



## Искусственный интеллект в скрининге рака легкого: оценка диагностической точности алгоритма для анализа низкодозовых компьютерных томографий

С. П. МОРОЗОВ<sup>1</sup>, А. В. ВЛАДИМИРСКИЙ<sup>1</sup>, В. А. ГОМБОЛЕВСКИЙ<sup>1</sup>, В. Г. КЛЯШТОРНЫЙ<sup>1</sup>, И. А. ФЕДУЛОВА<sup>2</sup>, Л. А. ВЛАСЕНКОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ГБУЗ г. Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ», Москва, РФ  
<sup>2</sup>ООО «Филипп Инновационные Лаборатории РУС», Москва, РФ

РЕЗЮМЕ

Проведена независимая оценка диагностической точности алгоритма искусственного интеллекта для выявления очагов поражения на низкодозовых компьютерных томограммах. Использован датасет, сформированный в рамках программы скрининга рака легкого в г. Москве. Определены следующие показатели: чувствительность – 0,817%, специфичность – 0,925%, точность – 0,860%, площадь под характеристической кривой – 0,930. Высокие показатели точности, полученные при независимом тестировании, свидетельствуют о хорошей воспроизводимости результатов работы искусственного интеллекта на независимых данных, относящихся к популяции г. Москвы.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, рак легкого, скрининг, низкодозовая компьютерная томография, точность

**Для цитирования:** Морозов С. П., Владимирский А. В., Гомболевский В. А., Кляшторный В. Г., Федуллова И. А., Власенков Л. А. Искусственный интеллект в скрининге рака легкого: оценка диагностической точности алгоритма для анализа низкодозовых компьютерных томографий // Туберкулёз и болезни лёгких. – 2020. – Т. 98, № 8. – С. 24-31. <http://doi.org/10.21292/2075-1230-2020-98-8-24-31>

## Artificial intelligence in lung cancer screening: assessment of the diagnostic accuracy of the algorithm analyzing low-dose computed tomography

S. P. MOROZOV<sup>1</sup>, A. V. VLADZIMIRSKIY<sup>1</sup>, V. A. GOMBOLEVSKIY<sup>1</sup>, V. G. KLYASHTORNY<sup>1</sup>, I. A. FEDULOVA<sup>2</sup>, L. A. VLASENKOV<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Moscow Scientific Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedical Technology, Moscow, Russia  
<sup>2</sup>Philips Innovation Labs Rus, Moscow, Russia

ABSTRACT

The diagnostic accuracy of the artificial intelligence algorithm aimed to detect lesions on low-dose computer tomograms has been independently assessed. The dataset formed as part of the lung cancer screening program in Moscow was used. The following indicators have been defined: sensitivity – 0.817%, specificity – 0.925%, accuracy – 0.860%, area under the characteristic curve – 0.930. High accuracy rates demonstrated through the independent assessment indicate a good reproducibility of the results by artificial intelligence using independent data about the population of Moscow.

**Key words:** artificial intelligence, lung cancer, screening, low-dose computed tomography, accuracy

**For citations:** Morozov S.P., Vladzimirskiy A.V., Gombolevskiy V.A., Klyashtorny V.G., Fedulova I.A., Vlasenkov L.A. Artificial intelligence in lung cancer screening: assessment of the diagnostic accuracy of the algorithm analyzing low-dose computed tomography. *Tuberculosis and Lung Diseases*, 2020, Vol. 98, no. 8, P. 24-31. (In Russ.) <http://doi.org/10.21292/2075-1230-2020-98-8-24-31>

### Для корреспонденции:

Владимирский Антон Вячеславович  
E-mail: a.vladzimirsky@npcmr.ru

### Correspondence:

Anton V. Vladzimirskiy  
Email: a.vladzimirsky@npcmr.ru

В ряду многочисленных онкологических заболеваний злокачественные новообразования (ЗНО) легких отличаются агрессивным течением и высоким уровнем летальности. Распространенность и сложность лечения сделали рак легкого одной из ключевых проблем современного здравоохранения. Наибольшие шансы для положительного исхода дает только выявление болезни на ранних стадиях, поэтому во многих странах мира осуществляются программы скрининга рака легкого, основанные на низкодозовой компьютерной томографии (НДКТ). Эффективность такого скрининга подтверждается достоверным снижением летальности [12, 13, 18-20]. В 2017 г. организован проект «Московский скрининг рака легкого с помощью НДКТ», организационные аспекты и показатели эффективности которого опубликованы ранее (в частности, показано повышение выявляемости ЗНО легких

на I–II стадиях) [1, 3]. Основным результатом проекта можно считать обоснование необходимости масштабирования его принципов и методологии. Однако, по предварительным подсчетам, расширение программы скрининга на общегосударственный уровень потребует дополнительно участия 2,4 тыс. врачей-рентгенологов достаточной квалификации. По данным научных публикаций, в сфере лучевой диагностики сложился дисбаланс между оснащенностью аппаратурой и обеспеченностью кадрами [4-6]. В этих условиях изыскать дополнительные людские ресурсы практически невозможно. Этим объясняется необходимость внедрения современных методов цифровизации, в частности интеллектуальных технологий, для автоматизации первичного анализа НДКТ в программах скрининга.

Сейчас искусственный интеллект (ИИ) проходит фазу становления в лучевой диагностике: интенсив-

но разрабатываются математические и технические аспекты, проводятся клинические испытания, обсуждаются вопросы нормативно-правового обеспечения, этики, качества и безопасности [21].

Еще в 2005 г. разработана нейронная сеть для классификации злокачественных и доброкачественных очагов при НДКТ. Точность ее работы характеризовалась показателем «площадь под характеристической кривой», равным 0,882 [22]. В этой разработке был минимальный объем датасета для обучения (данные 73 пациентов) и отсутствовала внешняя валидация. В настоящее время успешно применяются различные САД-системы, повышающие точность выявления очагов и снижающие риски их пропуска (особенно при массовых обследованиях). Есть данные, свидетельствующие о том, что использование САД-систем отличается большей чувствительностью при выявлении очагов в легких, чем двойное чтение низкодозовых компьютерных томограмм. Вместе с тем на результативность применения таких цифровых инструментов влияют индивидуальные особенности – толщина слоя, доза, локализация и размер очагов [7, 15].

Предлагаются алгоритмы шумоподавления, повышения диагностической значимости НДКТ путем обогащения данными из стандартных компьютерных томограмм, создания реконструкций [10, 24, 25].

Ведутся разработки по автоматизации выявления очагов на основе сверхточных нейронных сетей. Задачами таких алгоритмов преимущественно являются следующие: детекция очагов, определение злокачественности очагов. В настоящее время большинство исследователей сосредоточены именно на первой задаче [8, 11].

Предложен алгоритм для анализа стандартных компьютерных томограмм грудной клетки для выявления очагов в легких и снижения трудозатрат врача, связанных с анализом и описанием изображений. Достигнуты следующие значения диагностической ценности: чувствительность – 95,2-96,4%, специфичность – 93,2-95,6%, согласованность (каппа Коэна) – 0,926-0,938. Лучшие значения достигнуты для исследований с толщиной слоя 1 мм, чем с толщиной 5 мм [16]. При этом данная разработка не предназначена для НДКТ, что ограничивает ее применение в программах скрининга.

Таким образом, отмечается явный дефицит достаточно валидированных разработок в сфере анализа низкодозовых компьютерных томограмм легких.

Несколько месяцев назад международной командой исследователей опубликованы данные разработки и тестирования алгоритма ИИ для анализа низкодозовых компьютерных томограмм легких, получаемых в процессе скрининга [23]. С учетом формулировок медицинских задач для алгоритма и результатов оценки его диагностической точности на нескольких отличающихся датасетах нами принято решение о проведении независимого тестиро-

вания этого решения. Важность проверки алгоритма на данных московской популяции обусловлена следующим фактом: в настоящее время в открытом доступе находятся не менее пяти датасетов низкодозовых компьютерных томограмм из программ скрининга, используемых разработчиками для обучения и валидации алгоритмов. Практически все эти базы сформированы из результатов обследований популяции Северной Америки и Азии. К тому же часть из них содержат исключительно данные пациентов, страдающих хронической обструктивной болезнью легких [8, 16]. В силу указанных ограничений опубликованные результаты валидации алгоритмов ИИ не могут быть масштабированы на популяцию Российской Федерации без дополнительного исследования.

Цель: оценить диагностическую точность алгоритма выявления очагов поражения при НДКТ с использованием независимого датасета, сформированного в рамках программы скрининга ЗНО легких в Москве.

### Материалы и методы

Проведено слепое ретроспективное диагностическое исследование в соответствии с методологией для испытаний ИИ в сфере лучевой диагностики [2, 17].

Датасет для исследования сформирован в 2019 г. в НПКЦ ДиТ ДЗМ с использованием базы данных результатов программы скрининга рака легкого методом НДКТ [3]. Отбор случаев из базы в датасет проводился случайным образом.

В датасет включены данные 100 лиц, прошедших скрининговое обследование и подписавших информированное добровольное согласие в городских поликлиниках Москвы. Всего было 80 мужчин (средний возраст  $64,8 \pm 9,4$  года) и 20 женщин (средний возраст  $65,9 \pm 8,3$  года); лица европеоидной расы, жители Москвы.

Датасет разделен на две подгруппы: «норма» ( $n = 32$ ) и «патология» ( $n = 68$ ).

Общие критерии для подгрупп «норма» и «патология»:

- лица от 55 до 80 лет;
  - индекс курения – более 30 пачка/лет;
  - курение или отказ от курения в пределах 15 лет;
  - отсутствие симптомов (кроме кашля, мокроты, одышки, связанных с курением);
  - отсутствие компьютерной томографии органов грудной клетки в течение последнего года;
  - отсутствие в течение последнего месяца повышения температуры тела более  $37,5^{\circ}\text{C}$ , кровохарканья, розовой или «ржавой» мокроты, болей в грудной клетке, сиплого голоса, необъяснимого похудения;
  - отсутствие рака легкого и метастазов в легких.
- Критерии отнесения к подгруппе «норма»:

– первичные НДКТ из программы скрининга рака легкого;

– после первичного исследования имеется повторная скрининговая НДКТ, выполненная более чем через 600 дней после первичного исследования;

– после первичного и повторного скрининговых исследований у пациента не выявлено рака легкого.

Критерии отнесения к подгруппе «патология»:

– в течение 3 мес. после первичной НДКТ для скрининга верифицировано ЗНО легкого.

Всем обследуемым была выполнена НДКТ грудной клетки. Исследования проводились на 10 компьютерных томографах, имеющих 64 среза Toshiba Aquilion 64 и Toshiba CLX. В процессе выполнения НДКТ средняя доза лучевой нагрузки составила 0,7 мЗв (от 0,4 до 0,9 мЗв) в соответствии с требованиями п. 2.2.1 СанПин 2.6.1.1192-03. Протоколы сканирования сгруппированы в три категории по массе тела пациента: до 69 кг, 70-89 кг, 90 кг и более. На двух томографах использовались установленные системы шумоподавления AIDR 3D. Сканирование выполнялось при задержке дыхания на глубине вдоха с отведенными к голове руками. Параметры сканирования: напряжение 135 кВ; сила тока 10-25 мА; скорость ротации рентгеновской трубки 0,375-0,75 с; матрица 512×512; FOV – М; Range – 360 мм; направление – out; Sure Exp. 3D – OFF; CTDI 0,6-1,2 мГр; DLP 28,4-56,0 мГр×см; AIRD – strong (при наличии). Результаты сканирования представлены серией аксиальных срезов толщиной 1 мм с шагом между срезами 0,5 мм, кернел FC07. Данные сканирования обрабатывались, анализировались и сохранялись с помощью программного обеспечения в составе Единого радиологического информационного сервиса. Классификация очагов проводилась в соответствии с LungRADS (версия 2014 г.).

*Референс-тест:* каждое исследование интерпретировано в два этапа. Первично – штатным врачом городской поликлиники; вторично – независимо двумя квалифицированными врачами-рентгенологами НПКЦ ДиТ ДЗМ. При отсутствии расхождений во мнении исследование относили к группе «норма» или к группе «патология». При наличии расхождений исследование интерпретировалось совместно с участием рентгенолога с субспециализацией, после чего исследование относили к группе «норма» или к группе «патология».

*Индекс-тест:* алгоритм ИИ S. Trajanovski et al. (2019) для анализа НДКТ легких. Алгоритм реализован на основе двухэтапного метода машинного обучения. Первый этап – детектор для идентификации очагов, имеющих в данном исследовании. Второй этап – нейронная сеть (архитектура ResNet), регуляризованная с помощью случайного отключения нейронов (dropout) и предназначенная для анализа всего исследования. Детальное описание алгоритма опубликовано ранее [23].

После анализа экспериментального датасета посредством индекс-теста произведено сопоставление полученных данных с результатами референс-теста; построена четырехпольная таблица, произведен расчет показателей (чувствительность, специфичность, точность – общая валидность), отношение правдоподобия и прогностическая ценность положительного/отрицательного результата, построена и проанализирована характеристическая кривая (ROC-кривая). Для каждого из указанных диагностических показателей рассчитан 95%-ный доверительный интервал (ДИ) по методу Клоппера – Пирсона.

Порог активации для данного алгоритма ИИ составил 9,9% риска наличия рака легкого. Указанный порог активации (cut off) определен как оптимальный с помощью трех различных методик на основании анализа ROC-кривой:

- методика Юндена, в которой максимизируется сумма чувствительности и специфичности;
- методика Лю, в которой максимизируется произведение чувствительности и специфичности;
- методика поиска точки, максимально приближенной к верхнему левому углу ROC-кривой (0,1).

Уровень порога активации (cut off) по методикам Юндена и Лю составил 0,166 (16,6%), по методике поиска точки – 0,102 (10,2%).

## Результаты исследования

Посредством алгоритма ИИ S. Trajanovski et al. (2019) [23] проанализирован датасет из 100 НДКТ, проведенных в рамках программы скрининга рака легкого в Москве. Решения алгоритма ИИ сопоставлены с референс-тестом. Результаты с учетом использования двух уровней порога активации представлены в табл. 1. В табл. 2 приведены метрики диагностической точности, на рис. 1 представлена соответствующая характеристическая кривая.

**Таблица 1. Распределение результатов анализа 100 случаев НДКТ легких алгоритмом искусственного интеллекта**

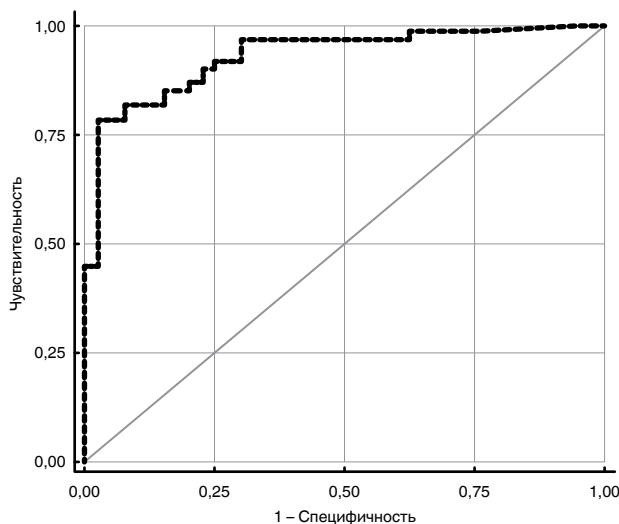
*Table 1. Distribution of the results of analysis of 100 cases of LDCT by the artificial intelligence algorithm*

Решения	Оптимальная величина порога активации (cut off)	
	0,166 (риск ≥ 16,6%)	0,102 (риск ≥ 10,2%)
Истинно положительные (случаи)	47	49
Истинно отрицательные (случаи)	39	37
Ложноположительные (случаи)	1	3
Ложноотрицательные (случаи)	13	11

С учетом специфики задачи индекс-теста (скрининг ЗНО) более важным представляется достижение максимального значения чувствительности, нежели специфичности (то есть увеличение количе-

**Таблица 2.** Характеристики диагностической точности индекс-теста при различных величинах порога активации  
**Table 2.** Characteristics of the diagnostic accuracy of index- test with different values of activation threshold

Показатель	Значение (среднее значение, 95%-ный ДИ)	
	порог активации 0,166 (риск $\geq$ 16,6%)	порог активации 0,102 (риск $\geq$ 10,2%)
Чувствительность	0,783 (0,658; 0,879)	0,817 (0,696; 0,905)
Специфичность	0,975 (0,868; 0,999)	0,925 (0,796; 0,984)
Точность (общая валидность)	0,860 (0,776; 0,921)	0,860 (0,776; 0,921)
Отношение правдоподобия положительного результата	31,3 (5,0; 879,0)	10,9 (3,4; 56,6)
Отношение правдоподобия отрицательного результата	0,22 (0,12; 0,39)	0,20 (0,10; 0,38)
Прогностическая ценность положительного результата	0,979 (0,889; 0,999)	0,942 (0,841; 0,988)
Прогностическая ценность отрицательного результата	0,750 (0,611; 0,860)	0,771 (0,627; 0,880)



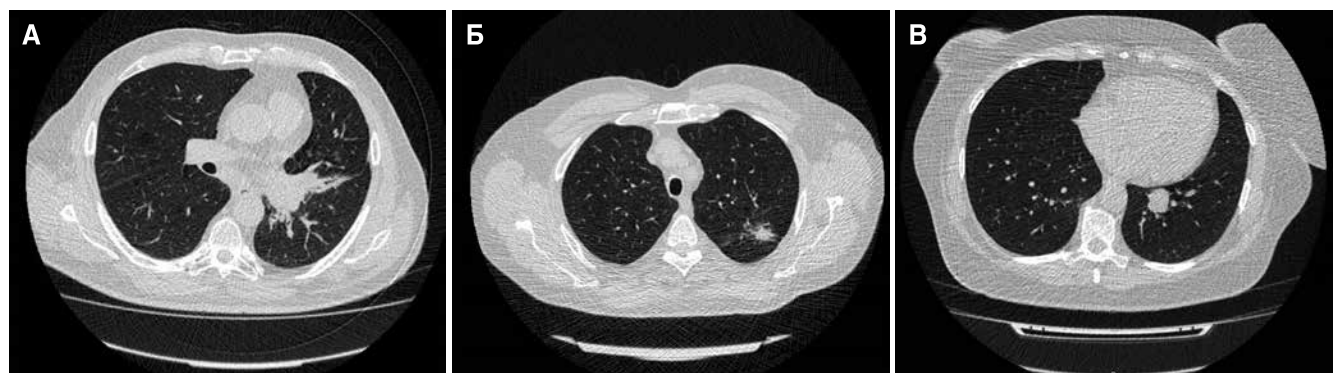
**Рис. 1.** Характеристическая кривая для оценки работы индекс-теста

**Fig. 1.** The characteristic curve to assess the index-test performance

ства ложноположительных решений теста не столь критично, как ложноотрицательных). Исходя из этого, при обсуждении результатов руководствовались значениями, полученными при пороге активации 0,102 (риск  $\geq$  10,2%).

Как следует из графика на рис. 1, площадь под характеристической кривой составила 0,930 (95%-ный ДИ 0,880-0,979). На рис. 2 представлены примеры работы алгоритма ИИ для определения очагов при НДКТ.

Полученные данные свидетельствуют о достаточно высоком качестве алгоритма ИИ S. Trajanovski et al. (2019). В соответствии с базовой методологией [2, 17] данная разработка может быть допущена к клинической валидации, так как ряд показателей диагностической точности превышает значение 0,81 (прежде всего, площадь под характеристической кривой, а также чувствительность, специфичность, точность, прогностическая ценность положительного результата).



**Рис. 2.** Примеры решений индекс-теста при анализе низкодозовых компьютерных томограмм органов грудной клетки: А – ложноотрицательный результат (при наличии злокачественных новообразований в корне левого легкого алгоритм предоставляет вероятность рака легкого 0,028 и степень сомнения (uncertainty) 0,0215); Б – истинно положительный результат (при наличии злокачественных новообразований в верхней доле левого легкого алгоритм предоставляет вероятность рака легкого 0,91 и степень сомнения (uncertainty) 0,061); В – ложноположительный результат (при наличии гамартомы (плотность -20 HU) в нижней доле левого легкого алгоритм предоставляет вероятность рака легкого 0,48 и степень сомнения (uncertainty) 0,0288)

**Fig. 2.** Examples of the index-test solutions when analyzing the low-dose computed tomography scans of the chest: А – a false negative result (while there are malignant tumors in the root of the left lung, the algorithm provides the probability of lung cancer as 0.028 and the degree of uncertainty as 0.0215); Б – a true positive result (there are malignant tumors in the upper lobe of the left lung, the algorithm provides the probability of lung cancer as 0.91 and the degree of uncertainty as 0.061); В – a false positive result (there is a hamartoma (density is -20 HU) in the lower lobe of the left lung, the algorithm provides the probability of lung cancer as 0.48 and the degree of uncertainty as 0.0288)

В оригинальной статье авторов алгоритма [23] проведено его сравнительное тестирование на четырех датасетах. Зафиксированы значения показателя площади под характеристической кривой от 86,0 до 94,0%. В результате нашего эксперимента получено значение 93,0%, которое практически соответствует верхней границе указанного диапазона. Полагаем, что это весьма хороший результат для независимого тестирования, свидетельствующий о качестве алгоритма, отличной воспроизводимости результатов на данных, которые не использовались для обучения системы.

В последние годы опубликован ряд препринтов с описанием алгоритмов ИИ для выявления и классификации очагов в легких при НДКТ [14, 20] (полный список цитирований не приводится в силу их схожести). Однако все эти работы акцентированы на математических аспектах проблемы. Также в этих исследованиях не проводилась внешняя валидация алгоритмов на независимых данных или проверка сторонними группами исследователей. Независимое тестирование ИИ на данных, которые не применялись для обучения и калибровки, фактически уже является обязательным требованием, демонстрирующим пригодность алгоритмов для клинической апробации [2, 17, 21]. Также независимое тестирование позволяет подтвердить воспроизводимость результатов работы ИИ.

Статьи с полноценной валидацией ИИ для анализа НДКТ легких единичны [9, 11]. В частности, предложен алгоритм ИИ, обрабатывающий «сырые» данные НДКТ и классифицирующий очаги в легких по их типу и размеру. К преимуществам этой разработки относится валидация алгоритма на независимых данных: обучали ИИ на результатах НДКТ-скрининга в Италии, а тестировали – на результатах такой же программы в Дании. Отметим, что в цитируемой публикации для каждого изображения изучена согласованность решений врачей и алгоритма, а также врачей между собой. Полученные коэффициенты (каппа Коэна) колебались в пределах 0,58-0,67, что свидетельствует о средней конкордантности диагностических выводов как специалистов по сравнению с ИИ, так и специалистов между собой. Однако при сравнении групп «ИИ – врач» и «врач – врач» значения согласованности были практически идентичны. Также

были близки суммарные значения диагностической точности (69,6 и 72,9% соответственно) [11].

В табл. 3 представлено сравнение некоторых параметров диагностической точности с данными литературы.

Для сопоставления отобраны наиболее релевантные публикации, включающие тестирование алгоритмов ИИ для выявления очагов при НДКТ легких на независимых датасетах. Доля ложноотрицательных случаев составляет около 20% для всех случаев, что свидетельствует о безусловной необходимости верификации решений ИИ квалифицированным врачом-рентгенологом.

В сравнении с данными литературы исследуемый нами алгоритм демонстрирует лучшую чувствительность на фоне чуть меньшей специфичности (0,817 и 0,925 соответственно). В то время как алгоритмы других разработчиков чаще всего имеют чувствительность, отстающую на 40-45% от специфичности [9, 11]. Полученное нами значение прогностической ценности положительного результата (0,942) превышает опубликованные результаты (0,436-0,892 [11]). Остальные показатели в целом незначительно превышают аналоги.

Полученные результаты и их сравнительный анализ позволяют положительно оценить алгоритм ИИ для выявления очагов при НДКТ легких S. Trajanovski et al. (2019). Потенциально алгоритм может применяться в программах скрининга ЗНО легких (для первичного просмотра результатов обследований с обязательным вторичным просмотром врачом-рентгенологом).

## Выводы

1. Установлены следующие показатели диагностической точности алгоритма для автоматизированного выявления очагов поражения в легких при НДКТ: чувствительность – 0,817, специфичность – 0,925, точность – 0,860, площадь под характеристической кривой – 0,930.

2. Сопоставление полученных значений с итогами собственного тестирования свидетельствует о хорошей воспроизводимости результатов работы ИИ на независимых данных, относящихся к популяции Москвы.

**Таблица 3.** Сравнение характеристик диагностической точности индекс-теста с данными литературы

**Table 3.** Comparison of the characteristics of the diagnostic accuracy of the index- test with literature data

Показатель	Собственные данные	Trajanovski et al., 2019 [23]	Causey et al., 2019 [9]		Ciompi et al., 2017 [11]
			алгоритм DeepScreener	алгоритм grt123	
Чувствительность	0,817	0,84-0,95	0,343	0,473	0,604-0,874
Специфичность	0,925	0,80-0,85	0,987	0,987	-
Точность (общая валидность)	0,860	-	0,782	0,821	0,696
Количество ложноположительных случаев	3	-	12	13	-
Количество ложноотрицательных случаев	11	-	284	247	-
Площадь под характеристической кривой	0,930	0,86-0,94	0,858	0,885	-

**Примечание:** доступ к алгоритму на основе интеллектуальных технологий предоставлен ООО «Филипс Инновационные Лаборатории РУС» в рамках некоммерческого научного проекта.  
**Note:** The access to the artificial intelligence algorithm has been provided by Philips Innovation Labs Rus within a noncommercial research project.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов.  
**Conflict of Interests.** The authors state that they have no conflict of interests.

ЛИТЕРАТУРА

REFERENCES

1. Гомболевский В. А., Барчук А. А., Лайпан А. Ш., Ветшева Н. Н., Владимирский А. В., Морозов С. П. Организация и эффективность скрининга злокачественных новообразований легких методом низкодозной компьютерной томографии // Радиология - практика. - 2018. - № 1 (67). - С. 28-36.
2. 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) // Препринт № ЦДТ-2019-1 / Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики». 2019 - Вып. 23. - 33 с.
3. Морозов С. П., Гомболевский В. А., Владимирский А. В., Лайпан А. Ш., Кононец П. В., Древал П. А. Результаты первого года скрининга рака легкого с помощью низкодозной компьютерной томографии в Москве // Вопросы онкологии. - 2019. - Т. 65, № 2. - С. 224-233.
4. Тюрин И. Е. Лучевая диагностика в Российской Федерации в 2014 г. // Вестник рентгенологии и радиологии. - 2015. - № 6. - С. 56-63.
5. Шелехов П. В. Эффективность использования оборудования лучевой диагностики в субъектах Российской Федерации // Менеджер здравоохранения. - 2017. - № 5. - С. 33-41.
6. Щепин В. О. К вопросу о кадровом обеспечении подразделений лучевой диагностики // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. - 2014. - Т. 22, № 5. - С. 42-45.
7. Al Mohammad B., Brennan P. C., Mello-Thoms C. A review of lung cancer screening and the role of computer-aided detection // Clin. Radiol. - 2017. - Vol. 72, № 6. - P. 433-442. doi: 10.1016/j.crad.2017.01.002.
8. Benzaquen J., Boutros J., Marquette C., Delingette H., Hofman P. Lung cancer screening, towards a multidimensional approach: why and how? *Cancers (basel)*. - 2019 Feb. 12; 11(2). pii: E212. doi: 10.3390/cancers11020212.
9. Causey J. L., Guan Y., Dong W., Walker K., Qualls J. A., Prior F., Huang X. Lung cancer screening with low-dose CT scans using a deep learning approach // arXiv:1906.00240 [eess.IV].
10. Chun I. Y., Zheng X., Long Y., Fessler J. A. BCD-Net for Low-dose CT reconstruction: acceleration, convergence, and generalization // arXiv:1908.01287 [eess.IV].
11. Ciompi F., Chung K., van Riel S. J., Setio A. A. A. Towards automatic pulmonary nodule management in lung cancer screening with deep learning // Sci. Rep. - 2017. - № 7. - P. 46479. doi: 10.1038/srep46479.
12. De Koning H. J., Van Der Aalst C. M., Ten Haaf K., Oudkerk M. Effects of volume CT lung cancer screening: mortality results of the NELSON randomised-controlled population based trial // J. Thorac. Oncol. - 2018. - № 13. - P. S185. doi: 10.1016/j.jtho.2018.08.012.
13. Huang K. L., Wang S. Y., Lu W. C., Chang Y. H., Su J., Lu Y. T. Effects of low-dose computed tomography on lung cancer screening: a systematic review, meta-analysis, and trial sequential analysis // BMC Pulm. Med. - 2019. - Vol. 19, № 1. - P. 126. doi: 10.1186/s12890-019-0883-x.
14. Lei Y., Tian Y., Shan H., Zhang J., Wang G., Kalra M. Soft activation mapping of lung nodules in low-dose CT images // arXiv:1810.12494.
15. Liu Y., Luo H., Qing H., Wang X., Ren J., Xu G., Hu S., He C., Zhou P. Screening baseline characteristics of early lung cancer on low-dose computed tomography with computer-aided detection in a Chinese population // Cancer Epidemiol. - 2019. - № 62. - P. 101567. doi: 10.1016/j.canep.2019.101567.
16. Liu X., Zhou H., Hu Z., Jin Q., Wang J., Ye B. Clinical Application of Artificial Intelligence Recognition Technology in the Diagnosis of Stage T1 Lung Cancer // Zhongguo Fei Ai Za Zhi. - 2019. - Vol. 22, № 5. - P. 319-323. doi: 10.3779/j.issn.1009-3419.2019.05.09.
1. Gomboleviskiy V.A., Barchuk A.A., Laypan A.Sh., Vetsheva N.N., Vladimirskiy A.V., Morozov S.P. Organization and efficiency of screening for malignant lung tumors by low-dose computed tomography. *Radiologiya-Praktika*, 2018, no. 1 (67), pp. 28-36. (In Russ.)
2. Morozov S.P., Vladimirskiy A.V., Klyashtorny V.G., Andreychenko A.E., Kulberg N.S., Gomboleviskiy V.A. *Klinicheskie ispytaniya programmnogo obespecheniya na osnove intellektualnykh tekhnologiy (luhevaya diagnostika)*. Preprint № TSDT-2019-1 / Seriya Luchshie praktiki luhevoy i instrumentalnoy diagnostiki. [A clinical acceptance of software based on artificial intelligence technologies (radiology). Preprint No CDT-2019-1 / Series of Best practices in medical imaging]. 2019, Iss., 23, 33 p.
3. Morozov S.P., Gomboleviskiy V.A., Vladimirskiy A.V., Laypan A.Sh., Kononets P.V., Dreval P.A. Results of the first year of screening for lung cancer using low-dose computed tomography in Moscow. *Voprosy Onkologii*, 2019, vol. 65, no. 2, pp. 224-233. (In Russ.)
4. Tyurin I.E. X-ray diagnostics in the Russian Federation in 2014. *Vestnik Rentgenologii i Radiologii*, 2015, no. 6, pp. 56-63. (In Russ.)
5. Shelekhov P.V. The efficacy of X-ray diagnostics in the regions of the Russian Federation. *Menedzher Zdravookhraneniya*, 2017, no. 5, pp. 33-41. (In Russ.)
6. Schepin V.O. On the issue of staffing in the X-ray diagnostics units. *Problemy Sotsialnoy Gigieny, Zdravookhraneniya i Istории Meditsiny*, 2014, vol. 22, no. 5, pp. 42-45. (In Russ.)
7. Al Mohammad B., Brennan P.C., Mello-Thoms C. A review of lung cancer screening and the role of computer-aided detection. *Clin. Radiol.*, 2017, vol. 72, no. 6, pp. 433-442. doi: 10.1016/j.crad.2017.01.002.
8. Benzaquen J., Boutros J., Marquette C., Delingette H., Hofman P. Lung cancer screening, towards a multidimensional approach: why and how? *Cancers (basel)*, 2019, Feb. 12; 11(2). pii: E212. doi: 10.3390/cancers11020212.
9. Causey J.L., Guan Y., Dong W., Walker K., Qualls J.A., Prior F., Huang X. Lung cancer screening with low-dose CT scans using a deep learning approach. arXiv:1906.00240 [eess.IV].
10. Chun I.Y., Zheng X., Long Y., Fessler J.A. BCD-Net for Low-dose CT reconstruction: acceleration, convergence, and generalization. arXiv:1908.01287 [eess.IV].
11. Ciompi F., Chung K., van Riel S.J., Setio A.A.A. Towards automatic pulmonary nodule management in lung cancer screening with deep learning. *Sci. Rep.*, 2017, no. 7, pp. 46479. doi: 10.1038/srep46479.
12. De Koning H.J., Van Der Aalst C.M., Ten Haaf K., Oudkerk M. Effects of volume CT lung cancer screening: mortality results of the NELSON randomised-controlled population based trial. *J. Thorac. Oncol.*, 2018, no. 13, pp. S185. doi: 10.1016/j.jtho.2018.08.012.
13. Huang K.L., Wang S.Y., Lu W.C., Chang Y.H., Su J., Lu Y.T. Effects of low-dose computed tomography on lung cancer screening: a systematic review, meta-analysis, and trial sequential analysis. *BMC Pulm. Med.*, 2019, vol. 19, no. 1, pp. 126. doi: 10.1186/s12890-019-0883-x.
14. Lei Y., Tian Y., Shan H., Zhang J., Wang G., Kalra M. Soft activation mapping of lung nodules in low-dose CT images. arXiv:1810.12494.
15. Liu Y., Luo H., Qing H., Wang X., Ren J., Xu G., Hu S., He C., Zhou P. Screening baseline characteristics of early lung cancer on low-dose computed tomography with computer-aided detection in a Chinese population. *Cancer Epidemiol.*, 2019, no. 62, pp. 101567, doi: 10.1016/j.canep.2019.101567.
16. Liu X., Zhou H., Hu Z., Jin Q., Wang J., Ye B. Clinical Application of Artificial Intelligence Recognition Technology in the Diagnosis of Stage T1 Lung Cancer. *Zhongguo Fei Ai Za Zhi*, 2019, vol. 22, no. 5, pp. 319-323. doi: 10.3779/j.issn.1009-3419.2019.05.09.

17. Morozov S.P., Vladzimirskiy A.V., Klyashtornyy V.G., Andreychenko A.E., Kulberg N.S., Gombolevsky V. A clinical acceptance of software based on artificial intelligence technologies (radiology) // Preprint No CDT-2019-1 / Series "Best practices in medical imaging". – Issue 23. – M., 2019. – 27 p. // arXiv:1908.00381.
18. National Lung Screening Trial Research Team. Lung cancer incidence and mortality with extended follow-up in the National Lung Screening Trial // *J. Thorac. Oncol.* – 2019 Jun. 28. pii: S1556-0864(19)30473-3. doi: 10.1016/j.jtho.2019.05.044.
19. Pastorino U., Sverzellati N., Sestini S., Silva M., Sabia F., Boeri M., Cantarutti A., Sozzi G., Corrao G., Marchianò A. Ten-year results of the multicentric Italian lung detection trial demonstrate the safety and efficacy of biennial lung cancer screening // *Eur. J. Cancer.* – 2019. – № 118. – P. 142-148. doi: 10.1016/j.ejca.2019.06.009.
20. Polat G., Halici U., Dogrusoz Y.S. False positive reduction in lung computed tomography images using convolutional neural networks // arXiv:1811.01424.
21. Ranschaert E. R., Morozov S. P., Algra P. R. Artificial intelligence in medical imaging. – Springer International Publishing. – 2019. – 373 p.
22. Suzuki K., Li F., Sone S., Doi K. Computer-aided diagnostic scheme for distinction between benign and malignant nodules in thoracic low-dose CT by use of massive training artificial neural network // *IEEE Trans Med Imaging.* – 2005. – Vol. 24, № 9. – P. 1138-1150.
23. Trajanovski S., Mavroeidis D., Swisher C. L., Gebre B. G., Veeling B. S., Wiemker R., Klinder T., Tahmasebi A., Regis S. M., Wald C., McKee B. J., Flacke S., MacMahon H., Pien H. Towards radiologist-level cancer risk assessment in CT lung screening using deep learning // arXiv:1804.01901v2 [cs.CV] 11 Apr. 2019.
24. You C., Yang L., Zhang Y., Wang G. Low-dose CT via deep CNN with skip connection and network in network // arXiv:1811.10564.
25. Zhang Y., Rong J., Lu H., Xing Y., Meng J. Low-dose lung CT image restoration using adaptive prior features from full-dose training database // *IEEE Trans Med Imaging.* – 2017. – Vol. 36, № 12. – P. 2510-2523. doi: 10.1109/TMI.2017.2757035. Epub 2017 Sep. 27.
17. Morozov S.P., Vladzimirskiy A.V., Klyashtornyy V.G., Andreychenko A.E., Kulberg N.S., Gombolevsky V. A clinical acceptance of software based on artificial intelligence technologies (radiology). Preprint No CDT-2019-1. Series Best practices in medical imaging. issue 23, Moscow, 2019. 27 p. arXiv:1908.00381.
18. National Lung Screening Trial Research Team. Lung cancer incidence and mortality with extended follow-up in the National Lung Screening Trial. *J. Thorac. Oncol.*, 2019, Jun. 28. pii: S1556-0864(19)30473-3. doi: 10.1016/j.jtho.2019.05.044.
19. Pastorino U., Sverzellati N., Sestini S., Silva M., Sabia F., Boeri M., Cantarutti A., Sozzi G., Corrao G., Marchianò A. Ten-year results of the multicentric Italian lung detection trial demonstrate the safety and efficacy of biennial lung cancer screening. *Eur. J. Cancer*, 2019, no. 118, pp. 142-148. doi: 10.1016/j.ejca.2019.06.009.
20. Polat G., Halici U., Dogrusoz Y.S. False positive reduction in lung computed tomography images using convolutional neural networks. arXiv:1811.01424.
21. Ranschaert E.R., Morozov S.P., Algra P.R. Artificial intelligence in medical imaging. Springer International Publishing. 2019, 373 p.
22. Suzuki K., Li F., Sone S., Doi K. Computer-aided diagnostic scheme for distinction between benign and malignant nodules in thoracic low-dose CT by use of massive training artificial neural network. *IEEE Trans Med Imaging*, 2005, vol. 24, no. 9, pp. 1138-1150.
23. Trajanovski S., Mavroeidis D., Swisher C. L., Gebre B. G., Veeling B. S., Wiemker R., Klinder T., Tahmasebi A., Regis S.M., Wald C., McKee B. J., Flacke S., MacMahon H., Pien H. Towards radiologist-level cancer risk assessment in CT lung screening using deep learning. arXiv:1804.01901v2 [cs.CV] 11 Apr. 2019.
24. You C., Yang L., Zhang Y., Wang G. Low-dose CT via deep CNN with skip connection and network in network. arXiv:1811.10564.
25. Zhang Y., Rong J., Lu H., Xing Y., Meng J. Low-dose lung CT image restoration using adaptive prior features from full-dose training database. *IEEE Trans. Med. Imaging*, 2017, vol. 36, no. 12, pp. 2510-2523. doi: 10.1109/TMI.2017.2757035. Epub 2017 Sep. 27.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

ГБУЗ г. Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий ДЗМ»,  
125040, Москва, ул. Расковой, д. 16/26, с. 1.  
Тел.: +7 (495) 276-04-36.

**Морозов Сергей Павлович**

директор.

E-mail: morozov@npcmr.ru

**Владимирский Антон Вячеславович**

заместитель директора по научной работе.

Тел.: +7 (495) 670-74-80, доб. 2204.

E-mail: a.vladimirsky@npcmr.ru

**Гомболевский Виктор Александрович**

руководитель отдела развития качества радиологии.

E-mail: gombolevskiy@npcmr.ru

**Кляшторный Владислав Георгиевич**

аналитик отдела координации научной деятельности.

E-mail: v.klyashtornyy@npcmr.ru

ООО «Филипс Инновационные Лаборатории РУС»,  
143026, Москва, территория Сколково инновационного  
центра, Большой бульвар, д. 42, стр. 1, этаж 3, пом. 1069.

**Федулова Ирина Александровна**

ведущий специалист.

E-mail: irina.fedulova@philips.com

## INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Moscow Scientific Practical Clinical Center for Diagnostics  
and Telemedical Technology,  
Build. 1, 16/26 Raskovoy St., Moscow, 125040.  
Phone: +7 (495) 276-04-36.

**Sergey P. Morozov**

Director.

Email: morozov@npcmr.ru

**Anton V. Vladimirskiy**

Deputy Director for Research.

Phone: +7 (495) 670-74-80, ext. 2204.

Email: a.vladimirsky@npcmr.ru

**Viktor A. Gombolevskiy**

Head of Department for Radiology Quality Development.

Email: gombolevskiy@npcmr.ru

**Vladislav G. Klyashtornyy**

Analyst of Research Coordination Department.

Email: v.klyashtornyy@npcmr.ru

Philips Innovation Labs Rus,  
Office 1069, Floor 3, Build. 1, 42, Bolshoy Bul.,  
Skolkovo Innovation Center, Moscow, 143026.

**Irina A. Fedulova**

Leading Specialist

Email: irina.fedulova@philips.com

**Власенков Леонид Александрович**  
научный сотрудник.  
Тел.: +7 (495) 922-25-85.  
E-mail: leonid.vlasenkov@philips.com

**Leonid A. Vlasenkov**  
Researcher.  
Phone: +7 (495) 922-25-85.  
Email: leonid.vlasenkov@philips.com

Поступила 16.11.2019

Submitted as of 16.11.2019