



## Основные достижения низкодозной компьютерной томографии в скрининге рака легкого

V. A. GOMBOLEVSKIY<sup>1</sup>, V. YU. CHERNINA<sup>1</sup>, I. A. BLOKHIN<sup>1</sup>, A. E. NIKOLAEV<sup>1</sup>, A. A. BARCHUK<sup>2</sup>, S. P. MOROZOV<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы», Москва, РФ

<sup>2</sup>ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр онкологии им. Н. Н. Петрова» МЗ РФ, Санкт-Петербург, РФ

РЕЗЮМЕ

**Цель исследования:** обобщить актуальные данные об использовании низкодозной компьютерной томографии (НДКТ) для скрининга рака легкого (СРЛ).

**Материалы и методы:** проведен поиск релевантных статей по ключевым словам «скрининг рака легкого», «низкодозная компьютерная томография», «ультранизкодозная компьютерная томография» по открытым базам данных PubMed, Google Scholar, Elibrary, опубликованных с 2016 по 2019 г. Найдено 23 русскоязычных и 778 англоязычных публикаций. Среди них отобраны релевантные публикации с высокими индексами цитирования.

**Результаты.** К 2019 г. произошли значительные изменения методологии НДКТ в СРЛ, позволяющие рассматривать их как одно из приоритетных государственных направлений современного здравоохранения. Рассмотрены основные и возможные дополнительные цели СРЛ, параметры включения в группу риска рака легкого по данным разных мировых исследований. Приведены данные о рекомендуемых предельно допустимых дозах лучевой нагрузки в разных странах и об экономической эффективности скрининга. Кроме того, систематизированы технические требования к компьютерному томографу в СРЛ и методики интерпретации НДКТ.

**Ключевые слова:** скрининг рака легкого, низкодозная компьютерная томография, легочный очаг

**Для цитирования:** Гомболевский В. А., Чернина В. Ю., Блохин И. А., Николаев А. Е., Барчук А. А., Морозов С. П. Основные достижения низкодозной компьютерной томографии в скрининге рака легкого // Туберкулез и болезни лёгких. – 2021. – Т. 99, № 1. – С. 61-70. <http://doi.org/10.21292/2075-1230-2021-99-1-61-70>

## Main achievements of low-dose computed tomography in lung cancer screening

V. A. GOMBOLEVSKIY<sup>1</sup>, V. YU. CHERNINA<sup>1</sup>, I. A. BLOKHIN<sup>1</sup>, A. E. NIKOLAEV<sup>1</sup>, A. A. BARCHUK<sup>2</sup>, S. P. MOROZOV<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Scientific Practical Clinical Center of Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow Health Department, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Petrov National Medical Research Center of Oncology, Moscow, St. Petersburg, Russia

ABSTRACT

**The objective of the study:** to summarize current data on the use of low-dose computed tomography (LDCT) for lung cancer screening (LCS).

**Subjects and methods:** Relevant articles published from 2016 to 2019 were searched for the following key words: lung cancer screening, low-dose computed tomography, ultra-low-dose computed tomography. The search was performed in the open databases of PubMed, Google Scholar, Elibrary. 23 Russian and 778 English publications were found. Among them, relevant publications with high citation indices were selected.

**Results.** By 2019, there have been significant changes in the methodology of LDCT in LCS, and these changes can be considered as one of the priority state areas of modern health care. The article considers the main and potential additional goals of screening for lung cancer, the parameters of inclusion into lung cancer risk groups according to the data of various global studies. It describes data on the recommended maximum permissible doses of radiation exposure in different countries and the economic efficiency of screening. In addition, the technical requirements for a computed tomography scanner in LCS and methods for interpreting LDCT have been systematized.

**Key words:** lung cancer screening, low-dose computed tomography, pulmonary focus

**For citations:** Gombolevskiy V.A., Chernina V.Yu., Blokhin I.A., Nikolaev A.E., Barchuk A.A., Morozov S.P. Main achievements of low-dose computed tomography in lung cancer screening. *Tuberculosis and Lung Diseases*, 2021, Vol. 99, no. 1, P. 61-70. (In Russ.) <http://doi.org/10.21292/2075-1230-2021-99-1-61-70>

Для корреспонденции:

Чернина Валерия Юрьевна  
E-mail: [chernina909@gmail.com](mailto:chernina909@gmail.com)

Correspondence:

Valeriya Yu. Chernina  
Email: [chernina909@gmail.com](mailto:chernina909@gmail.com)

Рак легкого (РЛ) входит в список десяти основных причин смерти в мире, по данным Всемирной организации здравоохранения [64]. В 2018 г. РЛ унес более 2 млн жизней, в очередной раз заняв первое место в мире среди причин смертности от онкологических заболеваний [23]. Американское исследование Lung, Colorectal and Ovarian (PLCO) продемонстрировало неэффективность регулярной рентгенографии грудной клетки в снижении смертности от РЛ [30]. Единственной технологией скрининга, позволяющей добиться снижения

смертности от РЛ, является низкодозная компьютерная томография (НДКТ) [16]. Коллективом отечественных профессиональных организаций в 2016 г. опубликованы «Рекомендации по ранней диагностике рака легкого для врачей первичного звена», где зафиксирована роль НДКТ как метода скрининга рака легкого (СРЛ), а также многие его организационные и методические аспекты [11].

### Цель скрининга

Главной целью скрининга является снижение смертности от целевого заболевания [12]. Пер-

вым рандомизированным исследованием, продемонстрировавшим снижение смертности от РЛ, было National Lung Screening Trial (NLST) в 2011 г. с выборкой 52 тыс. человек [16]. На основании анализа результатов NLST показано, что доля пациентов с РЛ I стадии, 4-летняя выживаемость, отношение доли пациентов с РЛ I стадии в группе скрининга по сравнению с контрольной группой не коррелировало со снижением смертности от РЛ [68]. В 2019 г. завершены два крупных рандомизированных исследования: NELSON (14 тыс. человек), которое показало снижение смертности от РЛ на 44% (до 26% у мужчин и 39-61% у женщин) [16]; MILD (4 099 человек), которое продемонстрировало снижение смертности на 39% [53]. В исследовании MILD существенных результатов удалось добиться, начиная с 5-летнего периода (на

58% снижение смертности от РЛ) [53]. По результатам многолетнего СРЛ в 2018 г. японские эксперты заявили о снижении смертности от РЛ на 51% в г. Hitachi [49].

В настоящее время второстепенной целью скрининга является снижение общей смертности. Этот показатель в результатах рандомизированных исследований СРЛ значительно разнится: NLST – 6,7% (10-летнее наблюдение) [16], MILD – при 10-летнем наблюдении отмечена значимая разница только в последние 5 лет, которая составила 32% [53]. Данные наиболее крупных исследований по СРЛ в мире приведены в таблице. Рандомизированное исследование Imaging in Lifelines нацелено на оценку снижения смертности в многоцелевом скрининге с использованием НДКТ [70], таргетные патологии включают РЛ [51], хроническую обструктив-

**Таблица. Сводные данные по результатам использования НДКТ в скрининге рака легкого [58]**

*Table. Summeryzed results of LDCT used for lung cancer screening [58]*

Исследование/ наименование	Лучевая нагрузка (мЗв)	Число исследуемых лиц на (ИТ / контрольная группа)	Группа риска (лет / пачка-лет)	Измерение легочного очага	Количество случаев рака легкого	Ранние стадии рака легкого	Смертей от рака легкого	Снижение смертности
DANTE* (2001-2006) [35]	нет данных	1 264 / 1 186	60-74 / ≥ 20	Линейные размеры	104 (8,2%)	45%	59	нет
Depiscan* (2002-2004) [21]	нет данных	336 / 285	50-75 / 15 сигарет в день за 20 лет	Линейные размеры	8 (2,4%)	38%	нет данных	нет данных
DLCST* (2004-2006) [67]	до 1 мЗв	2 052 / 2 052	50-70 / ≥ 20	Линейные размеры и волюметрия	100 (4,9%)	50%	39	нет
ITALUNG* [54]	нет данных	1 406	55-69 / ≥ 20	Линейные размеры	38 (2,7%)	66%	нет данных	нет данных
LSS (2000)* [29]	нет данных	1 660 / 1 658	55-74 / ≥ 30	Линейные размеры	30 (1,8%)	53%	нет данных	нет данных
LUSI (2007-2011)* [20]	нет данных	2 029 / 2 023	50-69 / ≥ 15 сигарет в день 25 лет или ≥ 10 сигарет в день 30 лет	Линейные размеры	58 (2,9%)	72%	5	нет данных
MILD (2005-2011)* [52]	нет данных	2 376 / 1 723	≥ 49 / ≥ 20	Линейные размеры и волюметрия	59 (2,5%)	65%	18	есть (ссылка)
NELSON (2004-2008)* [34]	до 1,6 мЗв	7 557 / 7 915	50-74 / ≥ 15 сигарет в день 25 лет или ≥ 10 сигарет в день 30 лет	Линейные размеры и волюметрия	200 (2,6%)	71%	нет данных	44% (26% для мужчин и 39-61% женщин)
NLST (2002-2004)* [16]	до 4,5 мЗв	26 722 / 26 732	55-74 / ≥ 30	Линейные размеры	1 060 (4%)	50%	356	на 20%
UKLS* [22]	нет данных	2 028	50-74 / модель LPP	Линейные размеры и волюметрия	42 (2,1%)	83%	нет данных	нет данных
МСРЛ * [3]	до 1 мЗв	11 430 (20% охват прикрепленных граждан в группе риска)	55-75 / ≥ 30	Линейные размеры и волюметрия	308 (2,7%)	57 (0,5%)	41	нет данных

*Примечание:* \* – DANTE, detection and screening of early lung cancer with novel imaging technology trial; Depiscan, французское исследование; DLCST (Danish Lung Cancer Screening Trial); ITALUNG, итальянское исследование; LSS (Lung Screening Study) исследование National Cancer Institute; LUSI (German Lung Cancer Screening Intervention Trial); MILD (Multicenter Italian Lung Detection Trial); NELSON (Nederlands-Leuven Longkanker Screenings Onderzoek, a Dutch–Belgian lung cancer screening trial); NLST (National Lung Screening Trial); UKLS (UK Lung Cancer Screening Trial); МСРЛ (Московский скрининг рака легкого)

ную болезнь легких (ХОБЛ) [47, 55], коронарный кальций [44]. Стоит отметить, что дополнительных целей можно поставить значительно больше, например раннее выявление остеопороза как предиктора общей смертности [24] или определение объемов висцеральной жировой ткани сердца для выявления ишемической болезни сердца на доклиническом этапе [60]. Так, в проекте «Московский скрининг рака легкого» (МСРЛ) у 87% лиц, помимо легочных узлов, выявлены случайные находки, среди которых большинство имели высокую клиническую и/или прогностическую значимость [9].

### Материалы и методы

Проведен поиск релевантных статей по ключевым словам «скрининг рака легкого», «низкодозная компьютерная томография», «ультранизкодозная компьютерная томография» по открытым базам данных PubMed, Google Scholar, Elibrary, опубликованных с 2016 по 2019 г. Найдено 23 русскоязычных и 778 англоязычных публикаций. Среди них отобраны релевантные публикации с высокими индексами цитирования.

В РФ выполнено несколько проектов по использованию компьютерной томографии (КТ) для СРЛ: в Москве [3, 8], Тюменской области [5], Ханты-Мансийске, Красноярском крае [4, 14], Самарской области [6].

#### Группа риска для НДКТ

Скрининг должен проводиться среди лиц, входящих в группу риска [12], именно при таком условии ожидаемая польза наивысшая. В США одобренная группа риска РЛ – граждане от 55 до 74 лет со стажем курения более 30 пачка-лет [65]. В Европе, по данным рандомизированных исследований, большую эффективность СРЛ показали в группе риска – возраст от 50 лет и стаж курения от 20 пачка-лет [16, 53]. Количество факторов риска, включенных в расчет для участия в СРЛ, непрерывно растет: возраст, стаж курения, срок отказа от курения, семейный анамнез, наличие других злокачественных новообразований, ХОБЛ, профессиональные / бытовые контаминанты (асбест, радон, мышьяк, пыль) [69]. Одна из наиболее перспективных моделей для индивидуального определения целесообразности СРЛ – модифицированная PLCO (PLCOm2012), показавшая наилучшие показатели в исследовании более чем на 20 тыс. человек, по сравнению с моделями Bach, Spitz, LLP [37]. Площадь под кривой для данной модели составила 0,80 (95%-ный ДИ 0,76-0,86), чувствительность – 83%, специфичность – 62,9%, положительная прогностическая ценность – 4,0%. В то же время следует знать, что СРЛ не считается обоснованным для пациентов с тяжелой сопутствующей патологией, исключающей попытки лечения или ограничивающей продолжительность жизни [33]. Также СРЛ с помощью НДКТ не отменяет необходимости пре-

ращения курения, поэтому программы скрининга должны включать рекомендации по прекращению курения [66]. Любой скрининг ассоциирован с потенциальным вредом из-за инвазивных диагностических процедур, ионизирующего излучения и случайных находок [33]. На основании предварительных модельных исследований установлено, что проведение НДКТ для СРЛ приносит значительно больше потенциального вреда, чем ожидаемой пользы у некурящих или людей моложе 42 лет [18].

Таким образом, формирование группы риска является одним из важнейших направлений в организации СРЛ [3].

#### Доза лучевой нагрузки

Утверждение, что при скрининговом обследовании с помощью КТ человек получает низкую дозу лучевой нагрузки является спорным из-за возрастающего значения этой дозы при повторных обследованиях [56]. В систематическом обзоре о пользе и вреде СРЛ команда из Memorial Sloan-Kettering Cancer Center под руководством доктора Bach, проанализировав 591 научную работу, определила, что смерть от рака возникает у одного из 2 500 граждан как результат негативных отдаленных стохастических последствий от проведения скрининговой НДКТ, которые проявятся через 10-20 лет [18]. Средняя фоновая лучевая нагрузка в Москве составляет 2,6 мЗв в год [10], а в среднем в мире – 3 мЗв [56]. На настоящий момент международные организации, такие как Европейское сообщество по атомной энергии (Евратом), Международная комиссия по радиационной защите (МКРЗ), Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ, англ. International Atomic Energy Agency, IAEA), ограничивают ежегодную дозу лучевой нагрузки для сотрудников, работающих с ионизирующим излучением, до 50 мЗв в год [36]. Американская ассоциация медицинских физиков (American Association of Physicists in Medicine, AAPM) поддерживает позицию о том, что медицинская визуализация должна использовать дозу облучения, необходимую для выполнения клинической задачи. В 2018 г. обновлено заявление AAPM о том, что в настоящее время эпидемиологические данные, подтверждающие увеличение заболеваемости раком или смертности от доз облучения ниже 100 мЗв, неубедительны [15]. Учитывая отсутствие научного консенсуса относительно потенциальных рисков от низких доз радиации, прогнозы гипотетической заболеваемости раком и смертности от использования диагностических изображений являются весьма спекулятивными. AAPM и другие организации по радиационной защите не одобряют прогнозы гипотетического вреда. Такие прогнозы могут привести к сенсационным историям в публичных СМИ, что повлечет за собой боязнь скрининговых исследований и отказ от безопасной и подходящей медицинской визуализации в ущерб пациенту [15]. Разделение на различные низкодозные исследования являет-

ся важным для снижения потенциального вреда от СРЛ.

Среди методик проведения КТ грудной клетки следует различать: 1) стандартные КТ, выполненные по предоставленным производителями протоколам со средней дозой 8 мЗв [28]; 2) НДКТ, которые имеют более низкую дозу, чем стандартные КТ, и могут быть нацелены не только на СРЛ [2]; 3) НДКТ для СРЛ, имеющие еще более низкую дозу, чем стандартные КТ, но отвечающие требованиям к качеству изображения и дозе лучевой нагрузки [17, 25]; 4) ультра-НДКТ с дозой лучевой нагрузки менее 1 мЗв не для СРЛ, а для других диагностических задач [42]; 5) ультра-НДКТ для СРЛ – необходимое для скрининга качество при дозе лучевой нагрузки до 1 мЗв [61], достигая дозы эквивалентной цифровой флюорографии – 0,06 мЗв [31].

Согласно рекомендациям National Comprehensive Cancer Network 2019 г., рекомендуемая доза ограничивается 3 мЗв для лиц с индексом массы тела (ИМТ) до 30 и до 5 мЗв при ИМТ более 30 [50]. В России требования Санитарных норм и правил ограничивают дозу лучевой нагрузки на лиц, проходящих при профилактических осмотрах рентгеновские исследования, до 1 мЗв в год [13]. В США использование НДКТ для СРЛ разрешено при дозах лучевой нагрузки более 1 мЗв [17].

#### **НДКТ в скрининге рака легкого**

Ранее нами указывалось несколько критериев для КТ при СРЛ, включающих толщину среза, протяженность сканирования, ширину поля обзора и другие параметры [3].

Европейские рекомендации по СРЛ предлагают переходить на ультра-НДКТ для СРЛ [51], что и выполнено в проекте МСРЛ. Таким образом, для России тождествами являются «НДКТ для скрининга рака легкого» и «ультра-НДКТ для скрининга рака легкого», то есть требуется либо использовать передовые системы КТ, способные достигать дозы лучевой нагрузки до 1 мЗв, применяя штатные протоколы сканирования, либо разрабатывать новые ультра-НДКТ-протоколы сканирования, объединяющие низкую дозу и получение достаточного качества изображений для СРЛ. Кроме стандартного НДКТ-сканирования, практикуется двойная НДКТ с задержкой дыхания на вдохе и на выдохе для раннего обнаружения ХОБЛ за счет выявления эмфиземы легких, воздушных ловушек [48]. ХОБЛ повышает риски развития РЛ [57] и общую смертность [40].

Доказанный метод НДКТ сравнивают с другими методами исследования, способными изменить привычный взгляд на СРЛ. Завершены первые исследования с применением томосинтеза [63], МРТ [46] и микроРНК [59]. Однако они все еще не имеют достаточных доказательств для внедрения в практику.

#### **Требования к томографу для выполнения НДКТ**

Кроме вышеобсуждаемой дозы лучевой нагрузки, есть технические требования к компьютерному

томографу для использования его в СРЛ: не менее чем 16-срезовый томограф; скорость ротации гентри в секунду  $\leq 0,5$ ; толщина среза  $\leq 2,5$  мм (рекомендована  $\leq 1$  мм); интервал между срезами меньше или равен толщине среза; время сканирования на одной задержке дыхания при максимальной глубине вдоха  $\leq 10$  с; возможность проводить реконструкции изображений в режиме максимальной интенсивности, рекомендуется использовать автоматические системы помощи обнаружения узлов в легких; сравнение с изображениями предыдущих исследований [50].

В МСРЛ минимальными требованиями являются: подключение томографа к Единому радиологическому информационному сервису (ЕРИС); возможность создавать новые протоколы сканирования на томографе для беспрепятственного их использования в рутинной практике; скорость ротации гентри в секунду  $\leq 0,5$ ; наличие установленных ультранизкодозных протоколов КТ для СРЛ, с достижением суммарного DLP по каждому из протоколов не более 58 мГр  $\times$  см при сканировании на протяжении не менее 360 мм; стандартное отклонение (SD) не более 26 единиц Хаунсфилда при толщине среза 1 мм, оцененное в фантоме, поставляемом производителем; не менее чем 16-срезовый томограф при обязательном наличии алгоритмов шумоподавления либо не менее 64 срезов без или с алгоритмами шумоподавления; возможность выполнения реконструкции при сканировании ультра-НДКТ для СРЛ с толщиной срезов не более 1 мм и шагом между ними (increment) не более 0,5 мм; возможность автоматически создавать файл отчета с показателями дозы лучевой нагрузки после каждого ультранизкодозного сканирования; автоматическое сохранение и отправка результатов обследования (изображения исследования и медицинские заключения врача-рентгенолога) в ЕРИС в цифровом виде; наличие программного комплекса для полуавтоматического (или автоматического) измерения объемов очагов в легких по данным ультра-НДКТ; удовлетворительные результаты тестирования на предмет соответствия уровню качества низкодозного сканирования с помощью специализированного антропометрического фантома.

#### **Интерпретация НДКТ**

В интерпретации НДКТ в СРЛ важнейшее место занимает методика оценки легочных узлов. Удалось добиться снижения смертности от РЛ на 20% в течение 10 лет наблюдений за счет измерения средних диаметров легочных узлов [16]. При оценке объема методом полуавтоматического оконтуривания легочных узелков снижение смертности от РЛ достигло 26% у мужчин и 61% у женщин [34]. Кроме этого, погрешность ручной оценки диаметров легочных узлов достигает 2,8 мм [32], значительно превышая 1,5-мм порог роста, рекомендованный в классификации Lung-RADS (LR), основанной на измерении средних диаметров легочных узлов [39].

Использование диаметров приводит к увеличению числа ложноположительных результатов НДКТ по сравнению с оценкой объемов легочных узлов [51]. В LungRADS выявленные солидные легочные узлы при первичном исследовании разделены на основные группы, от группы зависит тактика ведения. LR1 (нет очагов или они имеют признаки доброкачественной природы) и LR2 ( $< 6$  мм) – повтор НДКТ через 12 мес., вероятность злокачественности  $< 1\%$ ; LR3 ( $\geq 6 - < 8$  мм) – повтор НДКТ через 6 мес., вероятность злокачественности 1-2%; LR4A ( $\geq 8 - < 15$  мм) – на выбор: повтор НДКТ через 3 мес. или ПЭТ-КТ, вероятность злокачественности 5-15%; LR4B ( $\geq 15$  мм) – на выбор: полноценное КТ, или ПЭТ-КТ, или биопсия, вероятность злокачественности  $> 15\%$ . С 2017 г. обновилась рекомендация Флейшнеровского общества по тактике ведения легочных узлов [41]. Введены волюметрические критерии оценки узлов, задача СРЛ полностью делегирована LR [39]. Однако рекомендации LR в текущей версии не соответствуют тактике ведения пациентов в 15 различных сценариях [43]. Консенсус, разработанный в 2017 г. в Европе для СРЛ, включает измерение объема легочных узлов с уровнями  $\leq 100$  мм<sup>3</sup> (или  $\leq 5$  мм) – повторная НДКТ через год; 100-300 мм<sup>3</sup> (или 5-10 мм) – повторная НДКТ через 3 мес. с определением времени удвоения объема легочного узла;  $\geq 300$  мм<sup>3</sup> ( $\geq 10$  мм) – принятие решения о верификации на консилиуме [51]. Принимая во внимание погрешность полуавтоматической волюметрии, равную 20%, и погрешность линейных измерений, равную 7%, точность современных методологий измерения размеров очагов следует рассматривать с осторожностью [51]. Кроме этого, есть более сложные алгоритмы квантификации риска, как калькулятор Брока [45], включающий не только характеристики легочных узлов, но и локализацию в верхней доле, спикюлы, эмфизему, семейную отягощенность РЛ и половую принадлежность согласно рекомендациям Британского торакального общества 2015 г. [19]. Они в случае низкого риска (отсутствия узлов или незначительных узелков) на первичном НДКТ рекомендуют 2-летний интервал для повторного НДКТ в отличие от 1-летнего интервала в Lung-RADS. Это обусловлено тем, что при использовании 2-летних интервалов у лиц низкого риска вероятность развития РЛ была на 0,4% выше по сравнению с 1-летним интервалом при отсутствии различий по смертности от РЛ [52], в то время как в исследовании NELSON увеличенный до двух с половиной лет интервал привел к значительному увеличению появления РЛ между исследованиями НДКТ [72].

При описании узлов в легких необходимо указывать следующие параметры: наибольший средний диаметр (с указанием предыдущих размеров, если исследование является повторным, с комментарием увеличился / уменьшился / не изменился); тип (со-

лидный, полусолидный или по типу «матового стекла»); кальцификация (появление, локализация – центральная, эксцентрическая, концентрические кольца, по типу «попкорн», с точечными кальцинатами, аморфная); наличие жировых включений; форма и края (округлый/овальный, многоугольный/сглаженный, дольчатый, спикуюобразный); локализация (правое/левое легкое; доля; сегмент; субплевральное расположение); наименование серии и номера среза [50].

#### Классификация TNM

Обновленная классификация TNM 8-й версии привела к существенным изменениям для СРЛ в виде уменьшения размеров для ранних Т-категорий РЛ, сокращение T1a до  $\leq 1$  см, T1b до  $> 1-2$  см, T2a до  $> 3 - \leq 4$  см, T2b до  $> 4 - \leq 5$  см. Это важно с прогностической точки зрения, так как пациенты с T1aN0 имеют 5-летнюю выживаемость в 77-92% случаев [27]. При этом максимальный диаметр солидного узла измеряется в любой из трех ортогональных плоскостей в «легочном окне» изображений КТ, а для субсолидных узлов Т-категория определяется только размерами солидного компонента [27].

#### Автоматизация

СРЛ несет несколько предпосылок для применения алгоритмов искусственного интеллекта (ИИ): одинаковые диагностические задачи, большое количество изображений в каждом исследовании, а также возможность категоричного принятия решений согласно выбранной клинической методологии оценки легочных узлов. Кроме этого, алгоритмы машинного обучения возможно использовать для шумоподавления НДКТ, что дает возможность использовать более низкие дозы лучевой нагрузки [71], и в аудите текстов интерпретации НДКТ с 95%-ной точностью [7]. По всей видимости, роль ИИ для НДКТ в СРЛ будет продолжать увеличиваться, высвобождая время врачей-рентгенологов для когнитивно более сложных задач.

#### Экономическая эффективность

На основании данных систематического обзора 23 исследований показано, что СРЛ с НДКТ для граждан, входящих в группу риска, оказался экономически более выгодным [38]. В РФ (на примере Красноярского краевого клинического онкологического диспансера им. А. И. Крыжановского) проведен экономический расчет для 3 000 лиц в группе риска РЛ (50-64 года при стаже курения  $> 20$  пачка-лет). Средняя стоимость лечения одного пациента с I-II стадиями РЛ в Красноярском краевом онкологическом диспансере (в ценах 2015 г.) равна 140 520 руб., а III-IV стадии – 478 119 руб. Ожидаемая прямая экономическая эффективность СРЛ с помощью НДКТ от снижения затрат на лечение пациентов с поздними стадиями РЛ составляет до 7 089 579 руб. в год (35 447 895 руб. за 5 лет). За вычетом затрат на НДКТ в течение 5 лет, которые составят 60 000 000 руб., чистая экономическая

## Заключение

эффективность СРЛ ожидается 16 297 895 руб. [14]. При этом ежегодное экономическое бремя РЛ в РФ оценивается в 14,7 млрд руб. [1]. Кроме этого, использование 2-летних интервалов между НДКТ для лиц низкого риска РЛ предоставляет более широкие возможности для экономической эффективности программы СРЛ в целом [62].

В мировой литературе к 2019 г. накоплены значительные результаты использования НДКТ в СРЛ, позволяющие рассматривать этот метод как одно из приоритетных государственных направлений современного здравоохранения.

**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. Авксентьева М. В. и др. Оценка социально-экономического бремени рака легкого в Российской Федерации // Медицинские технологии. Оценка и выбор. – 2018. – № 4 (34).
2. Гомболевский В. А. и др. Низкодозовый протокол компьютерной томографии при лимфоме Ходжкина // Вестник Российского научного центра рентгенорадиологии Минздрава России. – 2013. – Т. 3, № 13.
3. Гомболевский В. А. и др. Организация и эффективность скрининга злокачественных новообразований легких методом низкодозной компьютерной томографии // Радиология-практика. – 2018. – № 1. – С. 28-36.
4. Гусамова Н. В. и др. Скрининг рака легкого методом НДКТ. Результаты за 2015-2017 годы КГБУЗ «Красноярский краевой клинический онкологический диспансер им. А. И. Крыжановского» // Современные достижения онкологии в клинической практике: материалы Всероссийской научно-практической конференции. РПФ «СМиК» Красноярск. – 2017. – С. 210.
5. Гусев К. В. и др. Опыт применения низкодозовой компьютерной томографии для раннего выявления рака легкого у населения Тюменской области // Академический журнал Западной Сибири. – 2018. – Т. 14, № 5. – С. 26.
6. Егорова А. Г., Орлов А. Е. Основные направления концепции развития и совершенствования онкологической службы Самарской области // Информационные технологии в медицине и фармакологии. – 2015. – С. 50-53.
7. Морозов С. П. и др. Искусственный интеллект: автоматизированный анализ текста на естественном языке для аудита радиологических исследований // Вестник рентгенологии и радиологии. – 2018. – Т. 99, № 5. – С. 253-258.
8. Морозов С. П. и др. Низкодозная компьютерная томография в Москве для скрининга рака легких (НДКТ-МСРЛ): базовые результаты // Вопросы онкологии. – 2019. – Т. 65, № 2. – С. 224-233.
9. Николаев А. Е. и др. Случайные находки при скрининге рака легкого методом низкодозной компьютерной томографии // Туб. и болезни легких. – 2018. – Т. 96, № 11. – С. 60-67.
10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности ОСПОРБ-99/2010. СП 2.6.1.2612-10.
11. Рекомендации по ранней диагностике рака легкого для врачей первичного звена // Вестник рентгенологии и радиологии. – 2016. – Т. 97, № 2. – С. 69-78.
12. Руководство по ранней диагностике рака [Guide to cancer early diagnosis]. Женева: Всемирная организация здравоохранения; 2018. Лицензия: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
13. СанПиН 2.6.1.1192-03 «Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований».
14. Сафонцев И. П. и др. Роль скрининга в управлении эпидемиологией рака легкого в Красноярском крае // Вопросы онкологии. – 2017. – Т. 63, № 3. – С. 385-393.
15. AAPM Position Statement on Radiation Risks from Medical Imaging Procedures 4.10.2018 URL: <https://www.aapm.org/org/policies/details.asp?id=318&type=PP&current=true&fbclid=IwAR0PvhjyBCC-rYkxVwjfPm5h1Pcasy8zfpPaC3RTQJD7KBOntinBwoecQVc> (дата последнего посещения 04.06.2019)
16. Aberle D. R. et al. National lung screening trial. Reduced lung-cancer mortality with low-dose computed tomographic screening // N. Engl. J. Med. – 2011. – Vol. 365. – P. 395-409.
1. Avksentieva M.V. et al. Assessment of the social economic burden of lung cancer in the Russian Federation. *Meditsinskiye Tekhnologii. Otsenka i Vybora*, 2018, no. 4 (34). (In Russ.)
2. Gombolevskiy V.A. et al. The low-dose computed tomography protocol for Hodgkin's lymphoma. *Vestnik Rossiyskogo Nauchnogo Tsentra Rentgenoradiologii Minzdrava Rossii*, 2013, vol. 3, no. 13. (In Russ.)
3. Gombolevskiy V.A. et al. Organization and efficiency of screening for malignant lung tumors by low-dose computed tomography. *Radiologiya-Praktika*, 2018, no. 1, pp. 28-36. (In Russ.)
4. Gusamova N.V. et al. *Lung cancer screening by LDCT. Results for 2015-2017 by Krasnoyarsk Regional Clinical Oncological Dispensary named after A.I. Kryzhanovskiy. Sovremennyye dostizheniya onkologii v klinicheskoy praktike: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. [Contemporary achievements of oncology in clinical practice. Abst. Book of the All-Russian scientific and practical conference]. RPF SMiK Publ., Krasnoyarsk, 2017, pp. 210. (In Russ.)
5. Gusev K.V. et al. Experience of using low-dose computed tomography for early detection of lung cancer in the population of Tyumen Region. *Akademicheskii Journal Zapadnoy Sibiri*, 2018, vol. 14, no. 5, pp. 26. (In Russ.)
6. Egorova A.G., Orlov A.E. The main components of the concept for development and improvement of the oncological services of Samara Region. *Informatsionnyye Tekhnologii v Meditsine i Farmakologii*, 2015, pp. 50-53. (In Russ.)
7. Morozov S.P. et al. Artificial intelligence: automated natural language text analysis for radiological examination audits. *Vestnik Rentgenologii i Radiologii*, 2018, vol. 99, no. 5, pp. 253-258. (In Russ.)
8. Morozov S.P. et al. Low-dose computed tomography in Moscow for lung cancer screening (LDCT-MLCS): baseline results. *Voprosy Onkologii*, 2019, vol. 65, no. 2, pp. 224-233. (In Russ.)
9. Nikolaev A.E. et al. Incidental findings during lung cancer screening by low-dose computed tomography. *Tuberculosis and Lung Diseases*, 2018, vol. 96, no. 11, pp. 60-67. (In Russ.)
10. *Osnovnyye sanitarnyye pravila obespecheniya radiatsionnoy bezopasnosti OSPORB-99/2010. SP 2.6.1.2612-10*. [Basic sanitary rules for ensuring radiation safety OSPORB-99/2010. SP 2.6.1.2612-10].
11. Recommendations for early diagnosis of lung cancer for primary care physicians. *Vestnik Rentgenologii i Radiologii*, 2016, vol. 97, no. 2, pp. 69-78. (In Russ.)
12. *Rukovodstvo po ranney diagnostike raka*. [Guide to cancer early diagnosis]. Geneva, World Health Organisation, 2018. License: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
13. *SanPiN 2.6.1.1192-03 Gigiyenicheskiye trebovaniya k ustroystvu i ekspluatatsii rentgenovskikh kabinetov, apparatov i provedeniyyu rentgenologicheskikh issledovaniy*. [SanPiN 2.6.1.1192-03. Hygienic Requirements for Design and Operation of X-ray Rooms, Scanners and X-ray examinations].
14. Safontsev I.P. et al. The role of screening in lung cancer control in Krasnoyarsk Region. *Voprosy Onkologii*, 2017, vol. 63, no. 3, pp. 385-393. (In Russ.)
15. AAPM Position Statement on Radiation Risks from Medical Imaging Procedures 4.10.2018 Available: <https://www.aapm.org/org/policies/details.asp?id=318&type=PP&current=true&fbclid=IwAR0PvhjyBCC-rYkxVwjfPm5h1Pcasy8zfpPaC3RTQJD7KBOntinBwoecQVc> (Accessed 04.06.2019)
16. Aberle D.R. et al. National lung screening trial. Reduced lung-cancer mortality with low-dose computed tomographic screening. *N. Engl. J. Med.*, 2011, vol. 365, pp. 395-409.

17. American Association of Physicists in Medicine et al. Lung cancer screening CT protocols, version 4.0. – 2016.
18. Bach P.B. et al. Benefits and Harms of CT Screening for Lung Cancer // *JAMA*. – 2012. – Vol. 30, № 22. – P. 2418.
19. Baldwin D.R., Callister M.E. J. The British Thoracic Society guidelines on the investigation and management of pulmonary nodules // *Thorax*. – 2015. – Vol. 70, № 8. – P. 794-798.
20. Becker N. et al. Randomized study on early detection of lung cancer with MSCT in Germany: study design and results of the first screening round // *J. Cancer Res. Clin. Oncol.* – 2012. – Vol. 138, № 9. – P. 1475-1486.
21. Blanchon T. et al. Baseline results of the Depiscan study: a French randomized pilot trial of lung cancer screening comparing low dose CT scan (LDCT) and chest X-ray (CXR) // *Lung Cancer*. – 2007. – Vol. 58, № 1. – P. 50-58.
22. Brain K. et al. Long-term psychosocial outcomes of low-dose CT screening: results of the UK Lung Cancer Screening randomised controlled trial // *Thorax*. – 2016. – Vol. 71, № 11. – P. 996-1005.
23. Bray F. et al. Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries // *CA: A Cancer Journal for Clinicians*. – 2018. – Vol. 68, № 6. – P. 394-424.
24. Buckens C.F. et al. Osteoporosis markers on low-dose lung cancer screening chest computed tomography scans predict all-cause mortality // *Eur. Radiology*. – 2014. – Vol. 25, № 1. – P. 132-139.
25. Cagnon C.H. et al. Description and implementation of a quality control program in an imaging-based clinical trial // *Academ. Radiol.* – 2006. – Vol. 13, № 11. – P. 1431-1441.
26. Cruz C.S.D., Tanoue L.T., Matthay R.A. Lung cancer: epidemiology, etiology, and prevention // *Clin. Chest Med.* – 2011. – Vol. 32, № 4. – P. 605-644.
27. Detterbeck F.C. et al. The eighth edition lung cancer stage classification // *Chest*. – 2017. – Vol. 151, № 1. – P. 193-203.
28. Gierada D.S. et al. CT quality assurance in the lung screening study component of the National Lung Screening Trial: implications for multicenter imaging trials // *Am. J. Roentgenol.* – 2009. – Vol. 193, № 2. – P. 419-424.
29. Gohagan J.K. et al. Final results of the Lung Screening Study, a randomized feasibility study of spiral CT versus chest X-ray screening for lung cancer // *Lung Cancer*. – 2005. – Vol. 47, № 1. – P. 9-15.
30. Gohagan J.K. et al. The prostate, lung, colorectal, and ovarian cancer screening trial of the National Cancer Institute // *Cancer*. – 1995. – Vol. 75, № S7. – P. 1869-1873.
31. Gordic S. et al. Ultralow-dose chest computed tomography for pulmonary nodule detection: first performance evaluation of single energy scanning with spectral shaping // *Investigative Radiol.* – 2014. – Vol. 49, № 7. – P. 465-473.
32. Heuvelmans M.A. et al. Disagreement of diameter and volume measurements for pulmonary nodule size estimation in CT lung cancer screening // *Thorax*. – 2018. – Vol. 73, № 8. – P. 779-781.
33. Hoffman R.M., Sanchez R. Lung cancer screening // *Med. Clin. North Amer.* – 2017. – Vol. 101, № 4. – P. 769-785.
34. Horeweg N. et al. Lung cancer probability in patients with CT-detected pulmonary nodules: a prespecified analysis of data from the NELSON trial of low-dose CT screening // *Lancet Oncol.* – 2014. – Vol. 15, № 12. – P. 1332-1341.
35. Infante M. et al. A randomized study of lung cancer screening with spiral computed tomography: three-year results from the DANTE trial // *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* – 2009. – Vol. 180, № 5. – P. 445-453.
36. International Commission on Radiological Protection (ICRP) Guidance for Occupational Exposure URL: [https://www.remm.nlm.gov/ICRP\\_guidelines.htm](https://www.remm.nlm.gov/ICRP_guidelines.htm) (дата последнего посещения 04.06.2019 г.).
37. Li K. et al. Selecting high-risk individuals for lung cancer screening: a prospective evaluation of existing risk models and eligibility criteria in the German EPIC cohort // *Cancer Prevent. Res.* – 2015. – Vol. 8, № 9. – P. 777-785.
38. Liu C.C. et al. Cost-effectiveness of lung cancer screening worldwide: a systematic review // *Zhonghua liu xing bing xue za zhi=Zhonghua liuxingbingxue zazhi*. – 2019. – Vol. 40, № 2. – P. 218-226.
39. Lung-RADS™ Version 1.0 Assessment Categories Release date: April 28, 2014 URL: [https://www.acr.org/-/media/ACR/Files/RADS/Lung-RADS/LungRADS\\_AssessmentCategories.pdf?la=en](https://www.acr.org/-/media/ACR/Files/RADS/Lung-RADS/LungRADS_AssessmentCategories.pdf?la=en) (дата последнего посещения 04.06.2019 г.).
40. Lynch D.A. et al. CT-based visual classification of emphysema: association with mortality in the COPDGene study // *Radiology*. – 2018. – Vol. 288, № 3. – P. 859-866.
17. American Association of Physicists in Medicine et al. Lung cancer screening CT protocols, version 4.0. 2016.
18. Bach P.B. et al. Benefits and Harms of CT Screening for Lung Cancer. *JAMA*, 2012, vol. 30, no. 22, pp. 2418.
19. Baldwin D.R., Callister M.E.J. The British Thoracic Society guidelines on the investigation and management of pulmonary nodules. *Thorax*, 2015, vol. 70, no. 8, pp. 794-798.
20. Becker N. et al. Randomized study on early detection of lung cancer with MSCT in Germany: study design and results of the first screening round. *J. Cancer Res. Clin. Oncol.*, 2012, vol. 138, no. 9, pp. 1475-1486.
21. Blanchon T. et al. Baseline results of the Depiscan study: a French randomized pilot trial of lung cancer screening comparing low dose CT scan (LDCT) and chest X-ray (CXR). *Lung Cancer*, 2007, vol. 58, no. 1, pp. 50-58.
22. Brain K. et al. Long-term psychosocial outcomes of low-dose CT screening: results of the UK Lung Cancer Screening randomised controlled trial. *Thorax*, 2016, vol. 71, no. 11, pp. 996-1005.
23. Bray F. et al. Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, 2018, vol. 68, no. 6, pp. 394-424.
24. Buckens C.F. et al. Osteoporosis markers on low-dose lung cancer screening chest computed tomography scans predict all-cause mortality. *Eur. Radiology*, 2014, vol. 25, no. 1, pp. 132-139.
25. Cagnon C.H. et al. Description and implementation of a quality control program in an imaging-based clinical trial. *Academ. Radiol.*, 2006, vol. 13, no. 11, pp. 1431-1441.
26. Cruz C.S.D., Tanoue L.T., Matthay R.A. Lung cancer: epidemiology, etiology, and prevention. *Clin. Chest Med.*, 2011, vol. 32, no. 4, pp. 605-644.
27. Detterbeck F.C. et al. The eighth edition lung cancer stage classification. *Chest*, 2017, vol. 151, no. 1, pp. 193-203.
28. Gierada D.S. et al. CT quality assurance in the lung screening study component of the National Lung Screening Trial: implications for multicenter imaging trials. *Am. J. Roentgenol.*, 2009, vol. 193, no. 2, pp. 419-424.
29. Gohagan J.K. et al. Final results of the Lung Screening Study, a randomized feasibility study of spiral CT versus chest X-ray screening for lung cancer. *Lung Cancer*, 2005, vol. 47, no. 1, pp. 9-15.
30. Gohagan J.K. et al. The prostate, lung, colorectal, and ovarian cancer screening trial of the National Cancer Institute. *Cancer*, 1995, vol. 75, no. S7, pp. 1869-1873.
31. Gordic S. et al. Ultralow-dose chest computed tomography for pulmonary nodule detection: first performance evaluation of single energy scanning with spectral shaping. *Investigative Radiol.*, 2014, vol. 49, no. 7, pp. 465-473.
32. Heuvelmans M.A. et al. Disagreement of diameter and volume measurements for pulmonary nodule size estimation in CT lung cancer screening. *Thorax*, 2018, vol. 73, no. 8, pp. 779-781.
33. Hoffman R.M., Sanchez R. Lung cancer screening. *Med. Clin. North Amer.*, 2017, vol. 101, no. 4, pp. 769-785.
34. Horeweg N. et al. Lung cancer probability in patients with CT-detected pulmonary nodules: a prespecified analysis of data from the NELSON trial of low-dose CT screening. *Lancet Oncol.*, 2014, vol. 15, no. 12, pp. 1332-1341.
35. Infante M. et al. A randomized study of lung cancer screening with spiral computed tomography: three-year results from the DANTE trial. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*, 2009, vol. 180, no. 5, pp. 445-453.
36. International Commission on Radiological Protection (ICRP) Guidance for Occupational Exposure. (Available: [https://www.remm.nlm.gov/ICRP\\_guidelines.htm](https://www.remm.nlm.gov/ICRP_guidelines.htm) Accessed 04.06.2019).
37. Li K. et al. Selecting high-risk individuals for lung cancer screening: a prospective evaluation of existing risk models and eligibility criteria in the German EPIC cohort. *Cancer Prevent. Res.*, 2015, vol. 8, no. 9, pp. 777-785.
38. Liu C.C. et al. Cost-effectiveness of lung cancer screening worldwide: a systematic review. *Zhonghua Liu Xing Bing Xue Za Zhi=Zhonghua Liuxingbingxue Zazhi*, 2019, vol. 40, no. 2, pp. 218-226.
39. Lung-RADS™ Version 1.0 Assessment Categories. Release date: April 28, 2014. Available: [https://www.acr.org/-/media/ACR/Files/RADS/Lung-RADS/LungRADS\\_AssessmentCategories.pdf?la=en](https://www.acr.org/-/media/ACR/Files/RADS/Lung-RADS/LungRADS_AssessmentCategories.pdf?la=en) Accessed 04.06.2019.
40. Lynch D.A. et al. CT-based visual classification of emphysema: association with mortality in the COPDGene study. *Radiology*, 2018, vol. 288, no. 3, pp. 859-866.

41. MacMahon H. et al. Guidelines for management of incidental pulmonary nodules detected on CT images: from the Fleischner Society 2017 // *Radiology*. – 2017. – Vol. 284, № 1. – P. 228-243.
42. Macri F. et al. Value of ultra-low-dose chest CT with iterative reconstruction for selected emergency room patients with acute dyspnea // *Eur. J. Radiol.* – 2016. – Vol. 85, № 9. – P. 1637-1644.
43. Martin M. D. et al. Lung-RADS: pushing the limits // *Radiographics*. – 2017. – Vol. 37, № 7. – P. 1975-1993.
44. McClelland R. L. et al. Distribution of coronary artery calcium by race, gender, and age // *Circulation*. – 2006. – Vol. 113, № 1. – P. 30-37.
45. McWilliams A. et al. Probability of cancer in pulmonary nodules detected on first screening CT // *New Engl. J. Med.* – 2013. – Vol. 369, № 10. – P. 910-919.
46. Meier-Schroers M. et al. Lung cancer screening with MRI: results of the first screening round // *J. Cancer Res. Clin. Oncol.* – 2018. – Vol. 144, № 1. – P. 117-125.
47. Mets O. M. et al. Diagnosis of chronic obstructive pulmonary disease in lung cancer screening Computed Tomography scans: independent contribution of emphysema, air trapping and bronchial wall thickening // *Respir. Res.* – 2013. – Vol. 14, № 1. – P. 59.
48. Mets O.M. et al. Identification of chronic obstructive pulmonary disease in lung cancer screening computed tomographic scans. *Jama*, 2011, vol. 306, no. 16, pp. 1775-1781.
49. Nawa T. et al. A population-based cohort study to evaluate the effectiveness of lung cancer screening using low-dose CT in Hitachi city, Japan // *Japanese J. Clin. Oncol.* – 2018. – Vol. 49, № 2. – P. 130-136.
50. NCCN guidelines version 2.2019 Lung cancer screening URL: [https://www.nccn.org/professionals/physician\\_gls/pdf/lung\\_screening.pdf](https://www.nccn.org/professionals/physician_gls/pdf/lung_screening.pdf) (дата последнего посещения 04.06.2019 г.).
51. Oudkerk M. et al. European position statement on lung cancer screening // *Lancet Oncol.* – 2017. – Vol. 18, № 12. – P. e754-e766.
52. Pastorino U. et al. Annual or biennial CT screening versus observation in heavy smokers: 5-year results of the MILD trial // *Eur. J. Cancer Prevention*. – 2012. – Vol. 21, № 3. – P. 308-315.
53. Pastorino U. et al. Prolonged lung cancer screening reduced 10-year mortality in the MILD trial: new confirmation of lung cancer screening efficacy // *Ann. Oncol.* – 2019.
54. Pegna A. L. et al. Four-year results of low-dose CT screening and nodule management in the ITALUNG trial // *J. Thoracic Oncol.* – 2013. – Vol. 8, № 7. – P. 866-875.
55. Program in Epidemiology of Chronic Pulmonary Diseases. 2018. URL: [http://www.cumc.columbia.edu/dept/medicine/generalmed/epi\\_lung.htm](http://www.cumc.columbia.edu/dept/medicine/generalmed/epi_lung.htm). Accessed 9 July 2018 (дата последнего посещения 04.06.2019 г.).
56. Radiological Society of North America. Radiology info for patients URL: [www.radiologyinfo.org](http://www.radiologyinfo.org). Accessed August 22, 2013 (дата последнего посещения: 04.06.2019 г.).
57. Sanchez-Salcedo P. et al. Improving selection criteria for lung cancer screening. The potential role of emphysema // *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* – 2015. – Vol. 191, № 8. – P. 924-931.
58. Shen H. Low-dose CT for lung cancer screening: opportunities and challenges // *Frontiers of Medicine*. – 2017. – Vol. 12, № 1. – P. 116-121.
59. Sozzi G. et al. Clinical utility of a plasma-based miRNA signature classifier within computed tomography lung cancer screening: a correlative MILD trial study // *J. Clin. Oncol.* – 2014. – Vol. 32, № 8. – P. 768.
60. Spearman J. V. et al. Prognostic value of epicardial fat volume measurements by computed tomography: a systematic review of the literature // *Eur. Radiol.* – 2015. – Vol. 25, № 11. – P. 3372-3381.
61. Takahashi E. A. et al. Prospective pilot evaluation of radiologists and computer-aided pulmonary nodule detection on ultra-low-dose CT with tin filtration // *J. Thoracic Imaging*. – 2018. – Vol. 33, № 6. – P. 396-401.
62. ten Haaf K. et al. Performance and cost-effectiveness of computed tomography lung cancer screening scenarios in a population-based setting: a microsimulation modeling analysis in Ontario, Canada // *PLoS Med.* – 2017. – Vol. 14, № 2. – P. E1002225.
63. Terzi A. et al. Lung cancer detection with digital chest tomosynthesis: baseline results from the observational study SOS // *J. Thoracic Oncol.* – 2013. – Vol. 8, № 6. – P. 685-692.
64. The top 10 causes of death. WHO. 2018. URL: <http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>. Accessed 4 July 2018 (дата обращения: 04.06.2019).
41. MacMahon H. et al. Guidelines for management of incidental pulmonary nodules detected on CT images: from the Fleischner Society 2017. *Radiology*, 2017, vol. 284, no. 1, pp. 228-243.
42. Macri F. et al. Value of ultra-low-dose chest CT with iterative reconstruction for selected emergency room patients with acute dyspnea. *Eur. J. Radiol.*, 2016, vol. 85, no. 9, pp. 1637-1644.
43. Martin M.D. et al. Lung-RADS: pushing the limits. *Radiographics*, 2017, vol. 37, no. 7, pp. 1975-1993.
44. McClelland R.L. et al. Distribution of coronary artery calcium by race, gender, and age. *Circulation*, 2006, vol. 113, no. 1, pp. 30-37.
45. McWilliams A. et al. Probability of cancer in pulmonary nodules detected on first screening CT. *New Engl. J. Med.*, 2013, vol. 369, no. 10, pp. 910-919.
46. Meier-Schroers M. et al. Lung cancer screening with MRI: results of the first screening round. *J. Cancer Res. Clin. Oncol.*, 2018, vol. 144, no. 1, pp. 117-125.
47. Mets O.M. et al. Diagnosis of chronic obstructive pulmonary disease in lung cancer screening Computed Tomography scans: independent contribution of emphysema, air trapping and bronchial wall thickening. *Respir. Res.*, 2013, vol. 14, no. 1, pp. 59.
48. Mets O.M. et al. Identification of chronic obstructive pulmonary disease in lung cancer screening computed tomographic scans. *Jama*, 2011, vol. 306, no. 16, pp. 1775-1781.
49. Nawa T. et al. A population-based cohort study to evaluate the effectiveness of lung cancer screening using low-dose CT in Hitachi city, Japan. *Japanese J. Clin. Oncol.*, 2018, vol. 49, no. 2, pp. 130-136.
50. NCCN guidelines version 2.2019 Lung cancer screening Available: [https://www.nccn.org/professionals/physician\\_gls/pdf/lung\\_screening.pdf](https://www.nccn.org/professionals/physician_gls/pdf/lung_screening.pdf) Accessed 04.06.2019.
51. Oudkerk M. et al. European position statement on lung cancer screening. *Lancet Oncol.*, 2017, vol. 18, no. 12, pp. e754-e766.
52. Pastorino U. et al. Annual or biennial CT screening versus observation in heavy smokers: 5-year results of the MILD trial. *Eur. J. Cancer Prevention*, 2012, vol. 21, no. 3, pp. 308-315.
53. Pastorino U. et al. Prolonged lung cancer screening reduced 10-year mortality in the MILD trial: new confirmation of lung cancer screening efficacy. *Ann. Oncol.*, 2019.
54. Pegna A.L. et al. Four-year results of low-dose CT screening and nodule management in the ITALUNG trial. *J. Thoracic Oncol.*, 2013, vol. 8, no. 7, pp. 866-875.
55. Program in Epidemiology of Chronic Pulmonary Diseases. 2018. Available: [http://www.cumc.columbia.edu/dept/medicine/generalmed/epi\\_lung.htm](http://www.cumc.columbia.edu/dept/medicine/generalmed/epi_lung.htm). Accessed 9 July 2018.
56. Radiological Society of North America. Radiology info for patients. Available: [www.radiologyinfo.org](http://www.radiologyinfo.org). Accessed August 22, 2013.
57. Sanchez-Salcedo P. et al. Improving selection criteria for lung cancer screening. The potential role of emphysema. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*, 2015, vol. 191, no. 8, pp. 924-931.
58. Shen H. Low-dose CT for lung cancer screening: opportunities and challenges. *Frontiers of Medicine*, 2017, vol. 12, no. 1, pp. 116-121.
59. Sozzi G. et al. Clinical utility of a plasma-based miRNA signature classifier within computed tomography lung cancer screening: a correlative MILD trial study. *J. Clin. Oncol.*, 2014, vol. 32, no. 8, pp. 768.
60. Spearman J.V. et al. Prognostic value of epicardial fat volume measurements by computed tomography: a systematic review of the literature. *Eur. Radiol.*, 2015, vol. 25, no. 11, pp. 3372-3381.
61. Takahashi E.A. et al. Prospective pilot evaluation of radiologists and computer-aided pulmonary nodule detection on ultra-low-dose CT with tin filtration. *J. Thoracic Imaging*, 2018, vol. 33, no. 6, pp. 396-401.
62. ten Haaf K. et al. Performance and cost-effectiveness of computed tomography lung cancer screening scenarios in a population-based setting: a microsimulation modeling analysis in Ontario, Canada. *PLoS Med.*, 2017, vol. 14, no. 2, pp. E1002225.
63. Terzi A. et al. Lung cancer detection with digital chest tomosynthesis: baseline results from the observational study SOS. *J. Thoracic Oncol.*, 2013, vol. 8, no. 6, pp. 685-692.
64. The top 10 causes of death. WHO, 2018. Available: <http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>. Accessed 4 July 2018.



65. US Preventive Services Task Force. Final Update Summary: Lung Cancer: Screening. 2015. URL: <http://www.uspreventiveservicestaskforce.org/Page/Document/UpdateSummaryFinal/lung-cancer-screening> (accessed July 26, 2017) (дата обращения: 04.06.2019 г.).
66. Veronesi G. et al. Computed tomography screening for lung cancer: results of ten years of annual screening and validation of cosmos prediction model // *Lung Cancer*. – 2013. – Vol. 82, № 3. – P. 426-430.
67. Wille M. M. W. et al. Results of the randomized Danish lung cancer screening trial with focus on high-risk profiling // *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* – 2016. – Vol. 193, № 5. – P. 542-551.
68. Woo K. M. et al. Surrogate markers and the association of low-dose CT lung cancer screening with mortality // *JAMA Oncology*. – 2018. – Vol. 4, № 7. – P. 1006.
69. Wood D. E. et al. Lung Cancer Screening, Version 3.2018, NCCN Clinical Practice Guidelines in Oncology // *J. National Comprehensive Cancer Network*. – 2018. – Vol. 16, № 4. – P. 412-441.
70. Xia C. et al. Early imaging biomarkers of lung cancer, COPD and coronary artery disease in the general population: rationale and design of the ImaLife (Imaging in Lifelines) Study // *Eur. J. Epidemiol.* – 2019.
71. You C. et al. Structurally-sensitive multi-scale deep neural network for low-dose CT denoising // *IEEE Access*. – 2018. – Vol. 6. – P. 41839-41855.
72. Yousaf-Khan U. et al. Final screening round of the NELSON lung cancer screening trial: the effect of a 2.5-year screening interval // *Thorax*. – 2017. – Vol. 72, № 1. – P. 48-56.
65. US Preventive Services Task Force. Final Update Summary: Lung Cancer: Screening. 2015. Available: <http://www.uspreventiveservicestaskforce.org/Page/Document/UpdateSummaryFinal/lung-cancer-screening> (accessed July 26, 2017).
66. Veronesi G. et al. Computed tomography screening for lung cancer: results of ten years of annual screening and validation of cosmos prediction model. *Lung Cancer*, 2013, vol. 82, no. 3, pp. 426-430.
67. Wille M.M.W. et al. Results of the randomized Danish lung cancer screening trial with focus on high-risk profiling. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.*, 2016, vol. 193, no. 5, pp. 542-551.
68. Woo K.M. et al. Surrogate markers and the association of low-dose CT lung cancer screening with mortality. *JAMA Oncology*, 2018, vol. 4, no. 7, pp. 1006.
69. Wood D.E. et al. Lung Cancer Screening, Version 3.2018, NCCN Clinical Practice Guidelines in Oncology. *J. National Comprehensive Cancer Network*, 2018, vol. 16, no. 4, pp. 412-441.
70. Xia C. et al. Early imaging biomarkers of lung cancer, COPD and coronary artery disease in the general population: rationale and design of the ImaLife (Imaging in Lifelines) Study. *Eur. J. Epidemiol.*, 2019.
71. You C. et al. Structurally-sensitive multi-scale deep neural network for low-dose CT denoising. *IEEE Access*, 2018, vol. 6, pp. 41839-41855.
72. Yousaf-Khan U. et al. Final screening round of the NELSON lung cancer screening trial: the effect of a 2.5-year screening interval. *Thorax*, 2017, vol. 72, no. 1, pp. 48-56.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

ГБУЗ «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы», 109029, Москва, Средняя Калитниковская ул., д. 28, стр. 1. Тел.: +7 (495) 670-74-80.

**Гомболевский Виктор Александрович**  
кандидат медицинских наук,  
руководитель отдела развития качества радиологии.  
E-mail: [gombolevskiy@nrcmr.ru](mailto:gombolevskiy@nrcmr.ru)

**Чернина Валерия Юрьевна**  
младший научный сотрудник отдела развития качества радиологии.  
E-mail: [chernina909@gmail.com](mailto:chernina909@gmail.com)

**Блохин Иван Андреевич**  
младший научный сотрудник отдела развития качества радиологии.  
E-mail: [blokhin.ioann@gmail.com](mailto:blokhin.ioann@gmail.com)

**Николаев Александр Евгеньевич**  
младший научный сотрудник отдела развития качества радиологии.  
E-mail: [a.e.nikolaev@yandex.ru](mailto:a.e.nikolaev@yandex.ru)

**Морозов Сергей Павлович**  
доктор медицинских наук, профессор, директор.  
Тел.: +7 (495) 678-54-95.  
E-mail: [sptomoroz@gmail.com](mailto:sptomoroz@gmail.com)

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Scientific Practical Clinical Center of Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow Health Department, 28, Bd. 1, Srednaya Kalitnikovskaya St., Moscow, 109029. Phone: +7 (495) 670-74-80.

**Viktor A. Gombolevskiy**  
Candidate of Medical Sciences,  
Head of Department for Radiology Quality Enhancement.  
Email: [gombolevskiy@nrcmr.ru](mailto:gombolevskiy@nrcmr.ru)

**Valeriya Yu. Chernina**  
Junior Researcher of Department for Radiology Quality Enhancement.  
Email: [chernina909@gmail.com](mailto:chernina909@gmail.com)

**Ivan A. Blokhin**  
Junior Researcher of Department for Radiology Quality Enhancement.  
Email: [blokhin.ioann@gmail.com](mailto:blokhin.ioann@gmail.com)

**Aleksandr E. Nikolaev**  
Junior Researcher of Department for Radiology Quality Enhancement.  
Email: [a.e.nikolaev@yandex.ru](mailto:a.e.nikolaev@yandex.ru)

**Sergey P. Morozov**  
Doctor of Medical Sciences, Professor, Director.  
Phone: +7 (495) 678-54-95.  
Email: [sptomoroz@gmail.com](mailto:sptomoroz@gmail.com)

**Барчук Антон Алексеевич**

ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н. Н. Петрова» МЗ РФ,  
научный сотрудник.

197758, Санкт-Петербург, пос. Песочный,

ул. Ленинградская, д. 68.

Тел.: +7 (812) 439-95-54.

E-mail: barchuk.anton@gmail.com

**Anton A. Barchuk**

Petrov National Medical Research Center of Oncology,  
Researcher.

68, Leningradskaya St., Settlement of Pesochny,

St. Petersburg, 197758.

Phone: +7 (812) 439-95-54.

Email: barchuk.anton@gmail.com

Поступила 27.11.2019

Submitted as of 27.11.2019