

## Оценка эффективных доз пациентов при проведении низкодозовой компьютерной томографии

П.С. Дружинина<sup>1</sup>, А.В. Водоватов<sup>1,2</sup>, И.К. Романович<sup>1</sup>, Л.А. Чипига<sup>1,3,4</sup>, Г.В. Беркович<sup>4</sup>, А.Д. Ушков<sup>5</sup>,  
А.О. Нефедов<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

<sup>4</sup>Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

<sup>5</sup>Научно-исследовательский институт Фтизиопульмонологии, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

*Использование компьютерной томографии для проведения диагностики социально значимых заболеваний становится все более распространённым за последние годы. В зарубежной практике разработаны и внедрены схемы скрининга рака лёгкого у лиц, принадлежащих к категориям риска. Данные схемы успешно применяются на протяжении последних 10 лет. При этом используют так называемые «низкодозовые» протоколы сканирования, позволяющие выполнить исследование с эффективной дозой пациента в несколько раз ниже по сравнению со стандартными протоколами. Метод скрининга рака лёгкого с использованием низкодозовой компьютерной томографии начинается внедряться в Российской Федерации. Для обеспечения радиационной безопасности тех лиц, которые попадают под критерии включения в скрининговые программы, или участвуют в биомедицинских исследованиях для апробации скрининга рака лёгкого, необходимо выполнить оценку эффективных доз при проведении низкодозовой компьютерной томографии и сравнить эти дозы с установленными ограничениями доз облучения. В рамках данного исследования была выполнена оценка эффективных доз пациентов, которым были выполнены различные виды низкодозовой компьютерной томографии органов грудной клетки в двух медицинских организациях. Результаты исследования показывают, что добиться неперевышения действующего ограничения годовой эффективной дозы в 1 мЗв возможно только для пациентов с массой тела менее 90 кг. Для пациентов с более высокой массы тела минимальная эффективная доза будет находиться в диапазоне 1.2–1.4 мЗв. Результаты работы свидетельствуют о необходимости внесения изменений в действующие нормативно-методические документы Роспотребнадзора для обеспечения возможности применения низкодозовой компьютерной томографии в рамках скрининга для всех категорий лиц.*

**Ключевые слова:** низкодозовая компьютерная томография, эффективная доза, скрининг рака лёгкого, скрининговые исследования.

### Введение

Низкодозовая компьютерная томография (НДКТ) - метод компьютерной томографии, при которой пациент за одно исследование получает эффективную дозу меньше, чем при стандартном компьютерно-томографическом (КТ) исследовании [1-3].

НДКТ применяется для диагностики многих анатомических областей, в т.ч. легких, головы, костей, всего тела, почек и мочевыводящей системы [4-10].

В Российской Федерации под НДКТ подразумевается метод компьютерной томографии, при которой пациент за одно исследование получает эффективную дозу менее

1 мЗв. Данная верхняя граница эффективной дозы обусловлена необходимостью выполнить требование п. 5.4.4 НРБ 99/2009: «при проведении обоснованных медицинских рентгенорадиологических профилактических медицинских исследований практически здоровых лиц, годовая эффективная доза не должна превышать 1 мЗв»<sup>1</sup>. Аналогичное ограничение в 1 мЗв/год устанавливается и для практически здоровых лиц, принимающих участие в научных исследованиях (т.е. участвующих в клинических испытаниях НДКТ для скрининга рака лёгкого). Для сравнения диапазоны типичных эффективных доз для НДКТ органов грудной клетки в зарубежных странах составляют 0,6-2,5 мЗв [5, 11].

<sup>1</sup> СанПин 2.6.1.2523-09 "Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)" [SanPiN 2.6.1.2523-09 "Radiation Safety Standards (NRB-99/2009)" (In Russ.)]

**Дружинина Полина Сергеевна**

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева  
Адрес для переписки: 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: druzhininapauline@gmail.com

В соответствии с международными подходами, целью скрининга является выявление во внешне здоровой популяции лиц с более высоким риском заболевания или патологического состояния с целью предложения более раннего лечения или вмешательства, что, в свою очередь, позволит обеспечить улучшение состояния здоровья некоторых лиц, прошедших обследование [12]. В Российской Федерации под скринингом понимают первый этап диспансеризации (профилактического медицинского осмотра), направленный на «выявление у граждан признаков хронических неинфекционных заболеваний, факторов риска их развития, а также определения медицинских показаний к выполнению дополнительных обследований и осмотров врачами-специалистами для уточнения диагноза заболевания (состояния) на втором этапе диспансеризации»<sup>2</sup>.

В Российской Федерации мероприятия, направленные на выявление рака легкого, могут проводиться в рамках второго этапа диспансеризации (дополнительное обследование и уточнение диагноза (состояния)). Для граждан в случае подозрения на злокачественные новообразования легкого могут назначать рентгенографию легких или КТ-легких; при этом вид КТ («высокodoзовые» или «низкодозовые») не определен<sup>3</sup>.

На данный момент в Российской Федерации в медицинском профессиональном сообществе складывается практика использования термина НДКТ-скрининг. Так в отдельных регионах Российской Федерации (например, г. Москва, г. Санкт-Петербург) реализуются локальные программы скрининга рака легкого с применением НДКТ, но статус этих программ не определен. Как правило, все они реализуются в рамках пилотных проектов [14-16].

Ограничение доз облучения при проведении профилактических медицинских исследований в Российской Федерации приводят к разработке целого спектра методик проведения КТ органов грудной клетки, в том числе ультра-НДКТ с эффективной дозой за исследование менее 1 мЗв. Отдельные работы заявляют о возможности выполнить НДКТ с дозой 0,06 мЗв за исследование [4, 13]. Представленные дозы определены для стандартных пациентов и/или фантомов. У отдельных пациентов с высокой массой тела или индексом массы тела дозы облучения могут быть выше по сравнению с заявленными.

Необходимо провести оценку эффективных доз пациентов и качества диагностического изображения при проведении НДКТ для оценки возможности применения низкодозовых протоколов на практике.

В Российской Федерации на текущий момент проходят несколько клинических испытаний по использованию НДКТ для скрининга рака легкого [14-16]. При этом результаты оценки доз облучения пациентов недоступны, или приводятся в обобщенном виде.

**Цель исследования** – оценка эффективных доз пациентов и качества КТ-изображения для различных протоколов НДКТ легких, используемых в медицинских организациях г. Санкт-Петербурга.

## Задачи исследования

1. Оценить эффективные дозы для стандартных пациентов для протоколов НДКТ органов грудной клетки (для скрининга рака легкого, для диагностики COVID-19) с использованием антропоморфного фантома в двух медицинских организациях г. Санкт-Петербурга;
2. Оценить качество полученных диагностических изображений;
3. Провести ретроспективный сбор данных по параметрам протоколов НДКТ органов грудной клетки для пациентов;
4. Оценить полдозависимые эффективные дозы пациентов, которым была выполнена НДКТ на различных протоколах.

## Материалы и методы

Работа была выполнена в КТ-отделениях ФБУН «Санкт-Петербургского научно-исследовательского института фтизиопульмонологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации (далее – СПб НИИФ) и ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации. Исследование проходило в два этапа: 1) определение эффективных доз и оценка качества изображения для протоколов НДКТ с использованием антропоморфного фантома органов грудной клетки; и 2) ретроспективная оценка уровней облучения пациентов, которым были выполнены исследования с использованием протоколов НДКТ органов грудной клетки.

### *Этап 1. Исследование с использованием антропоморфного фантома*

Данный этап был выполнен с использованием фантома грудной клетки взрослого человека Lungman (PH-1 Multipurpose Chest Phantom N1 "Lungman") [17], являющегося точной анатомической моделью человеческого торса, выполненной из материалов, эквивалентных биологическим тканям по поглощению рентгеновского излучения. Данный фантом соответствует стандартному пациенту-мужчине (масса тела 75 кг, рост 175 см). Перед исследованием в легкие фантома были помещены имитаторы патологических образований в легочной ткани.

В легкие фантома было помещено 7 очагов: 5 в правое легкое и 2 в левое легкое. Использовались очаги, выполненные из пеноуретана, полиуретана и марли. Размеры, форма и плотность очагов соответствовали образованиям, характерным для рака легкого [6]. Диапазон плотности очагов находился в пределах от -800 HU до +600 HU.

В СПб НИИФ сканирование фантома проводилось на трех низкодозовых протоколах КТ-исследования грудной клетки, предназначенных для пациентов с разной массой тела: <59 кг, 60-90 кг и >90 кг. Все три протокола используются в данной медицинской организации для скрининга рака легкого. В НМИЦ им. В.А. Алмазова использовался один низкодозовый протокол, предназначенный для выявления очаговых образований в легких, использовавшийся для диагностики COVID-19.

<sup>2</sup> Приказ Министерства здравоохранения РФ от 27 апреля 2021 г. N 404н «Об утверждении порядка проведения профилактического медицинского осмотра и диспансеризации определенных групп взрослого населения» [Order of the Ministry of Health of the Russian Federation dated April 27, 2021 N 404n "On approval of the procedure for conducting preventive medical examination and medical examination of certain groups of the adult population" (In Russ.)]

<sup>3</sup> В связи с неопределенным статусом НДКТ в отечественных документах в рамках данной работы будет использоваться термин НДКТ-скрининг, как общеупотребительный в отечественной и международной практике.

В СПб НИИФ сканирование фантома проводилось на компьютерном томографе модели Aquilion CT (Toshiba), в НМИЦ им. В.А. Алмазова на компьютерном томографе модели Ingenuity CT (Philips). Исследование фантома проводилось на аппаратах, прошедших контроль эксплуатационных параметров в 2022 году.

Параметры проколов сканирования грудной клетки фантома представлены в таблице 1. Необходимо отметить, что не для всех протоколов применялась функция автоматической модуляции силы тока (см. таблицу 1).

Качество полученных изображений оценивалось по возможности идентифицировать очаги в легких. Была проведена субъективная оценка качества КТ-изображений, в которой принимали участие врачи-рентгенологи исследуемых КТ-отделений (в СПб НИИФ – 2 врача-рентгенолога, в НМИЦ им. В.А. Алмазова – 1 врач-рентгенолог) со стажем работы не менее 7 лет. Врачи оценивали качество изображений, полученных в своих медицинских организациях. Качество КТ-изображений оценивалось с помощью программного обеспечения MicroDicom Viewer. Критерием хорошего качества КТ-изображения была возможность идентифицировать имитаторы очагов в легких.

*Этап 2. Сбор данных по пациентам*

В СПб НИИФ данные были собраны для 39 пациентов (для протокола <59 кг – 1 пациент, для протокола 60-90 кг – 19 пациентов, для протокола >90 кг – 19 пациентов), в НМИЦ им. В.А. Алмазова – также 39 пациентов (всего 78 пациентов из двух медицинских организаций г. Санкт-Петербурга).

Параметры проведения исследований были получены из DICOM-файлов КТ-исследований. Для каждого КТ-исследования были определены: напряжение на трубке, экспозиция, питч, объемный компьютерно-томографический индекс дозы (далее –  $CTDI_{vol}$ ) и длина сканирования. В обеих медицинских организациях длина

сканирования определялась по топограммам с помощью измерительных инструментов программы MicroDicom Viewer. Особое внимание уделяли радиочувствительным органам (щитовидная железа, печень и др.), чтобы определить попадали они в область сканирования или нет.

*Расчет эффективных доз с учетом пола пациента*

Эффективные дозы для каждого пациента с учетом его пола были рассчитаны с использованием специализированного программного обеспечения NCICT 3.0 [18]. Данная программа позволяет рассчитать органные и эффективную дозу для пациентов с учетом их пола, а также с учетом модели компьютерного-томографа и параметров проведения КТ-исследований. Полозависимая эффективная доза, рассчитанная в NCICT 3.0 не в полной мере, соответствует определению эффективной дозы Международной комиссии по радиационной защите (далее - МКРЗ) [19-20], так как определяется раздельно для мужского и женского фантомов, а также не учитывает воздействие ионизирующего излучения на лимфатическую систему [21]. Полозависимые эффективные дозы в программе рассчитывались для референтных гибридных фантомов мужчины (рост – 176 см, масса тела – 73 кг) и женщины (рост – 163 см, масса тела – 60 кг).

Статистическая обработка данных была выполнена с помощью программного обеспечения Statistica 12. Достоверность различий определялась с помощью U-критерия Манна-Уитни; различия считались достоверными при  $p < 0,05$ .

**Результаты и обсуждение**

Полозависимые эффективные дозы, определенные по результатам сканирования антропоморфного фантома, представлены в таблице 2.

Таблица 1

**Параметры проколов сканирования фантома грудной клетки в двух медицинских организациях**

[Table 1

**Parameters of the chest phantom scanning protocols in two medical organizations]**

Медицинская организация [Medical organization]	СПб НИИФ [Research Institute of Phthisiopulmonology]			НМИЦ им. В.А. Алмазова [V.A. Almazov Centre]
	КТ-аппарат [CT scanner]	Toshiba, Aquilion CT		Philips, Ingenuity CT
Параметры протоколов [Protocol parameters]	НДКТ <59 кг [LDCT <59 kg]	НДКТ 60-90 кг [LDCT 60-90 kg]	НДКТ >90 кг [LDCT >90 kg]	НДКТ [LDCT]
Толщина среза, мм [Slice thickness, mm]	1	1	1	1
Напряжение, кВ [Voltage, kV]	135	135	135	100
Время сканирования, мс [Scan time, ms]	500	500	500	959
Сила тока на трубке, мА [Tube current strength, mA]	15	20	35	-
Экспозиция, мАс [Exposure, mAs]	7	10	17	-
Питч [Pitch]	1,387	1,387	1,387	1,04
$CTDI_{vol}$ , мГр [ $CTDI_{vol}$ , mGy]	0,6	0,9	1,5	2,8
Длина сканирования, см [Scan length, cm]	31	31	31	30
DLP, мГр*см [DLP, mGy*cm]	18,6	27,9	46,5	108
Программа автоматической модуляции силы тока, вкл./выкл. [Automatic tube current modulation program, on/off.]	-	-	-	+

Из таблицы 2 видно, что для низкодозовых протоколов в СПб НИИФ полозависимая эффективная доза не превышает 1 мЗв для протоколов, разработанных для сканирования пациентов с массой тела менее 90 кг. Для пациентов с массой тела выше 90 кг эффективные дозы выше 1 мЗв. Достоверные различия между эффективными дозами для мужчин и женщин отсутствуют. По сравнению с эффективными дозами для стандартного протокола сканирования органов грудной клетки (для данного аппарата в данной медицинской организации) эффективные дозы для протокола <59 кг ниже в среднем в 4,5 раз, для протокола 60-90 кг в среднем ниже в 3 раза, для протокола >90 кг в среднем ниже в 2 раза.

В НМИЦ им. В.А. Алмазова при сканировании фантома на низкодозовом протоколе грудной клетки полозависимые эффективные дозы составили: 2 мЗв для мужчин и 2,2 мЗв для женщин, что в 2 раза ниже доз для стандартного протокола сканирования (для данного аппарата в данной медицинской организации).

В результате сканирования фантома на низкодозовых протоколах в обеих медицинских организациях было получено удовлетворительное качество КТ-изображений, на которых хорошо визуализировались все очаги в легких. Лучше всего визуализировались очаги со средним значением чисел Хаунсфилда в диапазоне от -630 HU до +600 HU. Менее заметны на КТ-изображении очаги с со средним значением чисел Хаунсфилда -700 HU и ниже.

Распределение эффективных доз, рассчитанных для пациентов, представлены на рисунке.

В СПб НИИФ только одной пациентке было проведено сканирование с использованием низкодозового протокола <59 кг – полозависимая эффективная доза для данной пациентки составила 0,53 мЗв. Для двух других низкодозовых протоколов медианы полозависимых эффективных доз составили: 60-90 кг – 0,75 мЗв для мужчин и 0,76 мЗв для женщин, >90 кг – 1,25 мЗв для мужчин и 1,21 мЗв для женщин. Максимальные полозависимые эффективные дозы не превышали: для протокола 60-90 кг 0,8 мЗв, для протокола >90 кг 1,4 мЗв. Медианная эффективная доза для пациентов в НМИЦ им. В.А. Алмазова составила 1,9 мЗв.

Как в СПб НИИФ, так и в НМИЦ им. В.А. Алмазова полозависимые эффективные дозы, полученные для фантома в экспериментальной части работы, сопоставимы с полозависимыми эффективными дозами пациентов, прошедших НДКТ в данной медицинской организации. Различия в дозах облучения пациентов обусловлены различиями в длинах сканирования (средняя длина сканирования ± стандартное отклонение: в НМИЦ им. В.А. Алмазова – 30 ± 2,6 см, в СПб НИИФ – 34 ± 2,7 см).

При субъективной оценке качества изображений эксперты обеих медицинских организаций высказали мнение об удовлетворительном качестве КТ-изображений, которое являлось достаточным для достижения поставленных клинических задач.

НДКТ протоколы в СПб НИИФ направлены на получение такого КТ-изображения, которое позволит своевременно обнаружить патологические изменения в легких (чаще очаговые – опухоли, лимфоузлы, кальцинаты, реже – интерстициальные изменения) при обеспечении эффективной дозы пациента на уровне менее 1 мЗв. Только два протокола (<59 кг и 60-90 кг) полностью удовлетворяют поставленным задачам. Протокол для пациентов с массой тела >90 кг при удовлетворительном качестве КТ-изображения обеспечивал эффективную дозу в диапазоне от 1,1 до 1,4 мЗв. Однако снижение дозы для пациентов с массой тела >90 кг может быть нецелесообразным, если при этом будет потеряна диагностическая значимость КТ-изображения.

Задачей низкодозового протокола грудной клетки в НМИЦ им. В.А. Алмазова является получение КТ-изображений такого качества, которое позволит выявить очаговые интерстициальные, фиброзные и другие изменения легочной ткани, встречающиеся при COVID-19, с меньшей дозой облучения пациента (от 1,3 до 2.2 мЗв), чем при КТ-исследовании грудной клетки на стандартном протоколе (для данного аппарата в данной медицинской организации). Таким образом, в НМИЦ им. В.А. Алмазова низкодозовый протокол грудной клетки полностью выполняет поставленные задачи с учетом того, что он не используется для скрининга.

В связи с тем, что проведение скрининговых исследований для выявления рака легкого с использованием КТ в настоящее время является общепринятой практикой как в зарубежных странах, так и в Российской Федерации, целесообразно внести изменения в отечественные документы, регламентирующие обеспечение радиационной безопасности при проведении рентгенорадиологических исследований практически здоровых лиц. При этом возможны следующие варианты:

- указать, что ограничения годовой эффективной дозы, представленные в НРБ-99/20090 для отдельных сценариев облучения практически здоровых лиц, не распространяются на утвержденные Министерством здравоохранения методы скрининга. Данный подход представлен в основных регулирующих документах МАГАТЭ [22-23];

- данной работы и анализе литературных источников целесообразно установить численные значения граничных доз в диапазоне 2-5 мЗв за одно НДКТ-исследование и разработать рекомендации по их применению. Данное

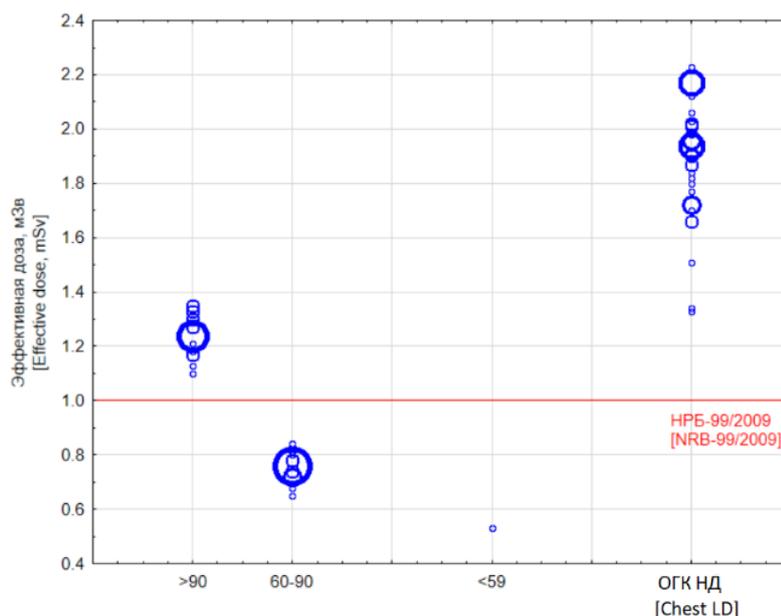
Таблица 2

Полозависимые эффективные дозы, рассчитанные для фантома грудной клетки взрослого человека Lungman

[Table 2

Gender-dependent effective doses calculated for the Lungman adult chest phantom]

Медицинская организация [Medical organization]	СПб НИИФ [Research Institute of Phthisiopulmonology]				НМИЦ им. В.А. Алмазова [V.A. Almazov Centre]			
Аппарат [CT scanner]	Toshiba, Aquilion CT				Philips, Ingenuity CT			
Протокол [Protocol]	НДКТ <59 кг [LDCT <59 kg]		НДКТ 60-90 кг [LDCT 60-90 kg]		НДКТ >90 кг [LDCT >90 kg]		НДКТ [LDCT]	
Пол [Gender]	м [m]	ж [f]	м [m]	ж [f]	м [m]	ж [f]	м [m]	ж [f]
Эффективная доза, мЗв [Effective dose, mSv]	0,5	0,5	0,7	0,7	1,1	1,2	2,0	2,2



**Рис.** Эффективные дозы пациентов при сканировании на низкодозовых протоколах в двух медицинских организациях г. Санкт-Петербурга: >90 кг, 60-90 кг, <59 кг – НД протоколы для скрининга рака легкого в СПб НИИФ; ОГК НД – низкодозовый протокол грудной клетки для диагностики COVID-19 в НМИЦ им. В.А. Алмазова  
**[Fig.** Patients' effective doses of low-dose CT protocols in two medical organizations in St. Petersburg: >90 kg, 60-90 kg, <59 kg – LD protocols for lung cancer screening at the Research Institute of Phthiopulmonology; Chest LD is a low-dose chest protocol for diagnosing COVID-19 at the National Medical Research Center named after V.A. Almazova]

предложение может быть внедрено в практику только после утверждения новой редакции Федерального закона №3-ФЗ «О радиационной безопасности населения»;

– дополнительно необходимо пересмотреть в сторону увеличения ограничения доз облучения практически здоровых лиц, принимающих участие в научных (биомедицинских) исследованиях, так как НДКТ-скрининг в Российской Федерации находится на этапе клинических испытаний и/или апробаций. В противном случае для соблюдения требований НРБ 99/2009 необходимо вводить ограничение на включение пациентов с высокой массой тела в экспериментальные выборки, так как для них невозможно обеспечить неперевышение годовой эффективной дозы в 1 мЗв. В соответствии с регулирующими документами МАГАТЭ для обеспечения радиационной защиты добровольцев при биомедицинских исследованиях также должны использоваться граничные дозы.

Внедрение в практику данных рекомендаций будет способствовать распространению НДКТ-скрининга рака легкого в отечественной практике и, как следствие, повысит качество оказания онкологической помощи населению Российской Федерации.

### Заключение

1. НДКТ грудной клетки может использоваться как в рамках скрининга (например, рака легкого), так и для решения других клинических задач (например, диагностики COVID-19, контроля эффективности лечения, повторных исследований в рамках курса лечения пр.).

2. Низкодозовые протоколы сканирования органов грудной клетки позволяют визуализировать и идентифицировать наиболее распространенные патологии с дозой 0,5-2,2 мЗв.

3. Полозависимые эффективные дозы облучения для стандартного фантома грудной клетки составили: в СПб НИИФ для скрининговых протоколов рака легкого для пациентов <59 кг – 0,5 мЗв (для обоих полов), для пациентов 60-90 кг – 0,7 мЗв (для обоих полов), для пациентов >90 кг – 1,1 мЗв для мужчин и 1,2 мЗв для женщин. В НМИЦ им. В.А. Алмазова для низкодозового протокола грудной клетки – 2,0 мЗв для мужчин и 2,2 мЗв для женщин.

4. Для пациентов полозависимая эффективная доза на изученных низкодозовых протоколах может варьировать в пределах: в СПб НИИФ для скрининговых протоколов рака легкого для пациентов 60-90 кг – от 0,7 до 0,8 мЗв (для обоих полов), для пациентов >90 кг – от 1,1 до 1,4 мЗв (для обоих полов); для протокола <59 кг была определена только одна полозависимая эффективная доза для женщин – 0,5 мЗв; в НМИЦ им. В.А. Алмазова для низкодозового протокола грудной клетки – от 1,3 до 2,2 мЗв (для обоих полов).

5. Для обеспечения радиационной защиты пациентов при проведении НДКТ-скрининга целесообразно отказаться от ограничения годовых эффективных доз, или использовать концепцию граничных доз за одно скрининговое исследование.

### Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Дружинина П.С. – разработка дизайна исследования, определение целей и задач исследования, обработка данных, написание статьи, оформление окончательного варианта статьи для публикации в журнал.

Водоватов А.В. – разработка дизайна исследования, определение целей и задач исследования, осуществление общего научного руководства исследованием, написание статьи.

Романович И.К. – осуществление общего научного руководства исследованием, разработка дизайна исследования, определение целей и задач исследования.

Чипига Л.А. – обработка данных, обсуждение и анализ результатов работы, редакция промежуточного варианта статьи.

Беркович Г.В. – организация проведения эксперимента, обработка данных, обсуждение и анализ результатов работы.

Ушков А.Д. – организация проведения эксперимента, обработка данных, обсуждение и анализ результатов работы.

Нефедов А.О. – организация проведения эксперимента, обработка данных, обсуждение и анализ результатов работы.

### Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Сведения об источнике финансирования

Статья выполнена в рамках инициативной НИР «Оценка доз облучения и радиационных рисков пациентов при проведении скрининга рака легкого методом низкодозовой компьютерной томографии».

### Литература

1. Дуброва Ю.Е. Индукция мутаций в половых клетках National Lung Screening Trial Research Team. Reduced lung-cancer mortality with low-dose computed tomographic screening // *The New England Journal of Medicine*. 2011. Vol. 365, No 5. P. 395-409. DOI: 10.1056/NEJMoa1102873. Epub 2011 Jun 29. PMID: 21714641; PMCID: PMC4356534.
2. Baldwin D.R., Duffy S.W., Wald N.J. et al. UK Lung Screen (UKLS) nodule management protocol: modelling of a single screen randomised controlled trial of low-dose CT screening for lung cancer // *Thorax*. 2011. Vol. 66, No 4. P. 308-13. DOI: 10.1136/thx.2010.152066. Epub 2011 Feb 11. PMID: 21317179; PMCID: PMC3063456.
3. Jonas D.E., Reuland D.S., Reddy S.M. et al. Screening for Lung Cancer With Low-Dose Computed Tomography: Updated Evidence Report and Systematic Review for the US Preventive Services Task Force // *JAMA*. 2021. Vol. 325, No 10. P. 971-987. DOI: 10.1001/jama.2021.0377.
4. Департамент здравоохранения города Москвы. Методические рекомендации по скринингу рака легкого №73. 2020. 55 с.
5. Морозов С. П., Кузьмина Е. С., Ветшева Н. Н. и др. Московский скрининг: скрининг рака легкого с помощью низкодозовой компьютерной томографии // *Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины*. 2019. №27 (спецвыпуск). С. 630-636. DOI: 10.32687/0869-866X-2019-27-si1-630-636.
6. Беркович Г.В., Водоватов А.В., Чипига Л.А. и др. Результаты апробации комплексной экспертной оценки качества КТ-изображений органов грудной клетки, полученных на низкодозовых протоколах сканирования с применением методов итеративных реконструкций // *Лучевая диагностика и терапия*. 2021. Т. 12, № 3. С.54-71. DOI: 10.22328/2079-5343-2021-12-3-54-71.
7. Karostik D.V., Kamyshanskaya I.G., Cheremisin V.M. et al. Evaluation of low-dose CT implementation for lung cancer screening in a general practice hospital // *Journal of Physics: Conference Series*, Saint Petersburg, 23-24 November, 2017. Vol. 967. Saint Petersburg: Institute of Physics Publishing, 2018. P. 012006. DOI: 10.1088/1742-6596/967/1/012006. EDN UYCOFP.
8. Николаев А.Е., Шапиев А.Н., Коркунова О.А. и др. Возможность оценки коронарного кальция по данным ультра-низкодозной компьютерной томографии, используемой в проекте "московский скрининг рака легкого// *Радиационная фармакотерапия в кардиологии*. 2021. Т. 17. № 3. С. 414-422. DOI: 10.20996/1819-6446-2021-06-18. EDN LKSUMZ.
9. NCCN Guidelines 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 обращения: 20.03.2024).
10. Филатова Д.А., Сеницын В.Е., Мершина Е.А. Возможности снижения лучевой нагрузки при проведении компьютерной томографии для оценки изменений в лёгких, характерных для COVID-19: использование адаптивной статистической итеративной реконструкции // *Digital Diagnostics*. 2021. Т. 2, № 2. С.94-104. DOI: 10.17816/DD62477.
11. Accuracy of Ultra-Low-Dose CT (ULDCT) of the Chest Compared to Plain Film in an Unfiltered Emergency Patient Cohort // *Study protocol and statistical analysis plan / Version 1.3 24th of April 2019*.
12. Всемирная Организация Здравоохранения. Программы скрининга: краткое руководство. 2020. 72 с. URL: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/330828/9789289054812-rus.pdf> (Дата обращения: 07.09.2023).
13. Гомболевский В.А., Чернина В.Ю., Блохин И.А. и др. Основные достижения низкодозной компьютерной томографии в скрининге рака легкого. Туберкулез и болезни легких. 2021. Vol. 99, No 1. P. 61-70. DOI: 10.21292/2075-1230-2021-99-1-61-70.
14. Проект Департамента Здравоохранения города Москвы «Низкодозная компьютерная томография грудной клетки – скрининг рака легкого и других заболеваний органов грудной клетки». URL: <https://mosgorzdrav.ru/ru-RU/health/default/card/80.html> (Дата обращения: 07.09.2023).
15. Проект скрининга рака легкого у людей в группе риска для выявления заболевания на ранней стадии и оказания своевременной помощи. URL: <https://spiral-ldct.ru/> (Дата обращения: 07.09.2023).
16. Скрининг рака легкого, а также других заболеваний органов грудной клетки. URL: <https://lk.almazovcentre.ru/baza-znaniy/articles/kt/> (Дата обращения: 07.09.2023).
17. PH-1 Multipurpose Chest Phantom N1 "Lungman". User manual. 2020. 8p. URL: [https://www.kyotokagaku.com/products\\_data/ph1\\_manual\\_01\\_en.pdf](https://www.kyotokagaku.com/products_data/ph1_manual_01_en.pdf) (Дата обращения: 07.09.2023).
18. Lee C., Kim K.P., Bolch W.E. et al. NCICT: a computational solution to estimate organ doses for pediatric and adult patients undergoing CT scans // *Journal of Radiological Protection*. 2015. Vol. 35, No 4. P. 891-909. DOI: 10.1088/0952-4746/35/4/891. Epub 2015 Nov 26. PMID: 26609995.
19. Публикация 103 Международной Комиссии по Радиационной защите (МКРЗ) / пер. с англ., под общ.ред. М.Ф. Киселева, Н.К. Шандалы. М.: Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009. 312 с.
20. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60 // *Annals of the ICRP*. 1991. 21. 90 p.
21. Чипига Л.А. Исследование программ автоматической модуляции силы тока для оптимизации протоколов сканирования в компьютерной томографии // *Радиационная гигиена*. 2019. Т. 12, № 1. С. 104-114. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-1-104-114.
22. International Atomic Energy Agency. Radiation Protection and safety in medical uses of ionizing radiation. International Atomic Energy Agency. Specific safety guide. Vienna: IAEA, 2018. NoSSG-46. 340 p.
23. International Atomic Energy Agency. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards/International Atomic Energy Agency. International Basic Safety Standards. IAEA: Vienna, 2015. GSR Part 3. 518 p.
24. IAEA. Justification of Practices, Including Non-Medical Human Imaging// *IAEA Safety Standards Series No. GSG-5 General Safety Guides*. 2014. 80 p.

Поступила: 05.04.2024

**Дружинина Полина Сергеевна** – младший научный сотрудник, лаборатория радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: druzhininapauline@gmail.com

ORCID: 0000-0003-2921-067X

**Водоватов Александр Валерьевич** - кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; доцент кафедры общей гигиены Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

ORCID: 0000-0002-5191-7535

**Романович Иван Константинович** – доктор медицинских наук, профессор, академик Российской академии наук, директор Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

**Чипига Лариса Александровна** – кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; научный сотрудник Российского научного центра радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова Министерства здравоохранения Российской Федерации; доцент кафедры ядерной медицины и радиационных технологий Национального медицинского исследовательского центра им. В.А. Алмазова Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

ORCID: 0000-0001-9153-3061

**Беркович Глеб Владимирович** – заведующий кабинетом компьютерной томографии, Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

ORCID: 0000-0002-7077-7320

**Ушков Алексей Дмитриевич** – врач-рентгенолог высшей квалификационной категории Санкт-Петербургского научно-исследовательского института Фтизиопульмонологии Министерства здравоохранения Российской Федерации; член Санкт-Петербургского радиологического общества, Санкт-Петербург, Россия

**Нефедов Андрей Олегович** – старший научный сотрудник, к.м.н., врач-онколог высшей квалификационной категории, торакальный хирург Санкт-Петербургского научно-исследовательского института Фтизиопульмонологии Министерства здравоохранения Российской Федерации; Санкт-Петербург, Россия

**Для цитирования:** Дружинина П.С., Водоватов А.В., Романович И.К., Чипига Л.А., Беркович Г.В., Ушков А.Д., Нефедов А.О. Оценка эффективных доз пациентов при проведении низкодозовой компьютерной томографии // Радиационная гигиена. 2024. Т. 17, № 3. С. 7–15. DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-3-7-15.

---

## Patients' effective doses assessment during low-dose computed tomography

Polina S. Druzhinina<sup>1</sup>, Aleksandr V. Vodovатов<sup>1,2</sup>, Ivan K. Romanovich<sup>1</sup>, Larisa A. Chipiga<sup>1,3,4</sup>, Gleb V. Berkovich<sup>4</sup>,  
Alexey D. Ushkov<sup>5</sup>, Andrey O. Nefedov<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia

<sup>3</sup>A.Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia

<sup>4</sup>V. Almazov National Medical Research Center, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia

<sup>5</sup>Research Institute of Phthiopolmonology, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia

*Computed tomography has become increasingly common for diagnosing socially significant diseases in recent years. In foreign practice, screening schemes for lung cancer in people belonging to risk categories have been developed and implemented. These schemes have been successfully used over the past 10 years. In this case, "low-dose" scanning protocols are used, which make it possible to perform examination with*

---

**Polina S. Druzhinina**

Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev

**Address for correspondence:** Mira Str., 8, Saint Petersburg, 197101, Russia; E-mail: druzhininapauline@gmail.com

patient effective dose several times lower compared to standard protocols. Lung cancer screening methods using low-dose computed tomography are beginning to be introduced in the Russian Federation. To ensure the radiation safety of those individuals eligible for inclusion in screening programs or participating in biomedical research testing lung cancer screening, it is necessary to evaluate effective doses from low-dose computed tomography and compare these doses to established radiation dose limits. This study assessed the patients' effective doses who underwent different types of low-dose computed tomography of chest at two medical organizations. The results of the study show that it is possible to achieve non-exceedance of the current annual effective dose limit of 1 mSv only for patients weighing less than 90 kg. For patients with higher body weight, the minimum effective dose will be in the range of 1.2 – 1.4 mSv. The results of the study indicate the need to make changes to the current regulatory and methodological documents of Rosпотребнадзор to ensure the possibility of using low-dose computed tomography as part of screening for all categories of people.

**Key words:** low-dose computed tomography, effective dose, lung cancer screening, screening examination.

### Authors' personal contribution

Polina S. Druzhinina – developed the design of the survey, defined the goals and objectives, data processing, wrote the manuscript, arranged the final version of the manuscript for publication in the journal.

Aleksandr V. Vodovatov – developed the design of the survey, defined the goals and objectives, data processing, provided general scientific management of the project, wrote the manuscript.

Ivan K. Romanovich – provided general scientific management of the project, developed the design of the survey, defined the goals and objectives.

Larisa A. Chipiga – data processing, discussion and analysis of the results, editing of the article.

Gleb V. Berkovich – organization of data collection, discussion and analysis of the results.

Alexey D. Ushkov – organization of data collection, discussion and analysis of the results.

Andrey O. Nefedov – organization of data collection, discussion and analysis of the results.

### Conflict of interests

The authors have no conflicts of interest to disclose.

### Sources of funding

The article is a part of an initiative research project. "Assessment of radiation doses and radiation risks of patients during lung cancer screening using low-dose computed tomography".

### References

1. National Lung Screening Trial Research Team. Reduced lung-cancer mortality with low-dose computed tomographic screening. *The New England Journal of Medicine*. 2011;365(5): 395-409. DOI: 10.1056/NEJMoa1102873. Epub 2011 Jun 29. PMID: 21714641; PMCID: PMC4356534.
2. Baldwin DR, Duffy SW, Wald NJ, Page R, Hansell DM, Field JK. UK Lung Screen (UKLS) nodule management protocol: modelling of a single screen randomised controlled trial of low-dose CT screening for lung cancer. *Thorax*. 2011;66(4): 308-13. DOI: 10.1136/thx.2010.152066. Epub 2011 Feb 11. PMID: 21317179; PMCID: PMC3063456.
3. Jonas DE, Reuland DS, Reddy SM, Nagle M, Clark SD, Weber RP, et al. Screening for Lung Cancer With Low-Dose Computed Tomography: Updated Evidence Report and Systematic Review for the US Preventive Services Task Force. *JAMA*. 2021;325(10): 971-987. DOI: 10.1001/jama.2021.0377
4. Moscow City Health Department. Guidelines for lung cancer screening No. 73. 2020. 55 p. (In Russian).
5. Morozov SP, Kuzmina ES, Vetsheva NN, Gombolevisky VA, Lantukh ZA, Polishuk NS, et al. Moscow Screening: Lung Cancer Screening With Low-Dose Computed Tomography. *Problemy sotsialnoy gigiyeny, zdravookhraneniya i istorii meditsiny = Problems of social hygiene, health care and history of medicine*. 2019;27(Special Issue): 630-636. (In Russian) DOI: 10.32687/0869-866X-2019-27-si1-630-636. PMID: 31747155.
6. Berkovich GV, Vodovatov AV, Chipiga LA, Trufanov GE. The results of approbation of a comprehensive expert assessment of the quality of CT images of the chest obtained on low-dose scanning protocols using iterative reconstruction methods. *Luchevaya diagnostika i terapiya = Diagnostic radiology and radiotherapy*. 2021;12(3): 54-71. (In Russian) DOI: 10.22328/2079-5343-2021-12-3-54-71.
7. Karostik DV, Kamyshanskaya IG, Cheremisin VM, Drozdov AA, Vodovatov AV. Evaluation of low-dose CT implementation for lung cancer screening in a general practice hospital. *Journal of Physics: Conference Series*, Saint Petersburg. Saint Petersburg: Institute of Physics Publishing; 2018. Vol. 967. P. 012006. DOI: 10.1088/1742-6596/967/1/012006. EDN UYCOFF.
8. Nikolaev AE, Shapiev AN, Korkunova OA, Mukhutdinova G., Tkacheva PV, Suleymanova MM, et al. Possibility of assessing coronary calcium using ultra-low-dose computed tomography data used in the Moscow Lung Cancer Screening project. *Ratsionalnaya farmakoterapiya v kardiologii = Rational Pharmacotherapy in Cardiology*. 2021;17(3): 414-422. (In Russian).
9. NCCN Guidelines Lung Cancer Screening. Available from: [https://www.nccn.org/professionals/physician\\_gls/pdf/lung\\_screening.pdf](https://www.nccn.org/professionals/physician_gls/pdf/lung_screening.pdf) (Accessed: 03.20.2024).
10. Filatova DA, Sinitsin VE, Merzhina EA. Opportunities to reduce the radiation exposure during computed tomography to assess the changes in the lungs in patients with COVID-19: use of adaptive statistical iterative reconstruction. *Digital Diagnostics*. 2021;2(2): 94-104. (In Russian) DOI: 10.17816/DD62477.
11. Accuracy of Ultra-Low-Dose CT (ULDCT) of the Chest Compared to Plain Film in an Unfiltered Emergency Patient Cohort. Study protocol and statistical analysis plan/Version 1.3 24th of April 2019.
12. World Health Organization. Screening programs: a quick guide. 2020. 72 p. Available from: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/330828/9789289054812-rus.pdf> (Accessed: 20.03.2024).
13. Gombolevisky VA, Chernina VYu, Blokhin IA, Nikolaev AE, Barchuk AA, Morozov SP. Main achievements of low-dose computed tomography in lung cancer screening. *Tuberkulez i bolezni legkikh = Tuberculosis and Lung Diseases*. 2021;99(1): 61-70. (In Russian) DOI: 10.21292/2075-1230-2021-99-1-61-70.
14. Project of the Moscow Department of Health "Low-dose computed tomography of the chest - screening for lung cancer and other diseases of the chest". Available from:

- <https://mosgorzdrav.ru/ru-RU/health/default/card/80.html> (Accessed: 20.03.2024). (In Russian).
15. Project for lung cancer screening in people at risk to detect the disease at an early stage and provide timely assistance. Available from: <https://spiral-ldct.ru/> (Accessed: 09.07.2023). (In Russian).
  16. Project for lung cancer screening in people at risk to detect the disease at an early stage and provide timely assistance. Available from: <https://spiral-ldct.ru/> (Accessed: 09.07.2023). (In Russian).
  17. PH-1 Multipurpose Chest Phantom N1 "Lungman". User manual. 2020. 8 p. Available from: [https://www.kyotokagaku.com/products\\_data/ph1\\_manual\\_01\\_en.pdf](https://www.kyotokagaku.com/products_data/ph1_manual_01_en.pdf) (Accessed: 07.09.2023).
  18. Lee C, Kim KP, Bolch WE, Moroz BE, Folio L. NCICT: a computational solution to estimate organ doses for pediatric and adult patients undergoing CT scans. *Journal of Radiological Protection*. 2015;35(4): 891-909. DOI: 10.1088/0952-4746/35/4/891. Epub 2015 Nov 26. PMID: 26609995.
  19. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Annals of the ICRP*. 2007;37(2-4).
  20. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. *Annals of the ICRP*. 1991;21: 90.
  21. Chipiga LA. Evaluation of tube current modulation programs for the optimization of scan protocols in computed tomography. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2019;12(1): 104-114. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-1-104-114.
  22. International Atomic Energy Agency. Radiation Protection and safety in medical uses of ionizing radiation. International Atomic Energy Agency. Specific safety guide. Vienna: IAEA; 2018. NoSSG-46. 340 p..
  23. International Atomic Energy Agency. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards/International Atomic Energy Agency. International Basic Safety Standards. IAEA: Vienna; 2015. GSR Part 3. 518 p.
  24. IAEA. Justification of Practices, Including Non-Medical Human Imaging// IAEA Safety Standards Series No. GSG-5 General Safety Guides; 2014. 80 p.

Received: April 05, 2024

**For correspondence: Polina S. Druzhinina** – junior research fellow, Laboratory of radiation hygiene of medical facilities, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing (Mira Str., 8, Saint Petersburg, 197101, Russia; E-mail: druzhininapauline@gmail.com)

ORCID: 0000-0003-2921-067X

**Aleksandr V. Vodovатов** – Candidate of Biological Sciences, Head of Laboratory, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; docent, Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia

ORCID: 0000-0002-5191-7535

**Ivan K. Romanovich** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Academician of Russian Academy of Sciences, Director of Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint Petersburg, Russia

**Larisa A. Chipiga** – Candidate of Engineering Sciences, research fellow, Laboratory of radiation hygiene of medical facilities, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; research fellow, A. Granov Russian Research Center of Radiology and Surgical Technologies, Ministry of Healthcare of the Russian Federation; docent, V. Almazov National Medical Research Center, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia

ORCID: 0000-0001-9153-3061

**Gleb V. Berkovich** – Head of the Computed Tomography department, V. Almazov National Medical Research Center, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia

ORCID: 0000-0002-7077-7320

**Alexey D. Ushkov** – radiologist of the highest qualification category of the Saint - Petersburg Research Institute of Phthisiopulmonology, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, member of the Saint - Petersburg Radiological Society, Saint - Petersburg, Russia

**Andrey O. Nefedov** – senior researcher, Candidate of Medical Sciences, oncologist of the highest qualification category, thoracic surgeon of the Saint Petersburg Research Institute of Phthisiopulmonology, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Saint - Petersburg, Russia

**For citation: Druzhinina P.S., Vodovатов A.V., Romanovich I.K., Chipiga L.A., Berkovich G.V., Ushkov A.D., Nefedov A.O. Patients' effective doses assessment during low-dose computed tomography. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2024. Vol. 17, No. 3. P. 7–15. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-3-7-15.**