



МЕДИЦИНСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Научная статья.

УДК 616.24–006–079.4–082:614.21:616–002.5

<https://doi.org/10.52560/2713-0118-2022-3-51-66>

Диагностическая эффективность различных систем автоматического анализа рентгенограмм в выявлении периферических образований легких

У. А. Смольникова^{*,1}, П. В. Гаврилов^{1,2}, П. К. Яблонский^{1,2}

¹ ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России

² Санкт-Петербургский государственный университет

Реферат

Цель исследования — сравнительная оценка эффективности различных систем искусственного интеллекта для выявления очагов и округлых образований в легких. Для тестирования нами было выбрано четыре программных продукта на основе сверточных нейронных сетей, позиционирующих себя как системы автоматической оценки цифровых рентгенограмм легких. Для клинической оценки был использован метод аналитической валидации. Для тестирования было сформировано три выборки данных с различной распространенностью патологии (выборка 1–5150 рентгенограмм, распространенность патологических изменений 3 %; выборка 2–100 рентгенограмм, распространенность патологических изменений 6 %; выборка 3–300 рентгенограмм, распространенность патологических изменений 50 %). Ни один из программных продуктов не прошел порогового значения AUC 0,811 на всех трех выборках. Во всех трех выборках все программные продукты показали высокую специфичность и низкую чувствительность при выявлении округлых образований, что свидетельствует о редких случаях гипердиагностики и частых случаях гиподиагностики. Использование систем анализа цифровых рентгенологических изображений на основе технологии искусственного интеллекта является перспективным направлением повышения качества диагностики, в первую очередь при использовании их молодыми врачами-рентгенологами в качестве дополнительного второго мнения.

* Смольникова Ульяна Алексеевна, аспирант ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии».

Адрес: 191036, Санкт-Петербург, Лиговский пр., д. 2-4.

Телефон: +7 (812) 775-75-55. Электронная почта: ulamonika@mail.ru

ORCID.org/0000–0001–9568–3577.

Smolnikova Uliana Alekseevna, Postgraduate, St. Petersburg State Research Institute of Phthisiopulmonology, Russia.

Address: 2-4, Ligovskiy pr., St. Petersburg, 191036, Russia.

Phone number: +7 (812) 775-75-55. E-mail: ulamonika@mail.ru

ORCID.org/0000–0001–9568–3577

© У. А. Смольникова, П. В. Гаврилов, П. К. Яблонский.

Ключевые слова: рентгенография легких, округлые образования, скрининг, искусственный интеллект, сверточные нейронные сети.

Финансирование исследования и конфликт интересов

Исследование не финансировалось какими-либо источниками. Авторы заявляют, что данная работа, ее тема, предмет и содержание не затрагивают конкурирующих интересов. Мнения, изложенные в статье, принадлежат авторам рукописи. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

MEDICAL TECHNOLOGY

Scientific article.

Diagnostic Efficiency of Various Systems for Automatic Analysis of Radiographs in the Detection of Lung Nodule

U. A. Smolnikova^{*,1}, P. V. Gavrilov^{1,2}, P. K. Yablonskiy^{1,2}

¹ St. Petersburg State Research Institute of Phthiopolmonology, Russia

² St. Petersburg State University, Russia

Abstract

The purpose of the study was to compare the effectiveness of various artificial intelligence systems for detecting foci and rounded lesions in the lungs. For testing, we selected four software products based on convolutional neural networks, positioning themselves as a sensitive system for evaluating digital chest radiographs. An analytical validation method was used for clinical evaluation. For diagnostics, 3 data samples were formed with the identification of signs of diseases (sample 1–5150 radiographs, detection of pathological changes 3 %; sample 2–100 radiographs, detection of pathological changes 6 %; sample 3–300 radiographs, detection of the prevalence of pathological changes 50 %). None of the software products passed the AUC threshold of 0.811 on all three samples. In all three samples, all software products have high accuracy and high sensitivity in detecting round formations, which leads to rare cases of overdiagnosis and special cases of underdiagnosis. The use of digital X-ray image analysis systems based on artificial intelligence technologies is a promising direction for high-quality diagnostics, primarily when considering their young radiologists as an additional opinion.

Key words: X-ray of the Lungs, Lung Mass, Screening, Artificial Intelligence, Convolutional Neural Networks.

Research funding and conflict of interest

The study was not funded by any sources. The authors state that this work, its topic, subject and content do not affect competing interests. The opinions expressed in the article belong to the authors of the manuscript. The authors confirm the compliance of their authorship with the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, the preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Актуальность

Выявление очагов и округлых образований в легких при рентгенографии является одной из самых сложных проблем. Суммация теней органов и тканей при рентгенографии и невысокая ее разрешающая способность требуют большого опыта врачей в распознавании данной патологии. Известное исследование, проведенное в 1970 году в Японии, показало, что для достижения оптимального результата в трактовке флюорограмм необходим стаж работы более 10 лет с просмотром ежегодно более 20 000 таких исследований. И даже среди специалистов с таким стажем работы не было ни одного, кто не сделал бы как минимум двух ошибок [9].

Наше исследование, проведенное в 2019 году и основанное на результатах тестирования 60 врачей-рентгенологов, показало, что процент правильных ответов при разделении рентгенограмм легких в передней проекции с подозрением на округлое образование на норму и патологию составил в среднем только 73,4 % [2].

Один из инструментов, который предлагается в настоящее время для повышения эффективности обнаружения образований в легких при рентгенографии, — использование систем автоматического анализа изображений на основе технологии искусственного интеллекта.

В настоящее время существует большое количество программных продуктов для анализа рентгенограмм грудной клетки, которые, по заявлениям их разработчиков, позволяют добиться высокой точности анализа изображения, сопоставимой и превышающей показатели врачей-рентгенологов [7].

Внедрение таких систем потенциально предполагает достижение не-

скольких целей: сокращение времени на анализ рентгенограмм, уменьшение числа пропусков патологических изменений, снижение зависимости оценки рентгенограмм от усталости врача, возможность выявлять изменения, недоступные человеческому глазу [4].

Однако в литературе в настоящее время большинство данных об эффективности этих систем предоставлены самими разработчиками, существуют лишь единичные публикации, посвященные независимой оценке таких систем [5].

Цель: сравнительная оценка эффективности различных систем искусственного интеллекта для выявления очагов и округлых образований в легких.

Материалы и методы

Для тестирования нами было выбрано четыре программных продукта на основе сверточных нейронных сетей, позиционирующих себя как системы автоматической оценки цифровых рентгенограмм легких.

Критериями отбора программ для тестирования являлись:

1. Наличие свидетельства о регистрации программы для ЭВМ или патента.
2. Возможность тестового онлайн-доступа.
3. В описании программного продукта указана функция выявления округлых образований легких.

Всего, согласно критериям включения, было выбрано четыре программных продукта (3 системы отечественных разработчиков и 1 система иностранного производства).

Поскольку целью исследования ставилась общая оценка диагностических

показателей имеющихся в настоящее время систем, а не оценка того или иного продукта, все программы, включенные в исследование, были анонимизированы (А, В, С, D).

Для клинической оценки был использован метод аналитической валидации. Аналитическая валидация представляет собой такой тип валидации, при котором проводится оценка способности обеспечивать необходимые показатели диагностической эффективности выходных данных при заданных входных данных. При аналитической валидации проводится тестирование программного обеспечения на эталонных наборах данных, подготовленных в соответствии с клинической задачей, зарегистрированных надлежащим образом [6].

В данном исследовании использовались две базы лучевых изображений, разработанных в ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России.

База 1 состоит из 150 цифровых рентгенограмм легких в передней проекции с различными верифицированными периферическими образованиями в легких (свидетельство о регистрации базы данных RU-2019621712).

Распределение по нозологическим формам: туберкулез легких — 50 случаев (33 %), рак легкого — 74 случая (49 %), доброкачественные опухоли легких — 20 случаев (13 %), прочее (артериовенозная мальформация, бронхогенная киста, микобактериоз и др.) — 6 случаев (4 %).

По типу образований, согласно данным параллельно выполненным компьютерным томограмм органов грудной клетки, все образования распределе-

лись следующим образом: солидный тип — 132 случая (88 %), субсолидный тип — 16 случаев (11 %), образования по типу «матового стекла» — 2 случая (1 %).

По максимальному размеру образования распределялись следующим образом: до 10 мм — 5 случаев (3 %), размерами 10–30 мм — 98 случаев (6 %), размерами более 30 мм — 47 случаев (31 %).

База 2 состоит из 5000 цифровых рентгенограмм легких в передней проекции пациентов без патологических изменений в легких (свидетельство о регистрации базы данных RU-2019622406).

Для тестирования было сформировано 3 выборки данных с различной распространенностью патологии.

Выборка 1–5150 рентгенограмм, из них 5000 цифровых рентгенограмм легких без патологических изменений в легочной ткани и 150 цифровых рентгенограмм с синдромом округлого образования легочной ткани (распространенность патологических изменений 3 %).

Выборка 2–100 рентгенограмм, соотношение норма — патология составила 94 % — 6 % (6 человек с подтвержденным наличием синдрома округлого образования в легких и 94 человека без значимой рентгенологической патологии) — распространенность патологических изменений 6 %.

Выборка 3–300 рентгенограмм, из них 150 цифровых рентгенограмм легких без патологических изменений в легочной ткани и 150 цифровых рентгенограмм с синдромом округлого образования легочной ткани — распространенность патологических изменений 50 %.

Наличие трех разных выборок было обусловлено имеющимися в литературе данными о наличии различий в показателях чувствительности и специ-

фичности одних и тех же программных продуктов при различном уровне распространенности патологических изменений [8].

Выборки 1 и 2 с преобладанием снимков без патологических изменений в большей степени характерны для модели рентгенологического скрининга, в том числе выборка 2 объемом 100 снимков. Выборка 3 отражает характер распределения нормы/патологии диагностического пульмонологического центра, пациенты которого зачастую уже имеют определенный набор жалоб и патологические изменения в легочной ткани.

Выборка 1 была проверена только на двух программных продуктах (А, В) в связи с ограничением количества загружаемых изображений в рамках тестового доступа к 2 из 4 систем (С, D).

Выборки 2 и 3 были протестированы на всех 4 системах ввиду небольшого количества изображений, укладываемых в предоставленный объем для тестового доступа к программным продуктам.

В более раннем нашем исследовании на одном из программных продуктов отмечалось снижение показателя чувствительности на фоне снижения распространенности [3].

Проводилась оценка показателей эффективности выявления округлых образований в легких на цифровых рентгенограммах в передней прямой проекции (чувствительность, специфичность, отношение правдоподобия положительного результата, отношение правдоподобия отрицательного результата, прогностическая ценность положительного результата, прогностическая ценность отрицательного результата, точность). Дополнительно

нами были построены графики, позволяющие оценить качество бинарной классификации, — характеристические кривые (ROC-кривые) [1].

При анализе (ROC-кривые) использовались следующие критерии качества модели.

Площадь под кривой (AUC) оценивается в диапазоне 0–1:

< 0,6 — непригодно;

0,61–0,8 — требуется доработка;

> = 0,81 — может быть допущено к клинической валидации [6].

Результаты и их обсуждение

Результаты анализа выборки 1 (распространенность патологических изменений 3 %, $n = 5150$) и характеристические кривые представлены в табл. 1 и на рис. 1.

Следует отметить, что согласно представленным клиническим рекомендациям [6] только программа А могла быть допущена к дальнейшей клинической валидации, получив AUC — 0,825. Программа В получила меньшее значение AUC — 0,723, не преодолев допустимый порог AUC — 0,810, что является основанием для рекомендации по доработке данного программного продукта.

При этом обе программы показали высокую специфичность (96 и 91 %) и невысокую чувствительность (55 и 54 %).

Наряду с этим у обеих программ отмечается высокое значение показателя отношения правдоподобия положительного результата — 12,633 и 5,732 соответственно.

Следующим этапом был проведен анализ выборки 2 с увеличением показателя распространенности патологии в 2 раза (выборка 2, распространенность патологических изменений 6 %, $n = 100$, табл. 2, рис. 2).

Таблица 1

**Показатели диагностической эффективности программ А и В
при анализе изображений выборки 1**

Показатель диагностической эффективности	Программа А	Программа В
a (TP) истинно положительные	83	81
b (FP) ложноположительные	219	471
c (FN) ложноотрицательные	67	69
d (TN) истинно отрицательные	4781	4529
Чувствительность	55 %	54 %
Специфичность	96 %	91 %
Отношение правдоподобия положительного результата	12,633	5,732
Отношение правдоподобия отрицательного результата	0,467	0,508
Прогностическая ценность положительного результата	0,275	0,147
Прогностическая ценность отрицательного результата	0,986	0,985
Точность	94 %	90 %

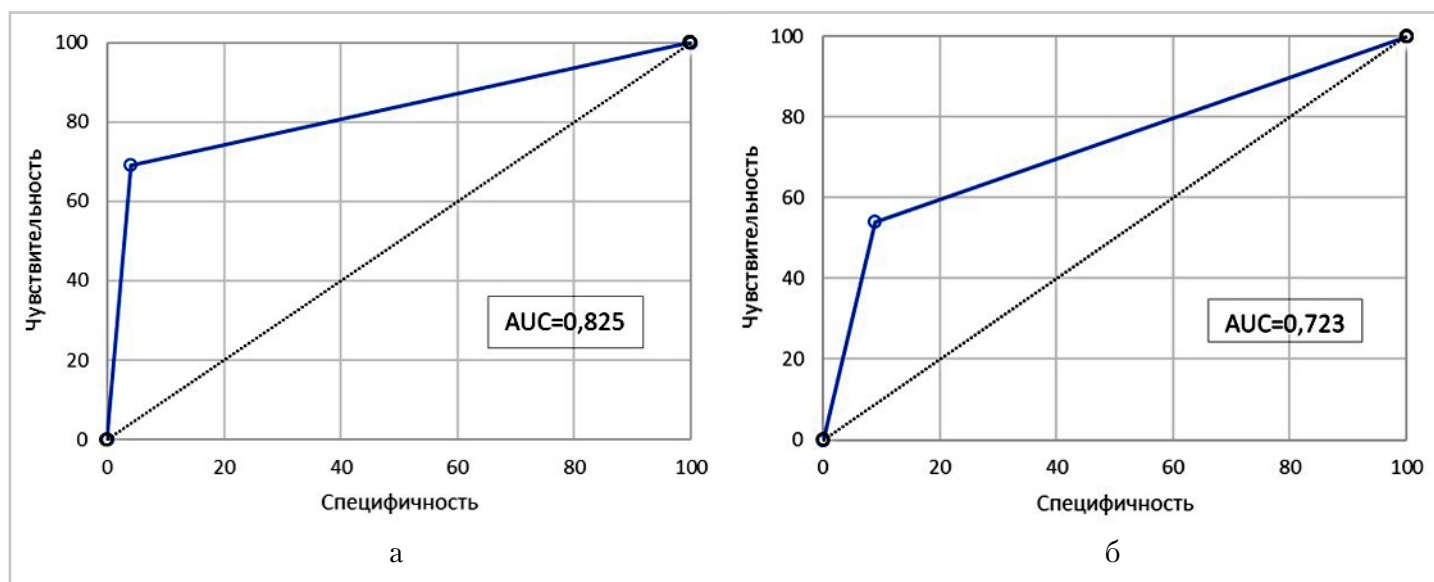


Рис. 1. ROC-кривые программы А (а) и программы В (б)

Таблица 2

**Показатели диагностической эффективности программ А, В, С, D
при анализе изображений выборки 2**

Показатель диагностической эффективности	Программа А	Программа В	Программа С	Программа D
a (TP) истинно положительные	3	3	4	4
b (FP) ложноположительные	1	0	9	9
c (FN) ложноотрицательные	3	3	2	2
d (TN) истинно отрицательные	93	94	85	85
Чувствительность	50 %	50,0 %	66,7 %	66,7 %
Специфичность	99 %	100 %	90 %	90 %
Отношение правдоподобия положительного результата	47,00		6,963	6,963
Отношение правдоподобия отрицательного результата	0,505	0,500	0,369	0,369
Прогностическая ценность положительного результата	0,750	1,000	0,308	0,308
Прогностическая ценность отрицательного результата	0,969	0,969	0,977	0,977
Точность	96 %	97 %	89 %	89 %

В условиях увеличения показателя распространенности патологии программа А также может быть допущена к клинической валидации (AUC — 0,911), при

этом следует отметить, что показатель площади под кривой несколько увеличился по сравнению с результатами исследования на предыдущей выборке 1.

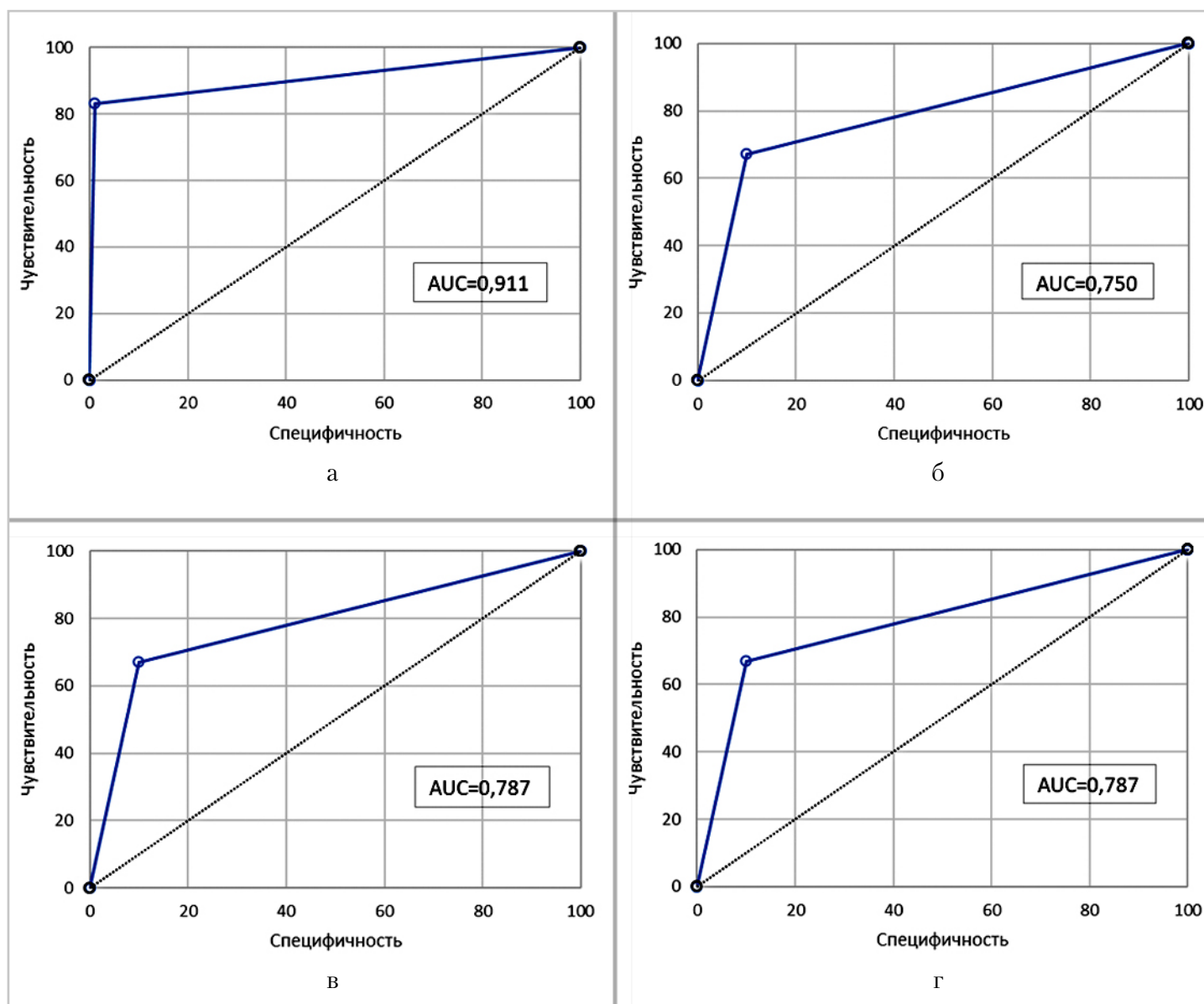


Рис. 2. ROC-кривые программы А (а), программы В (б), программы С (в), программы D (г)

Программа В получила чуть более высокое значение AUC — 0,750 при анализе выборки 2, но также не получила допуск к клинической валидации.

Остальные программы С и D получили показатель AUC, близкие к пороговому значению, необходимому для допуска к клинической валидации, но не преодолев его (AUC — 0,787 в обоих случаях).

Также отмечается наличие высоких показателей специфичности у всех четырех программ (90–100 %), что коррелирует с показателями прогностической ценности отрицательного результата от 0,969 до 0,977. Также у всех программных продуктов была невысокая чувствительность — от 50 до 66,7 %, что отразилось на довольно низком показателе прогностической ценности положитель-

ного результата (от 0,308 у программ С и D до 1,000 у программы В). Как и при анализе выборки 1, во всех случаях получено высокое отношение правдоподобия положительного результата.

Наибольшее число ошибочных интерпретаций было при анализе

рентгенограмм пациентов с двумя периферическими аденокарциномами верхней доли правого легкого и левого легкого размерами 18 и 8 мм — 3 из 4 программных продуктов неверно определили данные снимки как норму (рис. 3, 4).

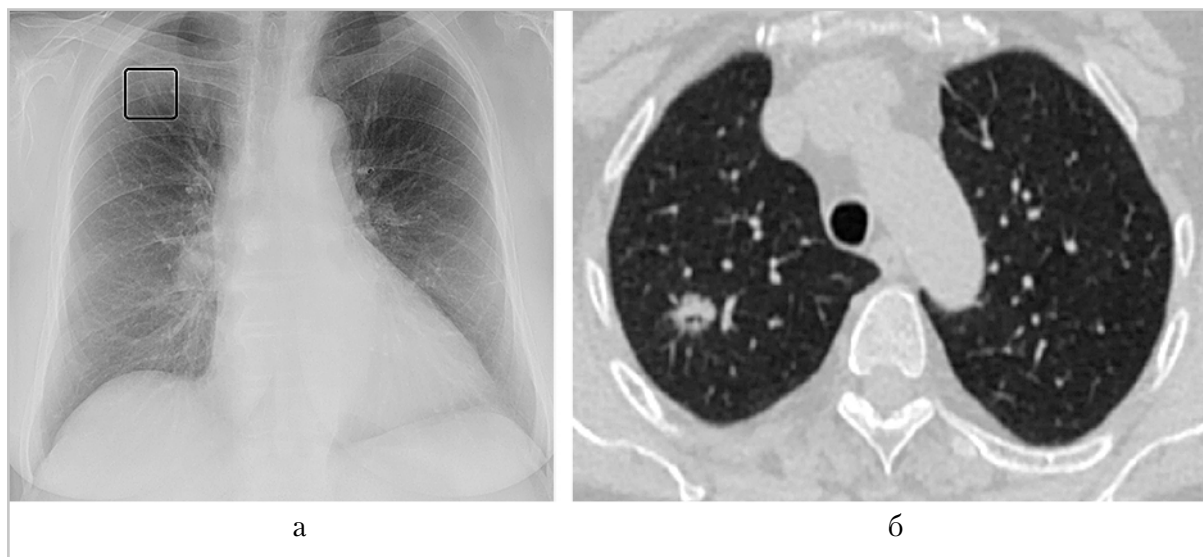


Рис. 3. Данные лучевых изображений пациента с периферической аденокарциномой верхней доли правого легкого

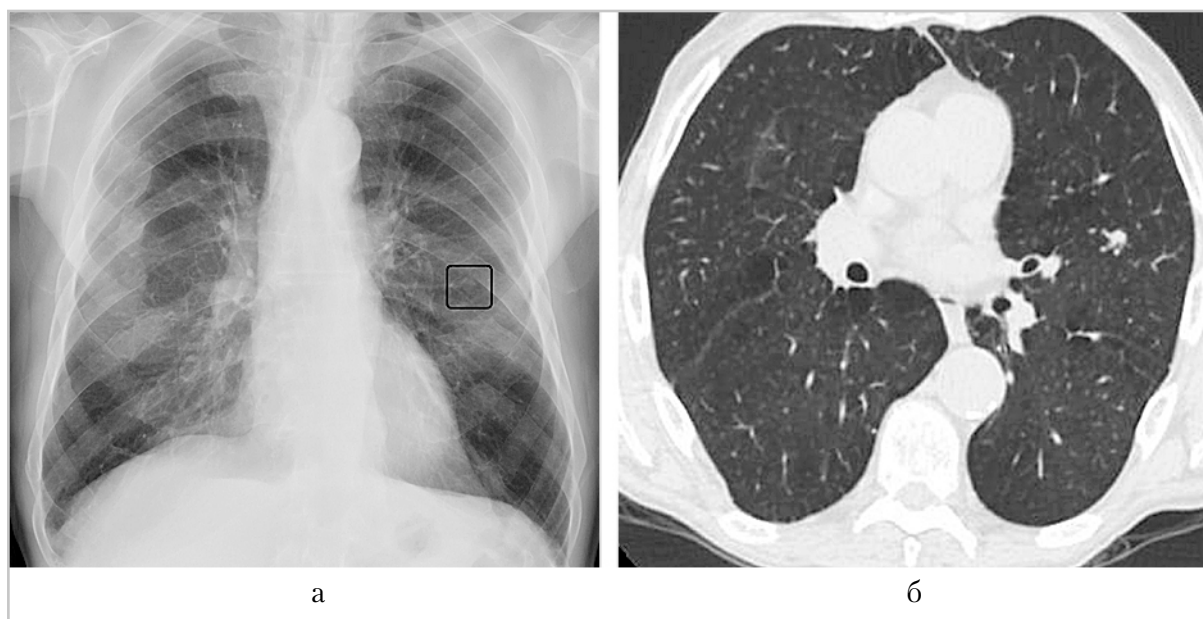


Рис. 4. Данные лучевых изображений пациента с периферической аденокарциномой верхней доли левого легкого

На третьем этапе был проведен анализ выборки с увеличением распространенности патологии до 50 % (выборка 3, $n = 150$), результаты которого представлены в табл. 3 и на рис. 5.

По результатам анализа рентгенограмм из выборки 3 показатели площа-

ди под кривой существенно изменились. Так, программа А, по результатам предыдущих двух экспериментов показывающая положительный результат, не прошла пороговое значение допуска к клинической валидации, получив значение AUC — 0,770.

Таблица 3

**Показатели диагностической эффективности программ А, В, С, D
при анализе изображений выборки 3**

Показатель диагностической эффективности	Программа А	Программа В	Программа С	Программа D
a (TP) истинно положительные	83	81	111	131
b (FP) ложноположительные	1	0	16	14
c (FN) ложноотрицательные	67	69	39	19
d (TN) истинно отрицательные	149	150	134	136
Чувствительность	55 %	54 %	74 %	87 %
Специфичность	99 %	100 %	89 %	91 %
Отношение правдоподобия положительного результата	83,000		6,938	9,357
Отношение правдоподобия отрицательного результата	0,450	0,460	0,291	0,140
Прогностическая ценность положительного результата	0,988	1,000	0,874	0,903
Прогностическая ценность отрицательного результата	0,690	0,685	0,775	0,877
Точность	77 %	77 %	82 %	89 %

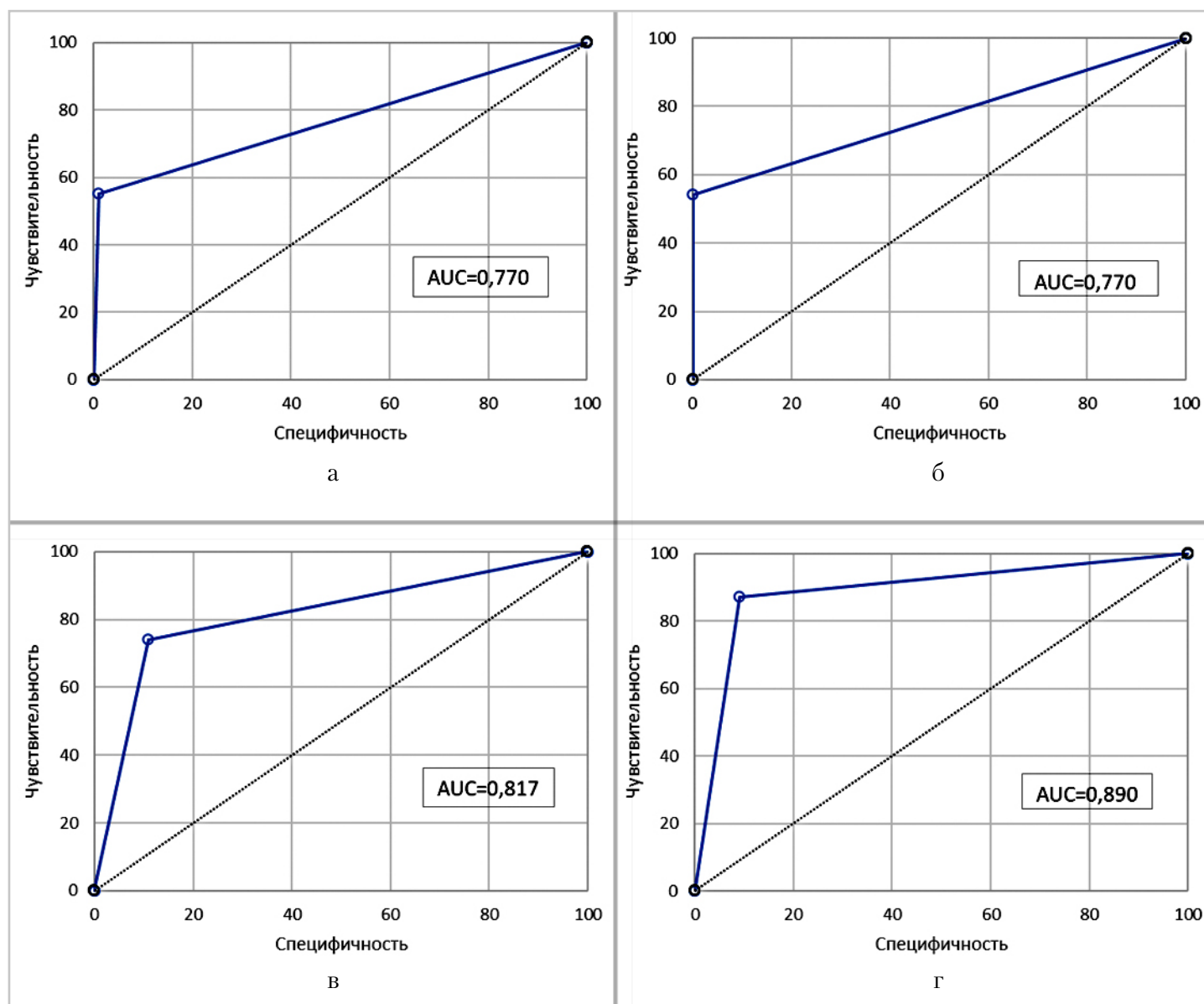


Рис. 5. ROC-кривые программы А (а), программы В (б), программы С (в), программы D (г)

Наряду с этим программы С и D, не прошедшие данный порог на выборке 2, показали хороший результат, получив значение AUC — 0,817 и 0,890.

Программа В, как и в первых двух тестах, была близка к пороговому значению, но не достигла его (AUC — 0,770).

Как и в предыдущих двух тестах, у всех программ отмечались высокие показатели специфичности (89–100 %) и

невысокие показатели чувствительности — от 55 до 77 %. Следует отметить, что программы С и D на выборке 3 с большим количеством патологии существенно увеличили показатель чувствительности — 74 против 66,7 % программы С и 87 против 66,7 % для программы D.

Был верно интерпретирован в среднем среди четырех программ 81 % сним-

ков. Показатель гипердиагностики составил 5 %. Показатель расхождения результатов интерпретации рентгенограмм составил 66 %, то есть в 66 % при анализе одного и того же снимка результаты программы различались.

Показатель гиподиагностики составил в среднем 32 %, при этом 45 % из которых были рентгенограммы пациентов с раком легкого. Среди случаев гиподиагностики в 11 % снимков патология была пропущена всеми четырьмя программными продуктами. Большая часть ошибочных интерпретаций была среди снимков с образованиями солидной структуры (64 %), образованиями размерами 10–30 мм (73 %) и локализацией патологии во 2,4 сегменте правого легкого и 2-м сегменте левого легкого, что соответствовало на рентгенограммах суммации тени образований и тени ребер, ключиц и корней легких.

Программой А было пропущено 40 % всех случаев туберкулеза и 43 % всех случаев рака легкого. Программой В было пропущено 44 % всех случаев туберкулеза и 42 % случаев рака легкого. Наименьшее количество случаев гиподиагностики было получено при анализе исследований программами С и D – 6 и 2 % случаев туберкулеза и 28 и 12 % случаев рака легкого соответственно.

Обсуждение

По результатам проведенного нами исследования очевидна разница в полученных результатах у всех четырех программных продуктов. Следует отметить, что ни один из программных продуктов не прошел порогового значения AUC – 0,811 на всех трех выборках.

Программа А преодолела допустимый порог по значению AUC (0,825 на

выборке 1 и 0,911 на выборке 2), но оказалась недостаточно эффективной при тестировании на выборке 3 (0,770). Таким образом, данная программа может в дальнейшем проходить клиническую валидацию для использования при скрининговых исследованиях органов грудной клетки, но ее использование в диагностических пульмонологических центрах, где предполагается большой процент пациентов с патологическими изменениями в легких (пациенты с клинической симптоматикой заболеваний органов дыхания), не будет эффективным.

Программы С и D не прошли диагностического порога на выборке 2 (модель скрининга), но показали хорошие результаты на выборке 3 (модель диагностического пульмонологического центра). Таким образом, применение этих программ будет более целесообразно в группах пациентов с клинической симптоматикой и нецелесообразно при скрининговых исследованиях.

Программа В не преодолела допустимый порог значений AUC (0,723–0,770) ни на одном наборе данных, что требует ее доработки производителем.

По результатам исследования программы D было выявлено наименьшее количество пропусков патологии среди всех 4 программных продуктов на выборке 3 (модель диагностического пульмонологического центра).

Выявленные различия в полученных результатах диагностической эффективности обуславливают необходимость выбора программного продукта конкретно под задачи и специфичность исследований для каждого конкретного учреждения. Вариабельное соотношение нормы и патологии в рутинной выборке разных учреждений оказывает

существенное влияние на диагностическую ценность одних и тех же систем, при этом сами разработчики зачастую не указывают, для каких условий и распределения нормы/патологии их продукт был разработан.

Во всех трех выборках все программные продукты показали высокую специфичность и низкую чувствительность при выявлении округлых образований на рентгенограмме легких в передней проекции, что говорит о том, что при выявлении патологии программным продуктом высока вероятность истинного наличия патологических изменений в легких. При этом полученный отрицательный результат наличия патологии в меньшей степени является достоверным и требует пересмотра врачом-рентгенологом в связи с высокой вероятностью гиподиагностики.

Преимуществами программных продуктов являются высокая работоспособность и высокая производительность в сочетании с отсутствием человеческого фактора, негативно влияющего на конечный результат интерпретации.

Следует отметить, что показатели диагностической точности всех программных продуктов сопоставимы с результатами тестирования врачей-рентгенологов, полученными нами в предыдущем исследовании, где показатели чувствительности и специфичности при тестировании врачей-рентгенологов составили 76,0 и 72,3 % соответственно.

При этом системы искусственного интеллекта не превзошли ожиданий по качеству интерпретации цифровых рентгенограмм, и в настоящее время не решив существующие проблемы раннего выявления рака легкого, выявления образований малых размеров и сложности анализа наиболее проблемных

участков рентгенограмм легких при локализации образований за тенью ребер, ключиц и корней легких.

Ограничениями нашего исследования является: тестирование программных продуктов с целью выявления только одного патологического синдрома; ограниченный набор моделей рентгенологических аппаратов, на которых выполнялись рентгенограммы, вошедшие в базы данных (5 различных моделей); невозможность протестировать все программные продукты на всем объеме баз данных ($n = 5150$).

Заключение

Использование систем анализа цифровых рентгенологических изображений на основе технологии искусственного интеллекта является перспективным направлением повышения качества диагностики, в первую очередь при использовании их молодыми врачами-рентгенологами в качестве дополнительного второго мнения.

Имеющиеся в настоящий момент программные продукты существенно различаются по показателям диагностической эффективности.

При выборе программного продукта, кроме показателей диагностической эффективности, представленных производителем и данными независимых испытаний, следует обращать внимание на характер выборки, на которых проводилось тестирование. Результаты диагностической эффективности существенно зависят от соотношения нормы/патологии в тестовых наборах данных.

В настоящий момент большинство программных продуктов показывают высокие показатели специфичности и невысокие показатели чувствительности, что свидетельствует о редких случа-

ях гипердиагностики и частых случаях гиподиагностики.

Для более достоверного понимания диагностических возможностей данных программных продуктов следует продолжать клинические испытания как методом аналитической валидации на различных выборках, так и методом клинической валидации.

Список литературы

1. Васильев А. Ю., Малый А. Ю., Серова Н. С. Анализ данных лучевых методов исследования на основе принципов доказательной медицины: учебное пособие. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008. 32 с.
2. Гаврилов П. В., Ушков А. Д., Смольникова У. А. Выявление округлых образований в легких при цифровой рентгенографии: роль опыта работы врача-рентгенолога // Медицинский альянс. 2019. № 2. С. 51–56.
3. Гаврилов П. В., Смольникова У. А. Оценка диагностической точности системы автоматического анализа цифровых рентгенограмм легких при выявлении округлых образований // Альманах клинической медицины. 2021. Т. 49. № 6. С. 359–364.
4. Мелдо А. А., Уткин Л. В., Трофимова Т. Н. Искусственный интеллект в медицине: современное состояние и основные направления развития интеллектуальной диагностики // Лучевая диагностика и терапия. 2020. Т. 11. № 1. С. 9–17.
5. Морозов С. П., Владимирский А. В., Ледихова Н. В., Соколова И. А., Кульберг Н. С., Гомболевский В. А. Оценка диагностической точности системы скрининга туберкулеза легких на основе искусственного интеллекта // Туберкулез и болезни легких. 2018. Т. 96. № 8. С. 42–49.
6. Морозов С. П., Владимирский А. В., Кляшторный В. Г., Андрейченко А. Е., Кульберг Н. С., Гомболевский В. А. Клинические испытания программного обеспечения на основе интеллектуальных технологий (лучевая диагностика) // М. Сер. Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики. Вып. 23. 2019. 34 с.
7. Морозов С. П., Кокина Д. Ю., Павлов Н. А., Курпичев Ю. С., Гомболевский В. А., Андрейченко А. Е. Клинические аспекты применения искусственного интеллекта для интерпретации рентгенограмм органов грудной клетки // Туберкулез и болезни легких. 2021. Т. 99. № 4. С. 58–64.
8. Lee J. H., Sun H. Y., Park S., Kim H., Hwang E. J., Goo J. M., Park C. M. Performance of a Deep Learning Algorithm Compared with Radiologic Interpretation for Lung Cancer Detection on Chest Radiographs in a Health Screening Population. Radiol. 2020 Dec; 297(3): 687–696. doi: 10.1148/radiol.2020201240
9. Nakamura K. et al. Studies on the diagnostic value of 70 mm radiophotograms by mirror camera and the reading ability of physicians. Kekkaku. 1970. V. 45. No. 4. C. 121–128.

References

1. Vasil'ev A. Yu., Maliy A. Yu., Serova N. S. Analysis of data from radiation research methods based on the principles of evidence-based medicine Moscow: GEOTAR-Media. 2008. 32 p. (in Russian).
2. Gavrilov P. V., Ushkov A. D., Smolnikova U. A. Detection of lumps in the lungs with digital X-ray: the role of the work experience of the radiologist. Medical alliance. 2019. No. 2. P. 51–56 (in Russian).
3. Gavrilov P. V., Smolnikova U. A. Evaluation of diagnostic accuracy of the automatic

- system for the analysis of digital lung X-ray for detection of spherical masses. Almanac of Clinical Medicine. 2021. V. 49. No. 6. P. 359–364 (in Russian). doi:10.18786/2072-0505-2021-49-035.
4. *Meldo A. A., Utkin L. V., Trofimova T. N.* Artificial intelligence in medicine: modern condition and the main directions of development. Radiation diagnostics and therapy. 2020. No. 1. P. 9–17 (in Russian). doi:10.22328/2079-5343-2020-11-1-9-17.
 5. *Morozov S. P., Vladzimirskiy A. V., Ledikhova N. V., Sokolina I. A., Kulberg N. S., Gombolevskiy V. A.* Evaluation of diagnostic accuracy of the system for pulmonary tuberculosis screening based on artificial neural networks. Tuberculosis and Lung Diseases. 2018. V. 96 (8). P. 42–49 (in Russian). doi.org/10.21292/2075-1230-2018-96-8-42-49.
 6. *Morozov S. P., Vladzimirskii A. V., Klyash-tornyi V. G., Andreichenko A. E., Kulberg N. S., Gombolevskii V. A.* Clinical Trials of Intelligent Software (radiation diagnostics). Series «Best Practices in Radiation and Instrumental Diagnostics». M., 2019. 34 p. (in Russian).
 7. *Morozov S. P., Kokina D. Yu., Pavlov N. A., Kirpichev Yu. S., Gombolevskiy V. A., Andreychenko A. E.* Clinical aspects of using artificial intelligence for the interpretation of chest X-rays. Tuberculosis and Lung Diseases. 2021. V. 99 (4). P. 58–64 (in Russian). https://doi.org/10.21292/2075-1230-2021-99-4-58-64
 8. *Lee J. H., Sun H. Y., Park S., Kim H., Hwang E. J., Goo J. M., Park C. M.* Performance of a Deep Learning Algorithm Compared with Radiologic Interpretation for Lung Cancer Detection on Chest Radiographs in a Health Screening Population. Radiol. 2020 Dec; 297(3): 687–696. doi: 10.1148/radiol.2020201240
 9. *Nakamura K. et al.* Studies on the diagnostic value of 70 mm radiophotograms by mirror camera and the reading ability of physicians. Kekkaku. 1970. V. 45. No. 4. P. 121–128.

Сведения об авторах

Смоляникова Ульяна Алексеевна, аспирант ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии».

Адрес: 191036, Санкт-Петербург, Лиговский пр., д. 2-4.

Телефон: +7 (812) 775-75-55. Электронная почта: ulamonika@mail.ru

ORCID.org/0000-0001-9568-3577

Вклад автора: анализ литературы, написание текста, участие в сборе материала, участие в обработке материала и обсчете статистических показателей, формирование заключения и выводов по материалу.

Smol'nikova Uliana Alekseevna, Postgraduate, St. Petersburg State Research Institute of Phthisiopulmonology, Russia.

Address: 2-4, Ligovskiy pr., St. Petersburg, 191036, Russia.

Phone number: +7 (812) 775-75-55. E-mail: ulamonika@mail.ru

ORCID.org/0000-0001-9568-3577

Author's contribution: literature analysis, text writing, participation in the collection of material, participation in the processing of the material and calculation of statistical indicators, formation of conclusions and conclusions on the material.

Гаврилов Павел Владимирович, кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник, руководитель направления «Лучевая диагностика» ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России.

Адрес: 191036, г. Санкт-Петербург, Лиговский пр., д. 2-4.
Телефон: +7 (812) 775-75-55. Электронная почта: spbniifrentgen@mail.ru
ORCID.org/0000-0003-3251-4084

Вклад автора: анализ литературы, написание текста, участие в обработке материала и обсчете статистических показателей, формирование заключения и выводов по материалу.

Gavrilov Pavel Vladimirovich, Ph. D. Med., Leading Researcher, Head of the Department of Radiology Saint-Petersburg State Research Institute of Phthisiopulmonology.

Address: 2-4, Ligovsky pr., St. Petersburg, 191036, Russia.
Phone number: +7 (812) 775-75-55. E-mail: spbniifrentgen@mail.ru
ORCID.org/0000-0003-3251-4084

Author's contribution: literature analysis, text writing, participation in the processing of the material and calculation of statistical indicators, formation of conclusions and conclusions on the material.

Яблонский Петр Казимирович, доктор медицинских наук, профессор, директор ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России.

Адрес: 191036, г. Санкт-Петербург, Лиговский пр., д. 2-4.
Телефон: +7 (812) 775-75-55. Электронная почта: glhirurg2@mail.ru
ORCID.org/0000-0003-4385-9643

Вклад автора: формирование заключения и выводов по материалу, одобрение окончательной версии статьи перед ее подачей для публикации.

Yablonskiy Petr Kazimirovich, M. D. Med., Professor, Director Saint-Petersburg State Research Institute of Phthisiopulmonology.

Address: 2-4, Ligovsky pr., St. Petersburg, 191036, Russia.
Phone number: +7 (812) 775-75-55. E-mail: glhirurg2@mail.ru
ORCID.org/0000-0003-4385-9643

Author's contribution: formation of conclusions and conclusions on the material, approval of the final version of the article before submitting it for publication.

Дата поступления статьи в редакцию издания: 12.04.2022

Дата одобрения после рецензирования: 13.05.2022

Дата принятия статьи к публикации: 16.05.2022