc.fr/en> (accessed 30 September 2025).
2. Luo G., Zhang Y., Rungay H., et al. Estimated worldwide variation and trends in incidence of lung cancer by histological subtype in 2022 and over time: a population-based study. *Lancet Respir Med.* 2025;13(4):348–363. doi: 10.1016/S2213-2600(24)00428-4
3. Aberle D.R., Adams A.M., Berg C.D., et al. Reduced lung-cancer mortality with low-dose computed tomographic screening. *N Engl J Med.* 2011;365(5):395–409. doi: 10.1056/NEJMoa1102873
4. Horeweg N., van Rosmalen J., Heuvelmans M.A., et al. Lung cancer probability in patients with CT-detected pulmonary nodules: a prespecified analysis of data from the NELSON trial of low-dose CT screening. *Lancet Oncol.* 2014;15(12):1332–1341. doi: 10.1016/S1470-2045(14)70389-4
5. MacMahon H., Naidich D.P., Goo J.M., et al. Guidelines for management of incidental pulmonary nodules detected on CT images: from the Fleischner Society 2017. *Radiology.* 2017;284(1):228–243. doi: 10.1148/radiol.2017161659
6. Chen D., Yang L., Zhang W., et al. Prevalence and management of pulmonary nodules: a systematic review and meta-analysis. *J Thorac Dis.* 2024;16(7):4619–4632. doi: 10.21037/jtd-24-874
7. Sánchez M., Benegas M., Vollmer I. Management of incidental lung nodules <8 mm in diameter. *J Thorac Dis.* 2018;10(Suppl 22):S2611–S2627. doi: 10.21037/jtd.2018.05.86
8. Gould M.K., Ananth L., Barnett P.G. A clinical model to estimate the pretest probability of lung cancer in patients with solitary pulmonary nodules. *Chest.* 2007;131(2):383–388. doi: 10.1378/chest.06-1261
9. McWilliams A., Tammemagi M.C., Mayo J.R., et al. Probability of cancer in pulmonary nodules detected on first screening CT. *N Engl J Med.* 2013;369(10):910–919. doi: 10.1056/NEJMoa1214726
10. Callister M.E., Baldwin D.R., Akram A.R., et al. British Thoracic Society guidelines for the investigation and management of pulmonary nodules. *Thorax.* 2015;70(Suppl 2):ii1–ii54. doi: 10.1136/thoraxjnl-2015-207168
11. Christensen J., Prosper A.E., Wu C.C., et al. ACR Lung-RADS v2022: assessment categories and management recommendations. *J Am Coll Radiol.* 2023;21(3):473–488. doi: 10.1016/j.jacr.2023.09.009
12. National Comprehensive Cancer Network. NCCN Clinical Practice Guidelines in Oncology: Non-Small Cell Lung Cancer. Version 4.2024. *J Natl Compr Cancer Netw.* 2024;22(4):249–307.
13. Gould M.K., Donington J., Lynch W.R., et al. Evaluation of individuals with pulmonary nodules: when is it lung cancer? Diagnosis and management of lung cancer, 3rd ed: American College of Chest Physicians evidence-based clinical practice guidelines. *Chest.* 2013;143(5 Suppl):e935–e1205. doi: 10.1378/chest.12-2351
14. Mets O., Smithuis R. BTS guideline of pulmonary nodules. Guideline of the British Thoracic Society. Radiology Assistant. Available at: <https://radiologyassistant.nl/chest/plumonary-nodules/bts-guideline> (accessed 30 September 2025).
15. Bankier A.A., MacMahon H., Colby T., et al. Fleischner Society: glossary of terms for thoracic imaging. *Radiology.* 2024;310(2):1–55. doi: 10.1148/radiol.232558
16. Hattori A., Matsunaga T., Hayashi T., et al. Prognostic impact of the findings on thin-section computed tomography in patients with subcentimeter non-small cell lung cancer. *J Thorac Oncol.* 2017;12(6):954–962. doi: 10.1016/j.jtho.2017.02.015
17. Hattori A., Matsunaga T., Takamochi K., et al. Importance of ground glass opacity component in clinical stage IA radiologic invasive lung cancer. *Ann Thorac Surg.* 2017;104(1):313–320. doi: 10.1016/j.athoracsur.2017.01.076
18. Lee K.H., Goo J.M., Park S.J., et al. Correlation between the size of the solid component on thin-section CT and the invasive component on pathology in small lung adenocarcinomas manifesting as ground-glass nodules. *J Thorac Oncol.* 2014;9(1):74–82. doi: 10.1097/JTO.0000000000000019
19. Ye T., Deng L., Xiang J., et al. Predictors of pathologic tumor invasion and prognosis for ground glass opacity featured lung adenocarcinoma. *Ann Thorac Surg.* 2018;106(6):1682–1690. doi: 10.1016/j.athoracsur.2018.06.058
20. Liu K., Li K., Wu T., et al. Improving the accuracy of prognosis for clinical stage I solid lung adenocarcinoma by radiomics models covering tumor per se and peritumoral changes on CT. *Eur Radiol.* 2022;32(2):1065–1077. doi: 10.1007/s00330-021-08194-0
21. Su H., Dai C., She Y., et al. Which T descriptor is more predictive of recurrence after sublobar resection: whole tumour size versus solid component size? *Eur J Cardiothorac Surg.* 2018;54(6):1028–1036. doi: 10.1093/ejcts/ezy225
22. Dennie C., Bayanati H., Souza C.A., et al. Role of the thoracic radiologist in the evaluation and management of solid and subsolid lung nodules. *Thorac Surg Clin.* 2021;31(3):283–292. doi: 10.1016/j.thorsurg.2021.04.004
23. Wang B., Hamal P., Sun K., et al. Clinical value and pathologic basis of cystic airspace within subsolid nodules confirmed as lung adenocarcinomas by surgery. *Clin Lung Cancer.* 2021;22(6):e881–e888. doi: 10.1016/j.clcc.2021.05.005
24. Suzuki K., Koike T., Asakawa T., et al. A prospective radiological study of thin-section computed tomography to predict pathological noninvasiveness in peripheral clinical IA lung cancer (Japan Clinical Oncology Group 0201). *J Thorac Oncol.* 2011;6(4):751–756. doi: 10.1097/JTO.0b013e31821038ab
25. Suzuki K., Watanabe S.J., Wakabayashi M., et al. A single-arm study of sublobar resection for ground-glass opacity dominant peripheral lung cancer. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2022;163(1):289–301.e2. doi: 10.1016/j.jtcvs.2020.09.146
26. Aokage K., Suzuki K., Saji H., et al. Segmentectomy for ground-glass-dominant lung cancer with a tumour diameter of 3 cm or less including ground-glass opacity (JCOG1211): a multicentre, single-arm, confirmatory, phase 3 trial. *Lancet Respir Med.* 2023;11(6):540–549. doi: 10.1016/S2213-2600(23)00041-3
27. Saji H., Okada M., Tsuboi M., et al. Segmentectomy versus lobectomy in small-sized peripheral non-small-cell lung cancer (JCOG0802/WJOG4607L): a multicentre, open-label, phase 3, randomised, controlled, non-inferiority trial. *Lancet.* 2022;399(10335):1607–1617. doi: 10.1016/S0140-6736(21)02333-3
28. Pan X.L., Liao Z.L., Yao H., et al. Prognostic value of ground glass opacity on computed tomography in pathological stage I pulmonary adenocarcinoma: a meta-analysis. *World J Clin Cases.* 2021;9(33):10222–10232. doi: 10.12998/wjcc.v9.i33.10222
29. Sun K., You A., Wang B., et al. Clinical T1aN0M0 lung cancer: differences in clinicopathological patterns and oncological outcomes based on the findings on high-resolution computed tomography. *Eur Radiol.* 2021;31(10):7353–7362. doi: 10.1007/s00330-021-07865-2
30. Asamura H., Hishida T., Suzuki K., et al. Radiographically determined noninvasive adenocarcinoma of the lung: survival outcomes of Japan Clinical Oncology Group 0201. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2013;146(1):24–30. doi: 10.1016/j.jtcvs.2012.12.047
31. Matsunaga T., Suzuki K., Takamochi K., et al. What is the radiological definition of part-solid tumour in lung cancer? *Eur J Cardiothorac Surg.* 2017;51(2):242–247. doi: 10.1093/ejcts/ezw344

32. Li M., Wang J., Bao X., et al. Minor ($\leq 10\%$) ground-glass opacity component in clinical stage I non-small cell lung cancer: associations with pathologic characteristics and clinical outcomes. *AJR Am J Roentgenol.* 2024;223(2):1–13. doi: 10.2214/AJR.24.31283
33. Jing W., Liu M., Li W., et al. Prognostic implication of consolidation-to-tumor ratio in early lung adenocarcinoma: a retrospective cross-sectional study. *Quant Imaging Med Surg.* 2024;14(5):3366–3380. doi: 10.21037/qims-23-1438
34. Li Z., Xu W., Gu T., et al. Tumor size, but not consolidation-to-tumor ratio, is an independent prognostic factor for part-solid clinical T1 non-small cell lung cancer. *Thorac Cancer.* 2023;14(6):602–611. doi: 10.1111/1759-7714.14788
35. Cahan W.G. Radical lobectomy. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1960;39(5):555–572. doi: 10.1016/S0022-5223(20)31797-9
36. Ginsberg R.J., Rubinstein L.V. Randomized trial of lobectomy versus limited resection for T1 N0 non-small cell lung cancer. Lung Cancer Study Group. *Ann Thorac Surg.* 1995;60(3):615–623. doi: 10.1016/0003-4975(95)00537-u
37. Altorki N., Wang X., Kozono D., et al. Lobar or Sublobar Resection for Peripheral Stage IA Non-Small-Cell Lung Cancer. *N Engl J Med.* 2023;388(6):489–498. doi: 10.1056/NEJMoa2212083
38. Hattori A., Suzuki K., Takamochi K., et al. Segmentectomy versus lobectomy in small-sized peripheral non-small-cell lung cancer with radiologically pure-solid appearance in Japan (JCOG0802/WJOG4607L): a post-hoc supplemental analysis of a multicentre, open-label, phase 3 trial. *Lancet Respir Med.* 2024;12(2):105–116. doi: 10.1016/S2213-2600(23)00382-X
39. Lambin P., Rios-Velazquez E., Leijenaar R., et al. Radiomics: extracting more information from medical images using advanced feature analysis. *Eur J Cancer.* 2012;48(4):441–446. doi: 10.1016/j.ejca.2011.11.036
40. Gillies R.J., Kinahan P.E., Hricak H. Radiomics: images are more than pictures, they are data. *Radiology.* 2016;278(2):563–577. doi: 10.1148/radiol.2015151169
41. Aerts H.J., Velazquez E.R., Leijenaar R.T., et al. Decoding tumour phenotype by noninvasive imaging using a quantitative radiomics approach. *Nat Commun.* 2014;5:1–8. doi: 10.1038/ncomms5006
42. Zwanenburg A., Vallières M., Abdalah M.A., et al. The image biomarker standardization initiative: standardized quantitative radiomics for high-throughput image-based phenotyping. *Radiology.* 2020;295(2):328–338. doi: 10.1148/radiol.2020191145
43. Van Griethuysen J.J.M., Fedorov A., Parmar C., et al. Computational radiomics system to decode the radiographic phenotype. *Cancer Res.* 2017;77(21):e104–e107. doi: 10.1158/0008-5472.CAN-17-0339
44. Kumar V., Gu Y., Basu S., et al. Radiomics: the process and the challenges. *Magn Reson Imaging.* 2012;30(9):1234–1248. doi: 10.1016/j.mri.2012.06.010
45. Parmar C., Grossmann P., Bussink J., et al. Machine Learning methods for Quantitative Radiomic Biomarkers. *Sci Rep.* 2015;5:1–11. doi: 10.1038/srep13087
46. Li H.J., Qiu Z.B., Wang M.M., et al. Radiomics-based support vector machine distinguishes molecular events driving the progression of lung adenocarcinoma. *J Thorac Oncol.* 2025;20(1):52–64. doi: 10.1016/j.jtho.2024.09.1431
47. Ganeshan B., Goh V., Mandeville H.C., et al. Non-small cell lung cancer: histopathologic correlates for texture parameters at CT. *Radiology.* 2013;266(1):326–336. doi: 10.1148/radiol.12112428