

Возможности искусственного интеллекта в выделении гамартом из структуры легочных очагов: систематический обзор

С.С. Суворова, У.А. Смольникова, П.В. Гаврилов

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии

What can artificial intelligence do for the isolation of hamartomas from the structure of pulmonary nodules: a systematic review

S. Suvorova, U. Smolnikova, P. Gavrilov

St. Petersburg State Research Institute of Phthisiopulmonology

© Коллектив авторов, 2024 г.

Резюме

Потребность в неинвазивных методах диагностики в отношении одиночных образований/очагов в легких возрастает с учетом накопленного опыта хирургического лечения доброкачественных опухолей легких, в том числе и гамартомы. Современные возможности лучевой диагностики могут быть дополнены внедрением системы искусственного интеллекта (ИИ) на основе радиомики для распознавания легочной гамартомы в рутинной практике, что является на сегодняшний день перспективным направлением в рентгенологии. **Цель исследования:** обобщение данных о результатах и условиях применения ИИ на основе радиомики в выделении гамартом из структуры легочных очагов. **Материалы и методы.** Обзор выполнен согласно стандарту PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Включены полнотекстовые статьи, опубликованные в период с 2020 по 2024 г. Поиск статей осуществлялся независимо в базах данных КиберЛенинка, eLibrary, Google Scholar, PubMed/MEDLINE по ключевым терминам без применения языковых ограничений: "pulmonary hamartoma", "radiomics", "machine learning", "artificial intelligence". **Результаты.** В финальный анализ вклю-

чены 4 научные публикации по качественному показателю. В статье представлены: описание тренировочных и валидационных датасетов; алгоритмы машинного обучения; параметры диагностической эффективности радиомической модели (ROC AUC — площадь под кривой ошибок, точность, чувствительность и специфичность). Радиомические признаки, отличающие гамартому от злокачественных новообразований легких (карциноид, аденокарцинома), стали предметом всех изученных публикаций. Анализ применения ИИ продемонстрировал, что полученные радиомические модели в ходе исследований достигли очень хорошей (0,836) и отличной (0,942; 0,96) оценки качества на внутреннем тестовом датасете согласно метрике ROC AUC, а также хорошей (0,76) оценки качества на валидационном тесте. **Заключение.** Неинвазивная дифференциальная диагностика очагов и образований в легких в настоящее время крайне актуальна. Выделение из структуры всех найденных очагов заведомо доброкачественных образований (гамартом) по данным компьютерной томографии поможет сократить количество ненужных верифицирующих операций — то есть принесет прямой экономический эффект. Научные публикации по данной проблематике и их резуль-

таты подтверждают перспективность изучения возможностей ИИ и радиомического анализа КТ-снимков в выявлении доброкачественных образований легких (гамартом). Валидация разработанных моделей рекомендована для всех исследований, однако последняя может быть ограничена в связи с малым количеством случаев верифицированной легочной гамартоты в одном учреждении, что подталкивает исследователей к созданию многоцентровой базы для более эффективного обучения ИИ на основе радиомики и проверки чувствительности, специфичности и точности диагностики.

Ключевые слова: легочная гамартома, одиночный легочный очаг, лучевая диагностика, радиомика, искусственный интеллект

Summary

The need for noninvasive investigative techniques for solitary lung masses/nodules is increasing with more and more gained experience in surgical treatment of benign lung tumors, including hamartomas.

Current radial diagnostic capabilities can be complemented by the introduction of a radiomics-based artificial intelligence (AI) system to recognize pulmonary hamartoma in routine practice, which is currently a promising direction in radiology. **Objective.** To summarize the data on the results and conditions of application of radiomics-based AI in the identification of hamartomas from the structure of pulmonary nodules. **Materials and methods.** The review was performed according to the PRISMA standard (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Full-text articles published between 2020 and 2024 were included. Articles were searched independently in CyberLeninka (КиберЛенинка), eLibrary, Google Scholar, and PubMed/MEDLINE databases for key terms without language

restrictions: “pulmonary hamartoma”, “radiomics”, “machine learning”, “artificial intelligence”. **Results.** The final analysis included 4 scientific publications on the qualitative indicator. The article presents: description of training and validation datasets; machine learning algorithms; parameters of diagnostic efficiency of the radiomic model (ROC AUC — area under the ROC curve, accuracy, sensitivity and specificity). Radiomic features that distinguish hamartoma from lung malignancies (carcinoid, adenocarcinoma) were the subject of all publications studied. AI application analysis demonstrated that the derived radiomic models in the studies achieved very good (0.836) and excellent (0.942; 0.96) quality scores on the internal test dataset according to the ROC AUC metric, as well as good (0.76) quality scores on the validation test. **Conclusion.** Noninvasive differential diagnostics of nodules and masses in the lungs is extremely important nowadays. Allocation of obviously benign masses (hamartomas) from the structure of all found nodules according to CT data will help reduce the number of unnecessary verifying surgeries, and will bring direct economic effect. Scientific publications on this problem and their results confirm the prospectivity of studying the possibilities of AI and radiomic analysis of CT-images in detection of benign pulmonary neoplasms (hamartomas). Validation of the developed models is recommended for all studies, but the latter may be limited due to the small number of cases of verified pulmonary hamartomas in a single institution, which encourages researchers to establish a multicenter base for more effective training of AI based on radiomics and verification of sensitivity, specificity and diagnostic accuracy.

Keywords: pulmonary hamartoma, solitary pulmonary nodule, computed tomography, radiomics, artificial intelligence

Введение

Дооперационная диагностика одиночных образований/очагов легкого все больше принимает первостепенное значение при планировании лечения и наблюдения за пациентом. В особенности это касается бессимптомных легочных гамартом, не нуждающихся в хирургической резекции при технических возможностях выполнения тонкоигольной биопсии [1]. При отсутствии чрезбронхиального доступа к периферическому образованию альтернативой диагностической бронхоскопии может стать трансторакальная биопсия, которая, однако, имеет большее число осложнений [2, 3]. Материал, полученный при аспирации легочной ткани, в свою очередь, может быть недостаточным

для точной гистологической интерпретации ввиду морфологических особенностей некоторых гамартом. При этом общая точность постановки гистологами правильного диагноза гамартоты согласно исследованию J.H. Hughes и соавт. составила 26% и специфичность 78%, доля ложноположительных результатов достигала 22%, а в некоторых случаях 42% [4].

Гамартома является наиболее часто выявляемой доброкачественной опухолью легкого, для которой характерно отсутствие клинических проявлений. Доказательств ее злокачественной трансформации не было получено в нескольких исследованиях [1, 5].

Неинвазивная диагностика гамартоты легкого до сих пор основывается на таких лучевых методах исследования, как ПЭТ-КТ и КТ с интервальным наблюдением [6].

Легочная гамартома представляет собой солидное образование в среднем до 4 см в диаметре с четким и ровным контуром [7]. Гетерогенность тканей, входящих в ее состав (соединительная ткань, хрящ, жир или гладкомышечная ткань в сочетании с респираторным эпителием), определяет вариант презентации гамартоты при компьютерной томографии [8, 9]. Патогномоничным КТ-признаком для типичной гамартоты является комбинация макроскопического жира и кальциевых отложений по типу «поп-корн» в структуре [10]. Жировые включения встречаются примерно в 30–60% случаев, а кальцинаты примерно в 25%, их сочетание — в 21% [11, 12]. Медленный рост характерен для большинства гамартот, при этом период удвоения объема опухоли составляет более 600 дней [13].

Сложность дифференциальной диагностики гамартоты состоит в существовании имитирующих ее одиночных образований/очагов в легких, поскольку изолированное или полное отсутствие макроскопического жира и обызвествлений в структуре у гамартот встречается чаще [11, 12]. Вдобавок небольшой размер и четкий контур хоть и указывают на вероятную доброкачественность опухоли, но не являются диагностическими признаками [6]. Одним из таких формальных критериев доброкачественности выявленного на КТ образования считается наличие жировых включений (от –40 до –120 HU) [14]. В литературе описан случай обнаружения макроскопического жира (–52 HU) в солитарном легочном узелке диаметром 15 мм, который гистологически был верифицирован как аденокарцинома с участком некроза без жировых включений [15].

КТ с контрастным усилением не является высокоспецифичным методом исследования для дифференциальной диагностики гамартоты, так как поглощение ею контрастного препарата может быть сопоставимо с некоторыми злокачественными новообразованиями и происходит главным образом в перегородках (рыхлой соединительной ткани) гамартоты [6, 16]. ПЭТ-КТ с ^{18}F -ФДГ имеет большую точность в выявлении признаков доброкачественности гамартоты по сравнению с КТ [17, 18]. Однако в исследовании C. de Cisso и соавт. имеются данные о накоплении радиофармпрепарата гамартотой больших размеров, что приводило в 19% случаев к ложноположительным или неопределенным результатам касательно ее злокачественности [17]. Стоит отметить, что использование ^{18}F -ФДГ может сопровождаться ложноотрицательными результатами при диагностике образований с низкой гликолитической активностью (карциноидные опухоли, аденокарцинома, индолентные лимфомы) и опухолей небольших размеров [19].

Интерпретация рентгенологических изображений основывается на опыте специалиста и склонна к субъективности, так как характеризуется качественной

оценкой. Следовательно, в процессе классической обработки медицинских изображений извлекается лишь малая часть всей количественной информации [20].

Перспективным направлением решения этой проблемы может стать использование системы искусственного интеллекта (ИИ) на основе радиомики для распознавания гамартоты легкого.

Цель исследования

Обобщение данных о результатах и условиях применения ИИ на основе радиомики в выделении гамартот из структуры легочных очагов.

Материалы и методы исследования

Обзор выполнен согласно стандарту PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). Включены полнотекстовые статьи, опубликованные в период с 2020 по 2024 г. Взаимодействие с авторами публикаций не осуществлялось. Все исследования, включенные в обзор, были ретроспективными, поэтому информированное согласие пациентов не требовалось.

Поиск статей осуществлялся независимо в базах данных КиберЛенинка, eLibrary, Google Scholar, PubMed/MEDLINE по ключевым терминам без применения языковых ограничений: “pulmonary hamartoma”, “radiomics”, “machine learning”, “artificial intelligence”.

В результате поиска найдено 16 статей, 2 дубликата и 2 комментария к исследованиям исключены. Также удалены 8 статей по причине несоответствия теме исследования. В финальный анализ включены 4 научные работы по качественному показателю.

Результаты и их обсуждение

Радиомика является фундаментальным разделом медицинских технологий, используемых в клинической практике для скрининга, диагностики, принятия решений о лечении и последующего наблюдения [21]. Хотя этот термин не имеет строгого определения, цель радиомики — извлечение количественной и воспроизводимой информации из диагностических изображений, в том числе и сложные паттерны, которые трудно распознать или количественно оценить человеческому глазу. К таким показателям можно отнести определение степени гетерогенности ткани по всему объему опухоли, а также ранее неизвестные биомаркеры, выявляемые на большой выборке для конкретной нозологии [22].

Использование радиомических моделей для классификации злокачественных и доброкачественных образований легких при КТ было изучено несколькими исследователями, при этом прогностическая ценность данных моделей была оценена как высокая

[23, 24]. Как показано в исследованиях, проведенных Yan Xu и соавт. и Jieke Liu и соавт., радиомический анализ может стать предметом исследования при изучении влияющих на его эффективность условий [25, 26]. Так, радиомические признаки при низкодозной КТ в сравнении с таковыми при КТ в стандартной дозе достоверно не различались для аденокарцином и других очагов в легких, что подтверждает предпочтение НДКТ при скрининге рака легкого [25]. Размеры очагов и параметры сканирования также могут повлиять на результативность радиомических моделей [26].

При подготовке систематического обзора на тему разделения гамартом от других очагов/образований в легком нами была отмечена малочисленность научных публикаций по данной проблематике, при этом интервал поиска был самопроизвольно ограничен в пределах 2020–2023 гг., что указывает на перспективность изучения возможностей радиомики и искусственного интеллекта (ИИ) в выделении гамартом из структуры легочных очагов.

Радиомическая модель для дифференциации гамартмы и аденокарциномы легкого

Только в одном исследовании, проведенном X. Guan и соавт. [27], были рассмотрены радиомические характеристики, отличающие легочную гамартму от аденокарциномы. Выборка включала пациентов с гамартомами (n=42) без кальцификатов и пациентов с аденокарциномами (n=49) без признаков деструкции и обызвествлений в структуре.

Для обучения искусственной нейронной сети были использованы полутоновая матрица смежности (GLCM) и локальные бинарные шаблоны (LBP) для изучения гетерогенности структуры опухоли. В результате чувствительность обнаружения, специфичность, точность и ROC AUC составили 0,87, 0,82, 0,85 и 0,942 соответственно. Наряду с этим при определении различий между аденокарциномой и гамартомой легкого двумя опытными рентгенологами чувствительность, специфичность и точность составили 0,88, 0,71 и 0,80.

Как отмечают сами авторы, внешний валидационный тест для обученной нейронной сети проведен не был по причине малой выборки пациентов с нетипичной гамартомой за 5 лет.

Радиомические модели для дифференциации гамартмы и карциноида легкого

В исследовании A.K. Sangir и соавт. [28] выделены две модели для машинного обучения, где в первую были включены все пациенты (n=138) для дифференциации легочной гамартмы (n=60) и карциноидов (n=78), тогда как во вторую модель были взяты все карциноиды и только 38 пациентов с гамартомой без макроскопического жира в структуре.

Также в исследовании использованы тестовые наборы из одного учреждения: для первой модели из 62 гамартом и 30 карциноидов, для второй модели из 29 гамартом и 63 карциноидов.

Обучение искусственной нейронной сети в данном исследовании проводилось при помощи нескольких алгоритмов обучения, из которых с наилучшими результатами стал Random Forest. Так, для легочной гамартмы без макроскопического жира чувствительность, специфичность и ROC AUC на тестовой базе составили 0,88, 0,69, 0,836 соответственно. Внешний валидационный сет в публикации не использовался.

Еще одно исследование, в котором изучалась возможность применения радиомики и искусственного интеллекта в дифференциальной диагностике некальцинированной легочной гамартмы и карциноида, было проведено Yang X и соавт. [29].

Выборка представляет собой 73 гамартмы и 54 карциноида легких (типичный/атипичный карциноид — 13/41). Примечательным в данной статье является анализ не только нативных КТ-снимков, но и после контрастного усиления. Однако существенного преимущества радиомических признаков, извлеченных из КТ с контрастированием, не было выделено по сравнению с нативными КТ.

Модель получила AUC 0,96. В исследовании также не было полноценного валидационного сета для проверки.

Из всех проанализированных статей только в исследовании P. Nabert и соавт. [30] был проведен внешний валидационный тест, состоящий из 22 легочных гамартом и 32 карциноидов. В тренировочный сет были включены 16 некальцинированных гамартом и 57 карциноидов легких (типичный/атипичный карциноид — 42/15). Наиболее хорошую воспроизводимость получила модель с AUC 0,76 во внешнем наборе данных при использовании алгоритма обучения Random Forest.

Важным критерием для радиомического прогнозирования гамартмы и карциноида легких в данном исследовании стало пороговое значение КТ-плотности (HU) образований, которое составило: для гамартмы <10 HU с чувствительностью 0,13 и специфичностью 1,0, и для карциноида >60 HU с чувствительностью 0,63 и специфичностью 0,91.

Практически всеми авторами было отмечено, что обученные нейронные сети в исследованиях должны быть проверены на внешнем наборе данных. Однако валидация может быть ограничена в связи с малым количеством пациентов с верифицированной легочной гамартомой в одном учреждении, что подталкивает исследователей к созданию многоцентровой базы для более эффективного обучения ИИ на основе радиомики и проверки чувствительности, специфичности и точности диагностики.

Впрочем, стоит принять во внимание, что вариативность необработанных изображений, полученных на разных компьютерных томографах, может повлиять на результативность радиомического анализа в рутинной практике. С другой стороны, это может оказаться полезным при метаанализе данных, собранных из нескольких учреждений, практикующих использование программ компьютер-ассистированной диагностики.

Основным направлением рассмотренных научных публикаций в данном систематическом обзоре остается попытка дифференциации потенциально не нуждающегося в активной гистологической верификации доброкачественного образования (легочной гамартомы) и злокачественного новообразования (аденокарциномы, типичного/атипичного карцинома). Поскольку случайно выявленные одиночные образования/узелки в легких требуют клинического представления о дальнейшей тактике ведения пациента, это и создает запрос на неинвазивные методы определения природы выявленной патологии.

Использование ИИ на основе радиомики на сегодняшний день является перспективным для диагностики гамартом легких, учитывая результаты хоть и малочисленных, но ценных научных трудов. Сужение дифференциально-диагностического ряда для легочной гамартомы в рамках исследований оправдано потребностью клиницистов специализированных центров. В то же время при создании программного

обеспечения для рутинной идентификации гамартомы легкого необходимо учитывать профиль конечного потребителя, который будет пользоваться данным инструментом. Исходя из этого возрастает потребность в изучении радиомических признаков, отличающих гамартомы из структуры легочных очагов в целом.

Заключение

Неинвазивная дифференциальная диагностика очагов и образований в легких в настоящее время крайне актуальна. Выделение из структуры всех найденных очагов заведомо доброкачественных образований (гамартом) по данным компьютерной томографии поможет сократить количество ненужных верифицирующих операций, то есть принесет прямой экономический эффект. Научные публикации по данной проблематике и их результаты подтверждают перспективность изучения возможностей ИИ и радиомического анализа КТ-снимков в выявлении доброкачественных образований легких (гамартом). Валидация разработанных моделей рекомендована для всех исследований, однако последняя может быть ограничена в связи с малым количеством случаев верифицированной легочной гамартомы в одном учреждении, что подталкивает исследователей к созданию многоцентровой базы для более эффективного обучения ИИ на основе радиомики и проверки чувствительности, специфичности и точности диагностики.

Список литературы

1. *Elsayed H., Abdel Hady S.M., Elbastawisy S.E.* Is resection necessary in biopsy-proven asymptomatic pulmonary hamartomas? *Interact Cardiovasc. Thorac. Surg.* 2015 Dec; 21 (6): 773–776. doi: 10.1093/icvts/ivv266.
2. *Christiansen I.S., Clementsen P.F., Bodtger U., Naur T.M.H., Pietersen P.I., Laursen C.B.* Transthoracic ultrasound-guided biopsy in the hands of chest physicians — a stepwise approach. *Eur. Clin. Respir. J.* 2019 Feb 14; 6 (1): 1579632. doi: 10.1080/20018525.2019.1579632. PMID: 30815241; PMCID: PMC6383606.
3. *Skouras V.S., Gkiozos I., Charpidou A.G., Syrigos K.N.* Robotic Bronchoscopy in Lung Cancer Diagnosis. *Cancers (Basel)* 2024; 16 (6): 1179. Published 2024 Mar 17. doi: 10.3390/cancers16061179.
4. *Hughes J.H., Young N.A., Wilbur D.C., Renshaw A.A., Mody D.R.*; Cytopathology Resource Committee, College of American Pathologists. Fine-needle aspiration of pulmonary hamartoma: a common source of false-positive diagnoses in the College of American Pathologists Interlaboratory Comparison Program in Nongynecologic Cytology. *Arch Pathol Lab Med.* 2005; 129 (1): 19–22. doi: 10.5858/2005-129-19-FAOPHA.
5. *Gjevre J.A., Myers J.L., Prakash U.B.* Pulmonary hamartomas. *Mayo Clin Proc.* 1996 Jan; 71 (1): 14–20. doi: 10.4065/71.1.14.
6. *Winkelmann M.T., Gassenmaier S., Walter S.S., Artzner C., Nikolaou K., Bongers M.N.* Differentiation of Hamartomas and Malig-
- nant Lung Tumors in Single-Phased Dual-Energy Computed Tomography. *Tomography (Ann. Arbor, Mich.)*, 2024; 10 (2): 255–265. doi: 10.3390/tomography10020020.
7. *Grigoraş A., Amălinei C., Lovin C.S. et al.* The clinicopathological challenges of symptomatic and incidental pulmonary hamartomas diagnosis. *Rom J. Morphol Embryol.* 2022; 63 (4): 607–613. doi: 10.47162/RJME.63.4.02.
8. International Agency for Research on Cancer, World Health Organization, International Academy of Pathology. *Thoracic Tumours*. 5th ed. IARC; 2021: 154–155. ISBN 978-92-832-4506-3.
9. *Hochegger B., Nin C.S., Alves G.R. et al.* Multidetector Computed Tomography Findings in Pulmonary Hamartomas: A New Fat Detection Threshold. *J. Thorac Imaging.* 2016; 31 (1): 11–14. doi: 10.1097/RTI.0000000000000180.
10. *Takumi K., Nagano H., Harasawa T., Tabata K., Tokunaga T., Yoshiura T.* Pulmonary hamartoma: Feasibility of dual-energy CT detection of intranodular fat [published correction appears in *Radiol Case Rep.* 2023 Jan 24; 18 (3): 1394–1395]. *Radiol. Case Rep.* 2021; 16 (5): 1032–1036. Published 2021 Feb 24. doi: 10.1016/j.radcr.2021.01.062.
11. *Furuya K., Yasumori K., Takeo S. et al.* Lung CT: Part 1, Mimickers of lung cancer — spectrum of CT findings with pathologic correlation. *AJR Am. J. Roentgenol.* 2012; 199 (4): W454–W463. doi: 10.2214/AJR.10.7262.
12. *Ulas A.B., Aydin Y., Eroglu A.* Pulmonary Hamartomas: A Single-Center Analysis of 59 Cases. *Eurasian J. Med.* 2022; 54 (3): 270–273. doi: 10.5152/eurasianjmed.2022.21150.

13. Ryan J.W., Hammer M.M. Growth Rates of Pulmonary Carcinoid Tumors and Hamartomas. *J. Comput Assist Tomogr.* 2023; 47 (3): 396–401. doi: 10.1097/RCT.0000000000001413.
14. Lederlin M., Revel M.P., Khalil A., Ferretti G., Milleron B., Laurent F. Management strategy of pulmonary nodule in 2013. *Diagn Interv Imaging.* 2013; 94 (11): 1081–1094. doi: 10.1016/j.diii.2013.05.007.
15. Khansa R., Lupo A., Chassagnon G. Lung adenocarcinoma mimicking hamartoma on CT. *Diagn Interv Imaging.* 2021; 102 (9): 581–582. doi: 10.1016/j.diii.2021.02.009.
16. Potente G., Macori F., Caimi M., Mingazzini P., Volpino P. Non-calcified pulmonary hamartomas: computed tomography enhancement patterns with histologic correlation. *J. Thorac Imaging.* 1999; 14 (2): 101–104.
17. De Cicco C., Bellomi M., Bartolomei M. et al. Imaging of lung hamartomas by multidetector computed tomography and positron emission tomography. *Ann. Thorac. Surg.* 2008; 86 (6): 1769–1772. doi: 10.1016/j.athoracsur.2008.08.033.
18. Wang W., Song J., Shi J., Hu H., Wu Y., Yan J., Wu L., Chen Q. Slight uptake of 18F-FDG on positron emission tomography in pulmonary hamartoma: A case report. *Oncology letters* 2015; 10 (1), 430–432. <https://doi.org/10.3892/ol.2015.3245>.
19. Chang J.M., Lee H.J., Goo J.M. et al. False positive and false negative FDG-PET scans in various thoracic diseases. *Korean J. Radiol.* 2006; 7 (1): 57–69. doi: 10.3348/kjr.2006.7.1.57.
20. 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.
21. Zhang W., Guo Y., Jin Q. Radiomics and Its Feature Selection: A Review. *Symmetry* 2023; 15 (10): 1834. <https://doi.org/10.3390/sym15101834>.
22. Mayerhoefer M.E., Materka A., Langs G., Häggström I., Szczypińska P., Gibbs P., Cook G. Introduction to Radiomics. *Journal of nuclear medicine: official publication. Society of Nuclear Medicine* 2020; 61 (4), 488–495. <https://doi.org/10.2967/jnumed.118.222893>.
23. Xu Q.Q., Shan W.L., Zhu Y., Huang C.C., Bao S.Y., Guo L.L. Prediction efficacy of feature classification of solitary pulmonary nodules based on CT radiomics. *Eur. J. Radiol.* 2021; 139: 109667. doi: 10.1016/j.ejrad.2021.109667.
24. Zhang C.R., Wang Q., Feng H., Cui Y.Z., Yu X.B., Shi G.F. Computed-tomography-based radiomic nomogram for predicting the risk of indeterminate small (5–20 mm) solid pulmonary nodules. *Diagn. Interv. Radiol.* 2023; 29 (2): 283–290. doi: 10.4274/dir.2022.22395.
25. Liu J., Xu H., Qing H. et al. Comparison of Radiomic Models Based on Low-Dose and Standard-Dose CT for Prediction of Adenocarcinomas and Benign Lesions in Solid Pulmonary Nodules. *Front Oncol.* 2021; 10: 634298. Published 2021 Feb 2. doi: 10.3389/fonc.2020.634298.
26. Xu Y., Lu L., Sun S.H. et al. Effect of CT image acquisition parameters on diagnostic performance of radiomics in predicting malignancy of pulmonary nodules of different sizes. *Eur. Radiol.* 2022; 32 (3): 1517–1527. doi: 10.1007/s00330-021-08274-1.
27. Guan X., Wang S., Kuang P., Lu H., Zhang M., Qian D., Xu X. The Usefulness of Imaging Quantification in Discriminating Non-Calcified Pulmonary Hamartoma From Adenocarcinoma. *Front Oncol.* 2020 Oct 22; 10: 568069. doi: 10.3389/fonc.2020.568069.
28. Cangir A.K., Orhan K., Kahya Y., Uğurum Yüce A., Aktürk İ., Ozakinci H., Gursoy Coruh A., Dizbay Sak S. A CT-Based Radiomic Signature for the Differentiation of Pulmonary Hamartomas from Carcinoid Tumors. *Diagnosics (Basel)* 2022 Feb 5; 12 (2): 416. doi: 10.3390/diagnostics12020416.
29. Yang X., Li C., Hou J., Xiong Z., Lin H., Wu S., Yu X. Differentiating Peripherally Located Pulmonary Noncalcified Hamartoma From Carcinoid Using CT Radiomics Approaches. *J. Comput Assist Tomogr.* 2023 May-Jun 01; 47 (3): 402–411. doi: 10.1097/RCT.0000000000001414.
30. Habert P., Decoux A., Chermati L., Gibault L., Thomas P., Varoquaux A., Le Pimpec-Barthes F., Arnoux A., Juquel L., Chaumoitre K., Garcia S., Gaubert J.Y., Duron L., Fournier L. Best imaging signs identified by radiomics could outperform the model: application to differentiating lung carcinoid tumors from atypical hamartomas. *Insights Imaging* 2023 Sep 19; 14 (1): 148. doi: 10.1186/s13244-023-01484-9. PMID: 37726504; PMCID: PMC10509085.

Поступила в редакцию 28.02.2024 г.

Сведения об авторах:

Суворова Светлана Станиславовна — ординатор ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России; 191036; Санкт-Петербург, Лиговский пр., д. 2–4; e-mail: enigma5000cat@mail.ru; ORCID 0009-0006-3220-9716;

Смольникова Ульяна Алексеевна — кандидат медицинских наук, научный сотрудник Научно-исследовательской лаборатории математического моделирования и прогнозирования биомедицинских процессов ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России; 191036; Санкт-Петербург, Лиговский пр., д. 2–4; e-mail: ulamonika@mail.ru; ORCID 00000-0001-9568-3577;

Гаврилов Павел Владимирович — кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России; 191036, Санкт-Петербург, Лиговский пр., д. 2–4; e-mail: spbniiifrentgen@mail.ru; ORCID 0000-0003-3251-4084.