

# Современные принципы обеспечения радиационной безопасности при использовании источников ионизирующего излучения в медицине.

## Часть 1. Тенденции развития, структура лучевой диагностики и дозы медицинского облучения

Онищенко Г.Г.<sup>1,6</sup>, Попова А.Ю.<sup>2,7</sup>, Романович И.К.<sup>3</sup>, Водоватов А.В.<sup>3</sup>, Башкетова Н.С.<sup>3,4</sup>, Историк О.А.<sup>5</sup>, Чипига Л.А.<sup>3</sup>, Шацкий И.Г.<sup>3</sup>, Репин Л.В.<sup>3</sup>, Библин А.М.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Российская академия наук, Москва, Россия

<sup>2</sup>Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Москва, Россия

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В.Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

<sup>4</sup>Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по городу Санкт-Петербургу

<sup>5</sup>Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Ленинградской области

<sup>6</sup>Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), Москва, Россия

<sup>7</sup>Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Россия

*Внедрение современных высокоинформативных методов лучевой диагностики (компьютерной томографии, интервенционных исследований, радионуклидной диагностики), ведущее к росту дозовой нагрузки на население, обуславливает необходимость совершенствования системы радиационной защиты в медицине. Несмотря на тотальное преобладание в структуре лучевой диагностики в Российской Федерации традиционных методов исследований (из 280 млн рентгенорадиологических процедур, выполненных в 2017 г., 95% приходится на рентгенографические и флюорографические исследования), основной вклад в коллективную дозу облучения населения страны вносит компьютерная томография (50,5%). Структура лучевой диагностики и коллективной дозы от медицинского облучения в Российской Федерации существенно отличается от аналогичных показателей стран Евросоюза, в которых практически отсутствуют флюорографические исследования, а вклад компьютерной томографии в 2–5 раз выше, чем в нашей стране. В среднем коллективная доза от медицинского облучения в странах Европы на 80% формируется за счет компьютерной томографии и около 10% – за счет радионуклидной диагностики; средние эффективные дозы за рентгенорадиологическое исследование в 2–3 раза выше среднероссийских. Спрогнозирован дальнейший рост в Российской Федерации числа компьютерных томограмм, интервенционных и радионуклидных исследований и двойное повышение коллективной дозы от медицинского облучения за десятилетие как за счет изменения структуры лучевой диагностики, так и за счет роста средних доз за рентгенорадиологические исследования.*

**Ключевые слова:** лучевая диагностика, коллективная доза, медицинское облучение, дозы облучения, эффективная доза, профилактические исследования.

### Введение

Защита от источников ионизирующего излучения (ИИИ) в медицине в настоящее время является ключевой в мировой практике обеспечения радиационной безопасности населения. Свидетельством этому являются все новые и новые рекомендации ведущих международных организаций, таких как Научный комитет по действию

атомной радиации ООН (НКДАР ООН) [1], Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) [2, 3], Международная комиссия по радиологической защите (МКРЗ) [4, 5], Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) [6, 7], а также увеличение количества научных публикаций в ведущих мировых изданиях [8–13]. Традиционно использование источников ионизирующего излучения

### Водоватов Александр Валерьевич

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: vodovatoff@gmail.com

(ИИИ) в медицине является одним из основных факторов облучения населения, занимая второе место по вкладу в коллективную дозу населения после природных источников и первое место среди техногенных источников [1–7, 14]. Медицинскому облучению подвергаются: пациенты при проведении медицинских диагностических и лечебных процедур, практически здоровые лица при проведении профилактических рентгенологических (флюорографических) исследований, добровольцы – участники биомедицинских исследований, а также лица, оказывающие помощь пациентам и осуществляющие уход за ними [5, 6]. Облучению в медицине подвергается больше людей, чем в любой другой отрасли с использованием ИИИ, и во многих случаях индивидуальные дозы в медицине выше, чем при других видах применения техногенных ИИИ [1–7, 14].

Включение основных направлений обеспечения радиационной безопасности в медицине в «Основы государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу», введенных в действие Указом Президента Российской Федерации от 13.10.2018 г. № 585<sup>1</sup>, свидетельствует о значимости данной проблемы в нашей стране.

Роль оптимизации защиты населения страны при использовании ИИИ в медицине значительно возрастает в связи с принятием Указа Президента Российской Федерации от 07.05.2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года»<sup>2</sup>. В соответствии с данным Указом национальной целью и стратегической задачей является повышение ожидаемой продолжительности жизни до 78 лет (к 2030 г. – до 80+ лет). Одной из задач до 2024 г. является снижение показателей смертности населения трудоспособного возраста (до 350 случаев на 100 тыс. населения), в том числе от злокачественных новообразований (до 185 случаев на 100 тыс. населения), что предполагает раннюю диагностику и повышение качества проведения лучевой диагностики и терапии. Развитие ранней диагностики злокачественных новообразований непременно приведет к увеличению частоты рентгеновских диагностических и профилактических исследований и к применению более информативных рентгенодиагностических методов исследования (компьютерной томографии (КТ), позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ-КТ)), и следовательно, к более высоким дозам облучения пациентов и населения страны в целом [14–20]. Применение современных высокоинформатив-

ных методов лучевой диагностики, наряду с увеличением диагностической эффективности, приводит к возрастанию рисков возникновения злокачественных новообразований за счет роста доз облучения населения.

**Цель исследования** – анализ современной структуры лучевой диагностики в Российской Федерации и зарубежных странах с определением трендов развития и внедрения технологий и методов лучевой диагностики и оценкой уровней медицинского облучения, как на текущий момент, так и в перспективе.

### 1. Современные тенденции развития лучевой диагностики

Высокий уровень развития современных методов лучевой диагностики и продолжающееся их совершенствование свидетельствует о том, что на ближайшие 10–15 лет именно они будут обеспечивать получение основного объема диагностической информации [21, 22]. Развитие лучевой диагностики проходит по двум направлениям. Первое – это совершенствование «старых» методов диагностики: разработка новых алгоритмов реконструкции и детекторов в КТ [21–23] и рентгенографии без принципиального изменения сути метода; переработка существующих методов (трансформация линейной томографии в томосинтез) [24]; разработка комбинированных систем (комбинации ПЭТ и ОФЭКТ с КТ и МРТ [17–19, 21]; рентгеноперационные совмещенные с КТ и МРТ) [21, 22].

Постоянно расширяется спектр применения КТ-технологий. Так, разработан метод конусно-лучевой компьютерной томографии (cone-beam CT), который позволяет получать трехмерное изображение отдельных частей тела (голова, конечности и др.) [25]. Данный вид диагностики активно используется в зарубежных странах в стоматологии и челюстно-лицевой хирургии для контроля позиционирования пациента в лучевой терапии [26–28]. Для увеличения диагностической эффективности и повышения диагностического качества КТ-изображений используется так называемая двухтрубчатая КТ (dual-energy CT), при проведении которой пациента сканируют одновременно двумя рентгеновскими пучками с разными энергиями. Это позволяет значимо улучшить визуализацию отдельных, в частности мягкотканых, анатомических структур за счет увеличения контраста [29, 30].

КТ все чаще используется в сочетании с другими традиционными методами лучевой диагностики. Так, в радионуклидной диагностике гамма-камеры и ПЭТ-томографы комбинируют с компьютерными томографами

<sup>1</sup> Указ Президента РФ от 13.10.2018 № 585 «Об утверждении Основ государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2025 года и дальнейшую перспективу»: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_308884/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_308884/) (Дата обращения: 06.02.2019). [The decree of the President of the Russian Federation №585, 13.10.2018, "On the establishment of the Basics of the governmental policy on the provision of the nuclear and radiation safety of the Russian Federation up to 2025 and in the further perspective" – Available from: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_308884/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_308884/) (Accessed 06.02.2019)]

<sup>2</sup> Указ Президента РФ от 07.05.2018 г. № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года»: <http://kremlin.ru/acts/bank/43027> (Дата обращения: 06.02.2019). [The decree of the President of the Russian Federation №204, 07.05.2018 "On the national goals and strategic objectives of the development of the Russian Federation up to 2024". – Available from: <http://kremlin.ru/acts/bank/43027> (Accessed: 06.02.2019)].

ми (ПЭТ/КТ, ОФЭКТ/КТ), что позволяет не просто оценить накопление радиофармпрепарата в органах интереса, но и осуществить анатомическую привязку очага накопления [17–19, 21]. Современные рентгенохирургические методы все чаще включают в себя замену рентгеновского аппарата на компьютерный томограф для получения более качественного трехмерного изображения [31].

В зарубежной лучевой диагностике растет роль методов, использующихся для скрининга (раннего выявления) отдельных социально значимых заболеваний в группах риска. Помимо уже упомянутого применения КТ, для скрининга рака легких и атеросклероза активно внедряется томосинтез – метод диагностики, позволяющий получить трехмерное (объемное) изображение анатомической области интереса за счет выполнения серии рентгеновских снимков под разными углами. В настоящее время томосинтез (как отдельный вид лучевой диагностики, так и в сочетании с традиционной маммографией) внедрен в большинстве европейских стран для скрининга рака молочной железы [24, 32, 33]. Томосинтез грудной клетки (для скрининга рака легкого) широкого распространения в зарубежных странах не получил [34]. В отдельных странах (Япония) в качестве метода скрининга различных видов рака используются гибридные методы радионуклидной диагностики (ПЭТ, ПЭТ/КТ) [35]. Следует отметить, что современные методы скрининга ассоциированы с дозами облучения, превышающими 1–2 мЗв, однако в зарубежных странах они применяются исключительно добровольно и только для групп риска, для лиц, как правило, старше 40 лет. Массовый скрининг на туберкулез (флюорография) в зарубежных странах не проводится.

Усовершенствованные традиционные методы РРИ в первую очередь обеспечивают значительное улучшение диагностической эффективности (информативности) в лучевой диагностике. Что же касается уровней облучения пациентов, то в одних случаях наблюдаются тенденции к снижению доз облучения пациентов за счет повышения чувствительности приемников изображения и алгоритмов реконструкции [36, 37], в других – к увеличению за счет сочетанного облучения (внешнее+внутреннее) в случае гибридных методов исследований [18–20].

Второе направление развития лучевой диагностики – это ее трансформация в так называемую молекулярную диагностику (molecular imaging), позволяющая идентифицировать патологический процесс на уровне единичных «больных» клеток [21, 22]. На сегодняшний день эта задача реализуется посредством радионуклидных методов, таких как однофотонная эмиссионная компьютерная

томография (ОФЭКТ), позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ) и функциональная МРТ (f-MRT).

Развитие отечественной лучевой диагностики заключается в продолжающейся планомерной замене аналоговых технологий на цифровые, но этот процесс протекает достаточно медленно. По данным из формы 30 Министерства здравоохранения Российской Федерации<sup>3</sup> на 2016 г., около 20% рентгеновских аппаратов в Российской Федерации являются аналоговыми, при этом 30% рентгенографических исследований выполняются на пленку. Проблема перехода на цифровые технологии наиболее полно решена только для флюорографии – более 95% флюорографов являются цифровыми.

Внедрение же современных и перспективных диагностических технологий в Российской Федерации, за исключением компьютерной томографии, протекает медленно и неравномерно. Как правило, они появляются в отдельных медицинских организациях в крупных субъектах Российской Федерации и не способны на данном этапе значимо повлиять на структуру медицинского облучения населения РФ. Большинство новых методов лучевой диагностики в Российской Федерации практически не внедряются из-за высокой стоимости современного зарубежного оборудования, при отсутствии отечественных разработок [14]. Вместе с тем, необходимо отметить постепенное внедрение в Российской Федерации (главным образом в Москве и Санкт-Петербурге) конусно-лучевой КТ в стоматологии и томосинтеза для скрининга рака молочной железы.

Отдельного внимания заслуживает развитие в Российской Федерации ядерной медицины. Ядерная медицина – направление современной медицины, использующее биологические молекулы, меченные радионуклидами (радиофармпрепараты (РФП)), для диагностики и терапии. Уникальность и высокая эффективность методов ядерной медицины основана на применении высокотехнологичного оборудования и РФП, способных накапливаться в определенных морфологических структурах и патологических очагах и отражать динамику протекающих в органе процессов, определяя патологические изменения на молекулярном уровне [38, 39].

В рамках реализации программы «Развитие ядерной медицины в Российской Федерации»<sup>4</sup> происходит реорганизация отделений радионуклидной диагностики и обновление аппаратного парка, появляются новые методы и технологии. Взамен планарным скинтиграфическим аппаратам приходят однофотонные эмиссионные компьютерные томографы (ОФЭКТ), развивается позитронная

<sup>3</sup> Приказ Росстата от 03.08.2018 № 483 (ред. от 01.10.2018) «Об утверждении статистического инструментария для организации Министерством здравоохранения Российской Федерации федерального статистического наблюдения в сфере охраны здоровья»: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_304485/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_304485/) (Дата обращения: 06.02.2019). [The Order of the Statistical Service of the Russian Federation № 483 (03.08.2018, ed. 01.10.2018) “On the establishment of the statistical tools for the governance of the federal statistical surveillance in healthcare by the Ministry of Healthcare of the Russian Federation”. – Available from: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_304485/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_304485/) (Last accessed 06.02.2019)].

<sup>4</sup> Распоряжение Правительства Российской Федерации от 23.10.2015 № 2144-р «Об утверждении плана мероприятий («дорожной карты») «Развитие центров ядерной медицины»: <https://www.rosminzdrav.ru/ministry/61/23/stranitsa-967/razvitie-tsentrov-yadernoy-meditsiny> (Дата обращения: 06.02.2019). [Instruction of the Government of the Russian Federation №2144-p (23.10.2015) “On the establishment of the action plan (road-map) “Development of the nuclear medicine centers”. - Available from: <https://www.rosminzdrav.ru/ministry/61/23/stranitsa-967/razvitie-tsentrov-yadernoy-meditsiny> (Accessed: 06.02.2019)]

эмиссионная томография (ПЭТ), появляются гибридные методы исследования: ОФЭКТ и ПЭТ, совмещенные с рентгеновской компьютерной томографией или магнитно-резонансной томографией. Появляются новые РФП для диагностических исследований и для терапевтических процедур [38, 39].

Следует также отметить растущую во всем мире роль методов лучевой диагностики, выполняющихся без использования ионизирующего излучения, – ультразвуковой диагностики (УЗИ), магнитно-резонансной томографии (МРТ). Распространение данных методов позволяет существенно сократить число выполняющихся РРИ; они являются стандартом для диагностики ряда заболеваний. К сожалению, метод УЗИ является чрезвычайно операторо-зависимым: точность определения патологии определяется квалификацией и опытом работы оператора [40]. Недостатком МРТ являются экономические факторы (высокая стоимость оборудования), время проведения исследования (несколько десятков минут в среднем) и ограничения по состоянию пациента (высокая аллергенность и нефротоксичность контрастных средств, ограничения для пациентов с имплантатами и др.) [41].

## 2. Источники данных о дозах облучения пациентов в Российской Федерации и зарубежных странах

В зарубежной практике проведение крупномасштабных сборов данных в рамках страны или группы стран на регулярной основе не практикуется. Такие мероприятия организуются периодически, с интервалом в 5–10 лет [1, 42, 43], что позволяет оценить текущие уровни облучения пациентов. Особенностью зарубежных сборов данных является оценка доз только от основных видов рентгенорадиологических исследований, вносящих максимальный вклад в коллективную дозу облучения населения (концепция Top 20). Также в рамках таких сборов данных производится оценка стандартных (typical) эффективных доз облучения пациентов. Участие в сборах данных является добровольным, в них принимают участие до 80% МО в стране. Результаты сборов данных находятся в открытом доступе [42, 43]. Недостатком зарубежных сборов данных является их низкая периодичность – актуальные данные по странам Европейского союза доступны по состоянию на 2014 г. [42].

В Российской Федерации данные по дозам пациентов от различных РРИ централизованно собирают в рамках радиационно-гигиенической паспортизации (РГП) и единой системы контроля и учета индивидуальных доз

облучения граждан (ЕСКИД)<sup>5</sup>. О ведении РГП и ЕСКИД нами подробно изложено в предыдущих публикациях [44, 45]. Данные формы заполняются на объектовом, региональном и федеральном (национальном) уровне. Дозы пациентов определяют в медицинских организациях ежегодно и передают в федеральный банк данных по форме №3-ДОЗ. В данной форме содержатся как сведения о числе выполненных РРИ по видам исследований за отчетный год, так и рассчитанные коллективные дозы пациентов за этот же период. Форма №3-ДОЗ включает сведения как об измеренных, так и о расчетных эффективных дозах. При этом измеренные дозы определяют согласно МУ 2944-11<sup>6</sup> и МУ 2.6.1.3151-13<sup>7</sup>. Значения расчетных доз соответствуют средним значениям индивидуальных эффективных доз взрослых пациентов для различных РРИ.

Следует отметить некоторые недостатки формы №3-ДОЗ [46]:

- отсутствуют сведения об уровнях облучения пациентов в лучевой терапии;
- отсутствуют сведения об аппаратном парке медицинских организаций;
- отсутствуют сведения об уровнях облучения пациентов при проведении гибридных методов диагностических исследований (ПЭТ/КТ и ОФЭКТ/КТ);
- структура формы не позволяет выделить и оценить дозы от отдельных видов РРИ, выполняющихся в одной анатомической области;
- не содержатся данные о поло-возрастном составе пациентов, подвергающихся медицинским процедурам, что затрудняет оценку риска медицинского облучения;
- низкая достоверность данных. До 40% МО заполняют форму 3-ДОЗ с использованием табличных значений доз из методических указаний по заполнению формы №3-ДОЗ.

На региональном уровне, помимо заполнения формы №3-ДОЗ, ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева периодически проводит выборочный сбор данных и оценку доз облучения пациентов от наиболее распространенных видов РРИ [15, 16]. Такие исследования обеспечивают необходимую детализацию и достоверность данных о медицинском облучении пациентов. На 2018 г. подобные работы были выполнены в 18 регионах Российской Федерации [15–20, 47].

Инструментальный метод определения доз облучения пациентов в Российской Федерации до настоящего времени реализован недостаточно. По данным собственных исследований [46, 47], менее 20% рентгеновских аппаратов оснащены клиническими дозиметрами. При этом до-

<sup>5</sup> Приказ Минздрава РФ от 31.07.2000 N 298 «Об утверждении Положения о единой государственной системе контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан»: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_98143/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_98143/) (Дата 06.02.2019). [Order of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation №298 (31.07.200) “On the establishment of the joint governmental system of the control and accounting of the individual doses of the citizens” Available from: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_98143/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_98143/) (Accessed 06.02.2019)].

<sup>6</sup> МУ 2.6.1.2944-11. Контроль эффективных доз облучения пациентов при медицинских рентгенологических исследованиях. М.: Роспотребнадзор, 2011. 40 с. [Methodical guidelines 2.6.1.2944-11 “Control of the patient effective doses from medical X-ray examinations”. Moscow, Rosпотребнадзор, 2011, 40 p.]

<sup>7</sup> МУ 2.6.1.3151-13. Оценка и учет эффективных доз у пациентов при проведении радионуклидных диагностических исследований. М.: Роспотребнадзор, 2013 35 с. [Methodical guidelines 2.6.1.3151-13 “Assessment and control of the patient effective doses from nuclear medicine examinations”. Moscow, Rosпотребнадзор, 2013, 35 p.]

зиметры отсутствуют или являются неисправными даже на аппаратах для рентгеноскопических и рентгенохирургических исследований [48]. Данное обстоятельство существенно затрудняет проведение индивидуальной дозиметрии пациентов. Подавляющее большинство аппаратов не подключено к больничным архивам цифровых изображений.

В штате отечественных МО практически полностью отсутствуют медицинские физики за пределами отделений лучевой терапии и радионуклидной диагностики. Обязанности по оценке доз облучения пациентов и подготовке данных для заполнения формы №3-ДОЗ являются прерогативой врачей-рентгенологов и рентгенлаборантов [46].

### 3. Структура современной лучевой диагностики в Российской Федерации

Современная лучевая диагностика проводится как с использованием ионизирующего излучения (рентгенорадиологические исследования), так и без него (УЗИ, МРТ и др.) [49, 50]. К рентгенорадиологическим исследованиям (РРИ) относятся: рентгенографические (в том числе и флюорографические, рентгеностоматологические и др.), рентгеноскопические, ангиографические и интервенционные, компьютерно-томографические, радионуклидные исследования и их комбинации [49–51]. По данным РГП и ЕСКИД, в 2017 г. в Российской Федерации проведено более 280 млн рентгенорадиологических процедур (в среднем 1,9 процедуры на каждого из 147 млн жителей страны). Следует отметить, что число РРИ на душу населения в РФ неуклонно растет и за последние 10 лет увеличилось на 40% [14]. Структура рентгенорадиологических исследований представлена на рисунке 1.



**Рис. 1.** Вклад различных видов лучевой диагностики в общее число РРИ в Российской Федерации в 2017 г. по данным формы №3-ДОЗ<sup>8</sup>

[Fig. 1. Contribution of different imaging modalities to the total number of X-ray examinations in the Russian Federation in 2017 based on the 3-DOZ data<sup>8</sup>]

Наиболее распространенными в РФ являются рентгенографические исследования, выполняющиеся практически в каждой медицинской организации. Они вносят около 65% в общее число РРИ. К рентгенографическим исследованиям следует также относить и флюорографические: если исторически флюорография представляла собой получение изображения органов грудной клетки на фотопленку (в отличие от рентгеновской пленки для остальных видов исследований), то за последнее десятилетие количество аналоговых флюорографов сократилось до статистически малых величин [49, 50]. Современные флюорографы представляют собой полноценные цифровые рентгеновские аппараты. Флюорографические исследования являются вторыми по количеству выполняемых в РФ – их вклад в общее число РРИ составляет около 30%.

В зарубежных странах число рентгенографических исследований сокращается, их вытесняет компьютерная томография. Следует также отметить практически полное отсутствие флюорографии (за исключением Великобритании и отдельных восточноевропейских стран) [12, 42, 43].

Вторым среди традиционных методов лучевой диагностики является рентгеноскопия – получение рентгеновского изображения в динамике (непрерывного просвечивания пациента) с применением рентгеноконтрастных средств. При этом в отечественной практике к рентгеноскопии относят преимущественно исследования желудочно-кишечного тракта, желчного пузыря, почек и легких; в зарубежной к этому списку добавляются еще и ангиографии (исследования сосудов с внутривенным контрастом) [49–51]. В Российской Федерации эти виды исследований традиционно относят к специальным и объединяют с интервенционными исследованиями. За последние десять лет число рентгеноскопических исследований в РФ сокращается за счет вытеснения другими видами лучевой (КТ, МРТ, УЗИ) и инструментальной диагностики (ФГДС, колоноскопия и пр.) [14]. На 2017 г. вклад рентгеноскопии в общее число исследований составил менее 1%. В зарубежных странах рентгеноскопические исследования значительно более распространены (вклад в общее число исследований около 3%); их число поддерживается примерно на одном уровне [42, 52].

Специальные методы исследований включают в себя интервенционные и рентгенхирургические РРИ, при которых осуществляются хирургические и/или инвазивные процедуры под контролем рентгеновского излучения [49–53]. Данные методы исследований в РФ вносят крайне незначительный вклад в число исследований (0,5%); в зарубежных странах они более распространены (около 1%) [42, 43, 52]. Особенностью данного вида лучевой диагностики является крайне высокая продолжительность облучения пациента (до 40 минут), что приводит к высоким (до 1 Гр) поглощенным дозам в коже пациента; нередки случаи детерминированных эффектов (эритемы, язвы, некроз тканей) [53].

<sup>8</sup> Методические рекомендации «Заполнение формы федерального государственного статистического наблюдения № 3-ДОЗ»: [http://www.niirg.ru/PDF/MR\\_3-DOS\\_2013.pdf](http://www.niirg.ru/PDF/MR_3-DOS_2013.pdf) (Дата обращения: 06.02.2019). [Methodical recommendations "Filling the form of the federal governmental statistical surveillance 3-DOZ". - Available from: [http://www.niirg.ru/PDF/MR\\_3-DOS\\_2013.pdf](http://www.niirg.ru/PDF/MR_3-DOS_2013.pdf) (Accessed 06.02.2019).]

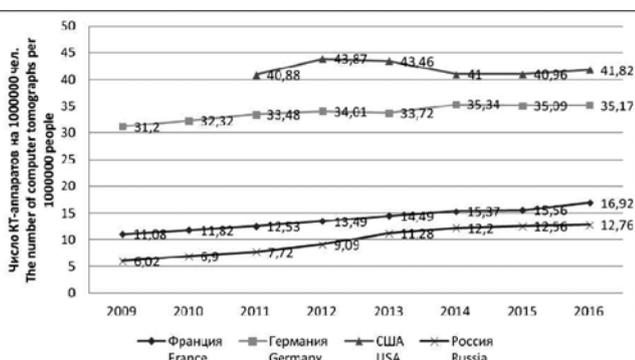
На 2017 г. радионуклидная диагностика составляла 0,2% от общего числа РРИ в РФ; в зарубежных странах радионуклидные методы намного более распространены (1–5%) [42, 43, 52, 54]. В РФ преобладают традиционные методы РНД – сцинтиграфия, однофотонная эмиссионная компьютерная томография [15, 17]. В последние годы получила распространение позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ), которая применяется также в сочетании с компьютерной томографией (ПЭТ/КТ) [18, 19].

Наиболее современным методом лучевой диагностики является компьютерная томография (КТ), позволяющая получать трехмерное рентгеновское изображение выбранной анатомической области. КТ широко распространена в зарубежных странах (около 10% вклада в общее число исследований в странах Евросоюза, около 20% – в США) [1, 42, 43, 52, 54]; в РФ данный вид диагностики начал развиваться сравнительно недавно. На 2017 г. вклад КТ в общее число исследований составил около 4% (с ростом примерно на 0,5% в год) [14, 20]. Динамика изменения числа КТ исследований и оснащенности компьютерными томографами в РФ и зарубежных странах соответственно в период 2009–2017 гг. представлена на рисунках 2 и 3 соответственно [14, 52, 54].



**Рис. 2.** Динамика роста числа КТ-исследований на 1000 чел. в РФ и зарубежных странах в 2009–2016 гг.

**[Fig. 2.** Trends of the increase in the number of CT scans per 1000 people in the Russian Federation and foreign countries in 2009–2016]



**Рис. 3.** Динамика роста оснащенности компьютерными томографами в РФ и в зарубежных странах в 2009–2016 гг.

**[Fig. 3.** Trends of the increase in the number of CT units in the Russian Federation and foreign countries in 2009–2016]

Представленные результаты свидетельствуют о существенном отставании РФ от зарубежных стран по обоим представленным показателям. Также следует отметить, что в зарубежных странах КТ выполняется не только для диагностики, но и в профилактических целях [55–59]. Так, компьютерная томография используется для скрининга рака легких и для выявления коронарного атеросклероза [55–59]. Данные виды скрининга достаточно широко распространены в Европе и США; результаты клинических испытаний подтвердили достоверное увеличение выявляемости данных патологий у пациентов, входящих в группы риска. В Российской Федерации использование КТ в скрининговых целях находится на этапе клинической апробации в отдельных медицинских организациях [58, 60].

Целесообразно оценить структуру лучевой диагностики в различных регионах Российской Федерации по наиболее современному и высокодозовому методу лучевой диагностики – компьютерной томографии и интервенционным (специальным) исследованиям. По сведениям, представленным в форме №3-ДОЗ за 2017 г., максимальное количество КТ-исследований в Российской Федерации выполнялось в г. Москве – 1496,3 тыс. ед., что составляет почти 10% от всех КТ исследований в стране. Далее следуют Краснодарский край (598 тыс. ед.), г. Санкт-Петербург (510 тыс. ед.), Республика Башкортостан (353 тыс. ед.), Свердловская область (338,5 тыс. ед.) и Московская область (291,7 тыс. ед.). В этих шести регионах выполняется треть всех КТ-исследований в Российской Федерации. Соответствующий вклад КТ-исследований в структуру лучевой диагностики в данных регионах варьирует от 2,5% (Московская область) до 5,5% (г. Москва).

Также следует выделить регионы с максимальным процентным вкладом КТ-исследований в общее число исследований: на первом месте находится Ульяновская область (6,6%); далее следуют Краснодарский край (5,8%), Томская область (5,7%), Республика Мордовия (5,6%), г. Москва и Республика Башкортостан (5,5%), Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа (5,2%).

Минимальное количество КТ-исследований в 2017 г. было выполнено в Республике Алтай (6,8 тыс. ед. – 1,3%), Республике Северная Осетия – Алания (6,6 тыс. ед. – 0,7%) Еврейской автономной области (3,6 тыс. ед. – 1,5%), Чукотском автономном округе (3,6 тыс. ед. – 3,6%) и Ненецком автономном округе (2,4 тыс. ед. – 2,4%).

Максимальное количество интервенционных исследований в 2017 г. было выполнено в г. Москве (186,6 тыс. ед.), Краснодарском крае (100,1 тыс. ед.), Красноярском крае (88,7 тыс. ед.), Свердловской области (71,4 тыс. ед.), г. Санкт-Петербурге (67,8 тыс. ед.) и Кемеровской области (66,8 тыс. ед.) – около половины от всех интервенционных исследований, выполненных в стране. Соответствующий вклад в структуру лучевой диагностики составил от 0,5% до 1,5%. Минимальное количество интервенционных исследований (меньше одной тысячи) было выполнено в Амурской и Тверской областях, Республиках Крым, Тыва и Марий Эл. В ряде регионов Российской Федерации интервенционные исследования в структуре лучевой диагностики отсутствуют.

Данные показатели свидетельствуют о крайне неравномерной структуре лучевой диагностики в Российской Федерации и позволяют выделить те регионы, в которых совершенствование системы радиационной защиты в медицине будет наиболее результативным.

#### 4. Уровни облучения в лучевой диагностике

Результирующим показателем уровня лучевой нагрузки на население страны является коллективная доза облучения. В 2017 г. коллективная доза медицинского облучения населения составила 80,3 тыс. чел.×Зв, – 14,13% от коллективной дозы от всех источников облучения (568,2 тыс. чел.×Зв). Динамика изменения коллективной дозы населения Российской Федерации от медицинского облучения за последние годы представлена на рисунке 4 [14].

Как следует из рисунка 4, с 2000 по 2013 г. коллективная доза медицинского облучения населения России снизилась практически в два раза, однако с 2014 г. наметился некоторый рост коллективной дозы. Данная тенденция обусловлена как увеличением вклада высокодозовых исследований (компьютерной томографии и радионуклидной диагностики, в том числе и гибридных методов исследований), так и увеличением численности жителей Российской Федерации (с 143,7 млн чел. до 146,8 млн чел. [61]).

Структура коллективной дозы медицинского облучения населения РФ за 2017 г. представлена на рисунке 5.

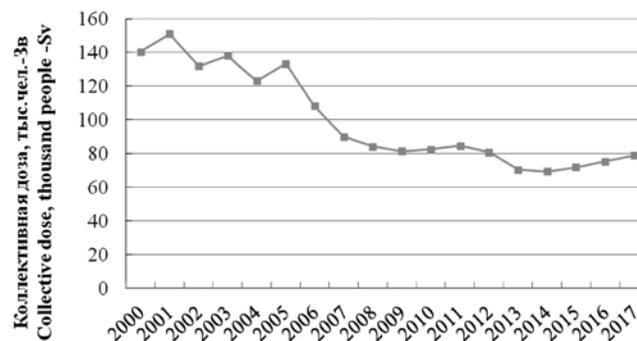
Несмотря на то, что рентгенография и флюорография вносит преобладающий вклад в число РРИ, их вклад в коллективную дозу составляет 23,3% и 7,6% соответственно. Первое место по величине вклада в коллективную дозу занимает КТ – 50,5%, хотя количество процедур является довольно низким (3,64%). Вклад в коллективную дозу КТ постоянно увеличивается; ожидается, что он будет увеличиваться и дальше. Динамика вклада основных видов РРИ в коллективную дозу от медицинского облучения в период 2000–2017 гг. представлена на рисунке 6.

Увеличение вклада КТ в коллективную дозу компенсируется снижением вкладов традиционных видов исследований: рентгеноскопии, рентгенографии, флюорографии, что обусловлено как сокращением числа выполняемых исследований (для рентгеноскопии), так и снижением индивидуальных доз облучения (для рентгенографии и флюорографии). Вклад радионуклидной диагностики остается практически неизменным с тенденцией к увеличению.

Нами проведено сравнение вклада различных видов лучевой диагностики в коллективную дозу в Российской Федерации и в европейских государствах, основываясь на данных, представленных в публикации Европейской комиссии №180 [42] и сведениях Европейской статистической комиссии [52]. К сожалению, для остальных стран с развитой системой здравоохранения актуальные данные отсутствуют. Результаты представлены на рисунке 7.

Из данных, представленных на рисунке 7, следует, что структура коллективной дозы в РФ отличается от развитых стран Западной Европы и может быть сравнима только с отдельными восточноевропейскими странами (Польша, Болгария, Венгрия). Обращает на себя внимание значительный вклад рентгенографических исследований, максимальный для всех рассматриваемых государств, – около 30%. Напротив, вклад компьютерной томографии значительно более низкий, чем в большинстве европейских стран.

Следующей характеристикой текущего состояния лучевой диагностики являются средние эффективные дозы облучения пациента от отдельных РРИ. Результаты оценки как по данным исследований, проведенных специалистами ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева, так и по итогам обработки формы 3-ДОЗ за 2017 г., представлены в таблице 1.



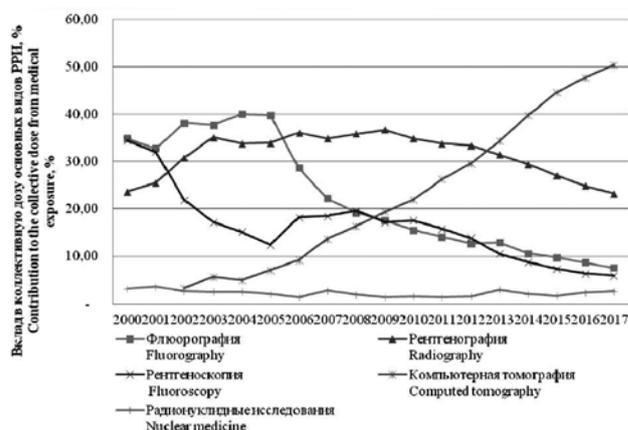
**Рис. 4.** Динамика изменения коллективной дозы населения Российской Федерации от медицинского облучения за период 2000–2017 гг.

[Fig. 4. Trend of the development of the collective dose of the public of the Russian Federation from medical exposure in 2000–2017]



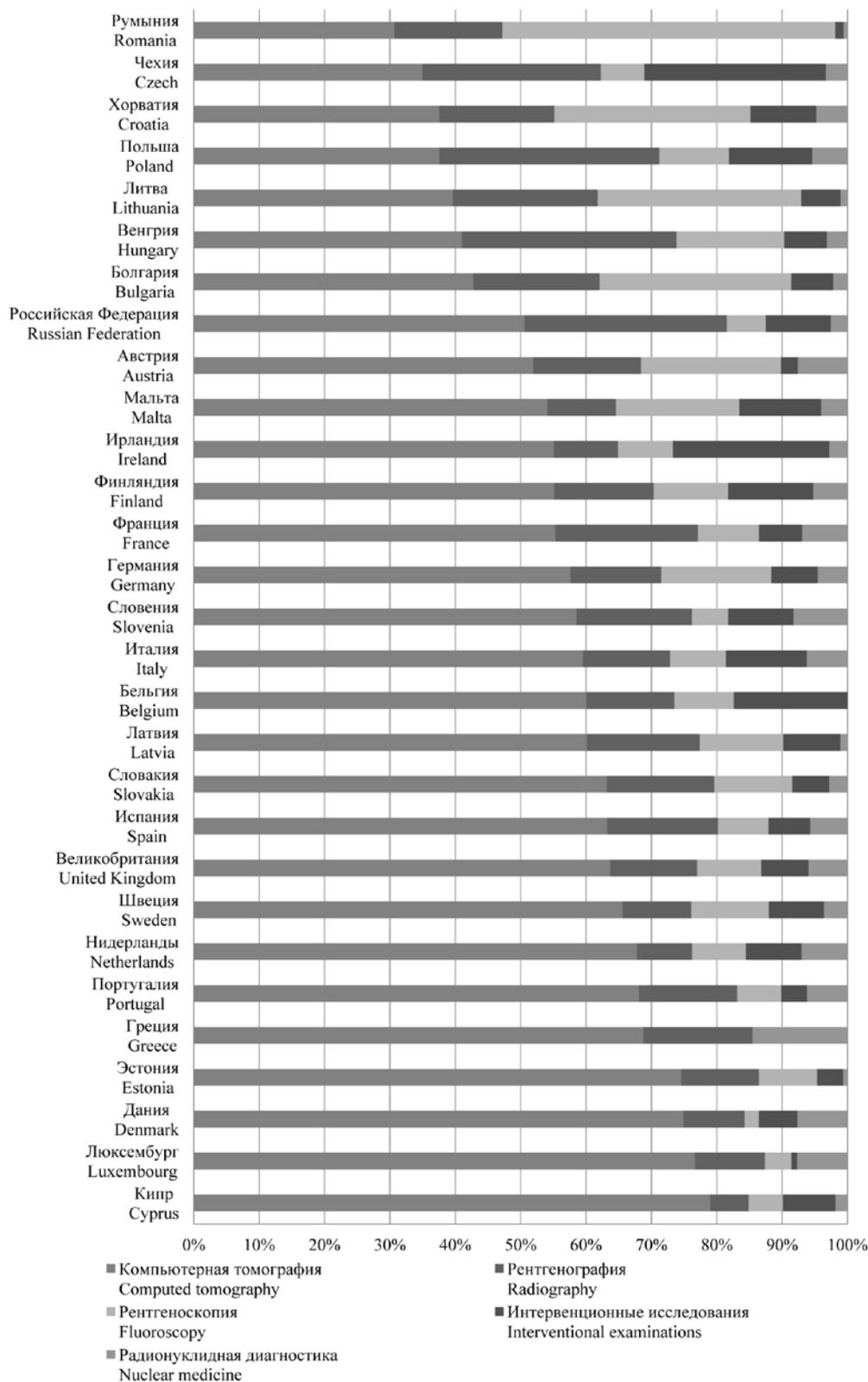
**Рис. 5.** Вклад различных видов лучевой диагностики в коллективную дозу медицинского облучения в Российской Федерации в 2017 г. по данным формы №3-ДОЗ

[Fig. 5. Contribution of different imaging modalities to the collective dose from medical exposure in the Russian Federation in 2017 based on the 3-DOZ data]



**Рис. 6.** Динамика изменения вклада различных видов РРИ в коллективную дозу от медицинского облучения в период 2000–2017 гг.

[Fig. 6. Trends of changes in the contribution of different imaging modalities to the collective dose from medical exposure in 2000–2017]



\* для РФ флюорография объединена с рентгенографией; интервенционные объединены с прочими исследованиями.

[\* for the Russian Federation, fluorography is combined with radiography; interventional examinations combined with "other" examinations]

**Рис. 7.** Сравнение структуры коллективной дозы от медицинского облучения в Российской Федерации и странах Евросоюза.

Страны расположены в порядке увеличения процентного вклада компьютерной томографии

**[Fig. 7.** Comparison of the structure of the collective dose from medical exposure in the Russian Federation and EU countries. The countries are arranged in order of increase of the contribution of computed tomography]

## Средние эффективные дозы для наиболее распространенных видов РПИ, мЗв

[Table 1]

## Average effective doses for the most common types of X-ray examinations, mSv

Процедура/исследование [Procedure/examination]	Данные собственных исследований ФБУН НИИРГ, 2009–2015 [15, 48] [Home IRH data collection, 2009–2015 [15, 48]]	Форма №3-ДОЗ, 2017 [3-DOZ Form, 2017]
<i>Рентгенография</i> [Radiography]		
Череп [Skull]	0,09	0,06
Органы грудной клетки [Chest]	0,18	0,12
Шейный отдел позвоночника [Cervical spine]	0,14	0,13
Грудной отдел позвоночника [Thoracic spine]	0,60	0,36
Пояснично-крестцовый отдел позвоночника [Lumbosacral spine]	1,2	0,59
Брюшная полость [Abdomen]	1,0	0,75
Таз [Pelvis]	1,0	0,6
<i>Компьютерная томография</i> [Computed tomography]		
Голова [Head]	1,8	1,7
Грудная клетка [Chest]	6,5	5,0
Брюшная полость [Abdomen]	9,0	7,3
Таз [Pelvis]	12	6,3
<i>Интервенционные исследования</i> [Interventional examinations]		
Коронарная ангиография [Coronary angiography]	15	6,0
<i>Рентгеноскопия</i> [Fluoroscopy]		
Верхний отдел ЖКТ (пищевод/желудок) [Upper gastrointestinal tract (esophagus / stomach)]	1,4/6,7	2,3
Нижний отдел ЖКТ (кишечник) [Lower gastrointestinal tract (intestine)]	9,6	4,8

Результаты сравнения свидетельствуют, что средние эффективные дозы на исследование, полученные специалистами ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева по всем представленным процедурам или исследованиям, выше, чем дозы, представляемые в форме №3-ДОЗ. Для ряда исследований (КТ таза, коронарная ангиография, рентгеноскопия нижнего отдела ЖКТ), дозы облучения, полученные в собственных исследованиях, выше более чем в два раза.

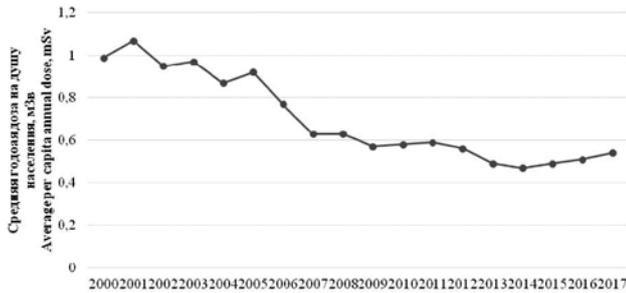
Особенностью ядерной медицины, с точки зрения радиационной безопасности, является наличие внутреннего облучения пациента от вводимого РФП. Дозы внутреннего облучения пациентов в радионуклидной диагностике варьируют от 0,1 до 10 мЗв за исследование [17, 18]. В случае проведения совмещенных исследований с рентгеновской КТ дозы пациентов увеличиваются за счет внешнего облучения. Так, доза от совмещенного ПЭТ/КТ-исследования всего тела в среднем составляет 17 мЗв, при этом наибольший вклад в дозу вносит КТ-сканирование, доза пациента увеличивается до 40 мЗв при проведении многофазной КТ [18, 19].

Одним из важных показателей в оценке медицинского облучения является средняя годовая эффективная доза жителя страны. В Российской Федерации после некоторой стабилизации в 2013–2015 гг. на уровне 0,45–0,48 мЗв средняя годовая эффективная доза на душу населения с 2016 г. имеет тенденцию роста и в 2017 г. составила 0,54 мЗв (рис. 8).

Как следует из данных, представленных на рисунке 8, практически во всех странах ЕС средняя годовая эффективная доза на душу населения, а также доза от КТ, значительно превосходят аналогичную дозу для населения РФ.

Также нами проведен анализ уровня и структуры средних доз от медицинского облучения на душу населения для различных видов РПИ в Российской Федерации и европейских странах (рис. 9).

В отдельных крупных медицинских центрах РФ выполняются (или находятся на стадии клинической апробации) современные виды рентгенодиагностических исследований, которые еще не вошли в форму №3-ДОЗ.



**Рис. 8.** Динамика средней годовой эффективной дозы на душу населения Российской Федерации  
**[Fig. 8.** Dynamics of the average annual per capita effective dose of the public of the Russian Federation]

В таблице 2 представлены значения средних эффективных доз для современных/перспективных видов РРИ по зарубежным данным.

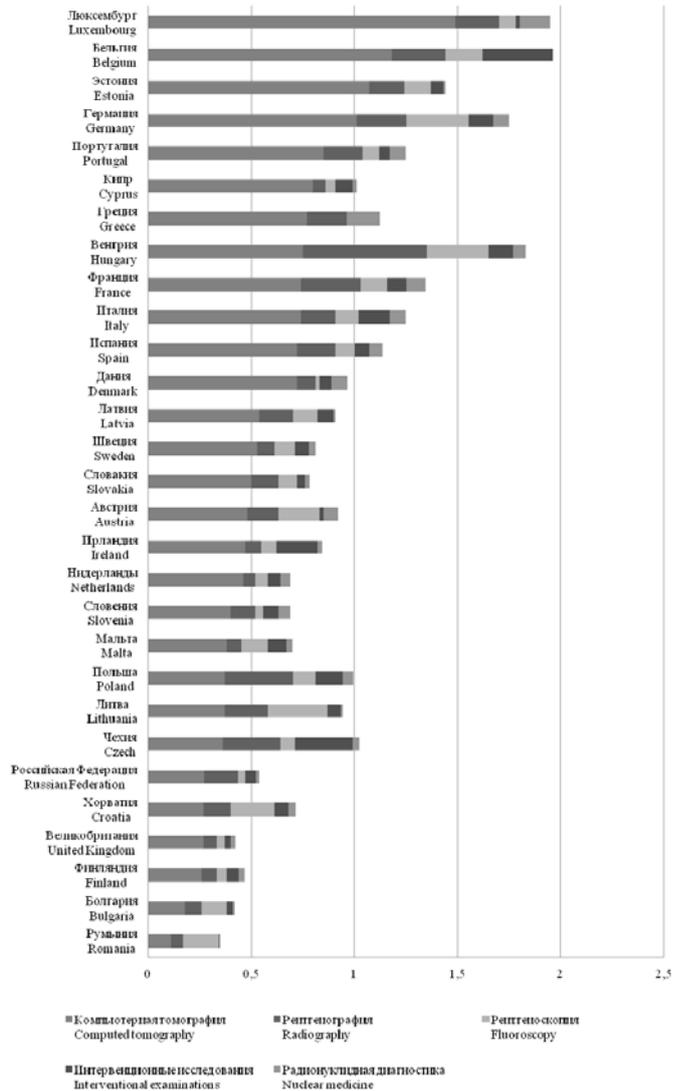
Широкое внедрение современных методов РРИ в Российской Федерации существенно скажутся на структуре лучевой диагностики и дозах медицинского облучения населения страны.

На основе представленных данных нами выполнены прогностические оценки возможного изменения структуры лучевой диагностики и ассоциированного с этим изменения коллективной дозы в Российской Федерации от медицинского облучения. Первый сценарий заключается в изменении структуры лучевой диагностики (числа тех или иных РРИ на 1000 человек населения) в соответствии со средними значениями для стран Евросоюза с сохранением отечественных средних доз на процедуру/исследование. Второй сценарий – изменение структуры лучевой диагностики в соответствии со средними значениями для стран Евросоюза и со средними дозами на процедуру/исследование для стран Евросоюза. Исходные данные для расчета представлены в таблице 3.

Результаты расчета изменения коллективной дозы для обоих сценариев представлены в таблице 4. При этом для РФ были сделаны следующие допущения: флюорография учитывалась совместно с рентгенографией; прочие исследования были объединены со специальными.

Результаты сравнения показывают, что при переходе к структуре лучевой диагностики, определенной как средняя по всем странам Евросоюза, увеличение коллективной дозы от медицинского облучения МО составит порядка 10% (8,5 тыс. чел×Зв). Увеличение вклада в коллективную дозу от современных видов РРИ (КТ, РНД) будет компенсировано резким снижением вклада рентгенографии и интервенционных (специальных) исследований. Если изменение структуры лучевой диагностики будет сопровождаться изменениями в величинах средних доз за исследование (аналогично сведениям по Евросоюзу), то коллективная доза от медицинского облучения увеличится практически в два раза (с 79 тыс. чел×Зв до 149 тыс. чел×Зв).

Использование Евросоюза в качестве объекта сравнения с Российской Федерацией оправдано в связи с крайне неоднородным уровнем экономического развития и состоянием лучевой диагностики в странах – членах Евросоюза (параллель с неоднородным состоянием



**Рис. 9.** Сравнение структуры средних эффективных доз от медицинского облучения на душу населения, мЗв, для различных видов РРИ в Российской Федерации и европейских странах. Страны расположены в порядке уменьшения доз облучения от компьютерной томографии

**[Fig. 9.** Comparison of the structure of average per capita effective doses from medical exposure, mSv, for different imaging modalities in the Russian Federation and European countries. Countries are arranged in order of decrease of the contribution of computed tomography]

лучевой диагностики в различных субъектах Российской Федерации).

### Заключение

Рентгенорадиологические методы исследования во всем мире продолжают развиваться и остаются одним из основных методов диагностики. Происходит совершенствование существующих методов визуализации путем применения новых алгоритмов, а также комбинирования и совмещений существующих методов.

Число РРИ на душу населения и в Российской Федерации, и во всем мире ежегодно увеличивается.

Таблица 2

## Эффективные дозы от современных/перспективных видов РРИ

[Table 2]

## Effective doses from the existing / prospective x-ray examinations]

Вид РРИ [Type of x-ray examination]	Эффективная доза, мЗв [Effective dose, mSv]	Источник [Source]
Скрининговые исследования [Screening]		
Низкодозовая компьютерная томография для скрининга рака легких [Low-dose computed tomography for lung cancer screening]	1,0–1,5	Водоватов [62] [Vodovатов [62]] Karostik и др. [63] [Karostik et al. [63]] Mazzone и др. [64] [Mazzone et al. [64]]
КТ-коронарография [CT-coronarography]	0,8–10,5	Водоватов [62] [Vodovатов [62]] Kim и др. [65] [Kim et al. [65]]
Томосинтез молочной железы [Breast tomosynthesis]	0,5–1,5	Svahn и др. [32] [Svahn et al. [32]]
Томосинтез органов грудной клетки [Chest tomosynthesis]	0,13	Bath и др. [34] [Bath et al. [34]]
ПЭТ-скрининг всего тела [Whole-body PET Screening]	4,4	Murano и др. [35] [Murano et al. [35]]
ПЭТ/КТ-скрининг всего тела [Whole-body PET/CT Screening]	13,5	Murano и др. [35] [Murano et al. [35]]

Таблица 3

## Сравнение числа исследований и средней дозы на исследование в РФ и Евросоюзе

[Table 3]

## Comparison of the number of examinations and the average dose per examination in the Russian Federation and the European Union]

Параметр [Parameter]	Рентгенография [Radiography]	Рентгено-скопия [Fluoroscopy]	КТ [CT]	Интервенционные исследования [Interventional examinations]	Радионуклидная диагностика [Nuclear medicine]
Число исследований на 1000 чел., Евросоюз, ед. [Number of examinations per 1000 people, EU, units]	929,7	29,9	93,7	6,9	12,2
Средняя доза на процедуру/исследование, Евросоюз, мЗв [Average dose per procedure/examination, EU, mSv]	0,2	3,9	6,3	14,0	4,1
Число исследований на 1000 чел., РФ, ед. [Number of examinations per 1000 people, RF, units]	1813,1	12,3	69,5	9,4	3,5
Средняя доза на процедуру/ исследование, РФ, мЗв [Average dose per procedure/examination, RF, mSv]	0,1	2,6	3,9	5,7	3,9

**Результаты оценки изменения коллективной дозы от медицинского облучения в РФ при изменении структуры лучевой диагностики и средних эффективных доз за исследование**

**Results of the assessment of the changes in the collective dose from medical exposure in the Russian Federation after the transformation of the structure of X-ray diagnostics and average effective doses per examination]**

Структура коллективной дозы [Structure of the collective dose]	Коллективная доза от вида лучевой диагностики, чел*Зв [Collective dose from the imaging modality, man- sV]					Всего [Total]
	Рентгенография [Radiography]	Рентгено-скопия [Fluoroscopy]	КТ [CT]	Интервенционные исследования [Interventional examinations]	Радионуклидная диагностика [Nuclear medicine]	
Текущее состояние [Current state]	24368,5	4701,3	39894,2	8063,3	2014,7	79042
Текущее состояние, % [Current state, %]	30,83%	5,95%	50,47%	10,2%	2,55%	100%
С изменением структуры исследования [With a change in the structure of the examination]	9613,2	11424,8	53809,5	5772,4	6951,2	87571,2
С изменением структуры исследования, % [With a change in the structure of the examination, %]	11%	13%	61%	7%	8%	100%
С изменением структуры исследований и средней дозы на исследование [With a change in the structure of examinations and the average dose from the examination]	24722,9	17228,0	86157,6	14204,6	7307,4	149620,5
С изменением структуры исследований и средней дозы на исследование, % [With a change in the structure of examinations and the average dose from the examination, %]	17%	12%	58%	9%	5%	100%

Самыми быстрыми темпами растет количество компьютерных томографий. И хотя в Российской Федерации их доля в структуре лучевой диагностики в 2017 г. составила всего 3,64%, вклад в коллективную дозу облучения КТ уже превалирует и составил 50,47%.

В нашей стране традиционно на протяжении многих лет превалируют рентгенография и флюорография, которые вместе составляют 94,99% от всех РРИ, а их доля в коллективной дозе составляет 30,83%.

По сравнению со странами Евросоюза и США, в структуре лучевой диагностики в Российской Федерации чрезвычайно низкая доля КТ, радионуклидных и интервенционных исследований.

К особенностям медицинского облучения в Российской Федерации относятся почти в два раза более низкие средние индивидуальные дозы облучения от РРИ по сравнению со странами Евросоюза. Наиболее значимы различия для компьютерной томографии (3,9 мЗв в РФ и 6,3 мЗв в ЕС) и интервенционных исследований (5,7 мЗв в РФ и 14,0 мЗв в ЕС).

По состоянию на 2017 г. коллективная доза медицинского облучения населения РФ составила 80,3 тыс. чел.Зв. Первое место по величине вклада в коллективную дозу занимает КТ – 50,5%, при вкладе в структуре исследований всего 3,64%. Вклад в коллективную дозу КТ постоянно увеличивается. Ожидается, что он будет увеличиваться и дальше. Несмотря на то, что рентгенография и флюорография вносит преобладающий вклад в число РРИ, их вклад в коллективную дозу составляет 23,3% и 7,6% соответственно.

В крупных медицинских центрах Российской Федерации в последние годы интенсивно внедряются новейшие методы исследований, такие как ПЭТ/КТ, ОФЭКТ/КТ, проходят апробацию низкодозовая компьютерная томография для скрининга рака легких и КТ-коронарография, томосинтез молочной железы и органов грудной клетки, ПЭТ/КТ-скрининг всего тела.

Несомненно, данные виды РРИ внесут свой вклад в совершенствование лучевой диагностики, но также приведут и к росту дозовой нагрузки на население страны. Тренды развития лучевой диагностики в мире по-

звolyют сделать некоторые прогнозы применительно к Российской Федерации:

– неуклонное увеличение вклада современных высокоинформативных методов лучевой диагностики, таких как КТ, интервенционные исследования и РНД (примерно на 0,5% ежегодно);

– рост в два раза коллективной дозы от медицинского облучения в ближайшее десятилетие как за счет увеличения доли высокодозных исследований, так и роста средних доз на исследование, сравнимых со средними по ЕС.

## Литература

- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation. Sources and Effects of Ionising Radiation. UNSCEAR 2008. Report to the General Assembly with Scientific Annexes. – New York, UN-2010.-Volume I. – Annex A.
- World Health Organization/Global initiative on Radiation Safety in Healthcare Settings. World Health Organization. Technical meeting report. Geneva, 2008, 100 p.
- International Atomic Energy Agency, World Health Organization. Bonn call for action. International Atomic Energy Agency, World Health Organization. 10 Action to Improve Radiation Protection in Medicine in the Next Decade: [https://www.who.int/ionizing\\_radiation/medical\\_radiation\\_exposure/BonnCallforAction2014.pdf](https://www.who.int/ionizing_radiation/medical_radiation_exposure/BonnCallforAction2014.pdf) (Дата обращения: 06.02.2019).
- 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.
- Публикация 105 Международной Комиссии по Радиационной защите (МКРЗ) / под редакцией Д. Валентина; редактор русского перевода М.И. Балонов. – СПб.: ФГУН НИИРГ, 2011. – 66 с.
- Международное Агентство по Атомной Энергии. Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности / Международное Агентство по Атомной Энергии // Серия норм МАГАТЭ по безопасности. – Вена, IAEA, 2015. – № GSR Part 3. – 518 с.
- International Atomic Energy Agency. Radiation Protection and safety in medical uses of ionizing radiation. International Atomic Energy Agency. Specific safety guide. Vienna, IAEA, 2018, №SSG-46, 340 p.
- Samei E. [et. al.] Medical Imaging Dose Optimization from Ground up: Expert Opinion of an International Summit. J. Radiol. Prot., Vol. 38(3), 2018, pp. 967-989.
- Järvinen H., Vassileva J., Samei E., Wallace A., Vano E. and Rehani M. Patient dose monitoring and the use of diagnostic reference levels for the optimization of protection in medical imaging: current status and challenges worldwide. Journal of Medical Imaging, 2017, Vol. 4(3), pp. 031214.
- Toma P. [et. al.] Radiation exposure in diagnostic imaging: wisdom and prudence, but still a lot to understand. Radiol. Med., 2017, Vol. 122, pp.215-220.
- Frush D.P., Perex M.D.R. Children, medical radiation and the environment: An important dialogue. Environmental Research, 2017, Vol. 156, pp. 358-363.
- Rehani M., Vassileva J. Survey of imaging technology and patient dose recording practice in developing countries. Radiat. Prot. Dosimetry, 2018, Vol. 181(3), pp. 240-245. doi: 10.1093/rpd/ncy019
- Järvinen H., Vassileva J., Samei E., Wallace A., Vano E., Rehani M. Patient dose monitoring and the use of diagnostic reference levels for the optimization of protection in medical imaging: current status and challenges worldwide. J Med Imaging, 2017, Vol. 4(3), pp. 312-314. doi: 10.1117/1.JMI.4.3.031214
- Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2017 год: радиационно-гигиенический паспорт Российской Федерации. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2018. – 128 с.
- Balonov M., Golikov V., Zvonova I., Chipiga L., Kalnitsky S., Sarycheva S., Vodovatov A. Patient doses from medical examinations in Russia: 2009–2015 J. Radiol. Prot., Vol. 38, pp. 121-140. doi:<https://doi.org/10.1088/1361-6498/aa9b99>
- Балонов, М.И. Современные уровни медицинского облучения в России / М.И. Балонов, В.Ю. Голиков, И.А. Звонова, С.А. Кальницкий, В.С. Репин, С.С. Сарычева, Л.А. Чипига // Радиационная гигиена. – 2015. – Т.8. – №3. – С. 67-79.
- Zvonova I.A., Chipiga L.A. Trends on medical exposure and radiation protection in nuclear medicine in Russia. Proceedings of International Conference on Radiation Protection in Medicine: Achieving Change in Practice. Vienna, 2017. IAEA, book of contributions, pp. 188 – 192: <https://www.iaea.org/sites/default/files/18/02/rpop-session4.pdf> (Дата обращения: 06.02.2019).
- Чипига, Л.А. Уровни облучения пациентов и возможные пути оптимизации ПЭТ-диагностики в России / Л.А. Чипига, И.А. Звонова, Д.В. Рыжкова, М.А. Меньков, М.Б. Долгушин // Радиационная гигиена. – 2017. – Т.10. – №4. – С. 31-43: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2017-10-4-31-43> (Дата обращения: 06.02.2019).
- Chipiga L., Vodovatov A., Zvonova I., Bernhardsson C. Assessment of patient doses and possible approaches for implementation of optimization procedures in PET/CT examinations in the Russian Federation. Proceedings of the 13th international conference on «Medical Physics in the Baltic States» (Kaunas, 9-11 November 2017), 2017, pp. 36 – 40.
- Chipiga L.A., Bernhardsson C. Patient doses in Computed Tomography examinations in two regions of the Russian Federation. Rad. Prot. Dos., 2016, Vol. 169(1-4), pp. 240-244.
- Тернова, С.К. Перспективы развития методов лучевой диагностики. Аналитический обзор / СК. Тернова, В.Е. Синицын: <https://rosoncweb.ru/library/radiodiagnosics/002.php> (Дата обращения: 06.02.2019).
- Тернова, С.К. Развитие компьютерной томографии и прогресс лучевой диагностики / С.К. Тернова, В.Е. Синицын // Радиология-практика. – 2005. – №4. – С. 23-29.
- Маткевич, Е.И. Основные направления снижения дозы облучения пациентов при компьютерной томографии / Е.И. Маткевич, В.Е. Синицын, М.И. Зеликман, С.А. Кручинин, И.В. Иванов // РЕЖР. – 2018. – Т.8. – №3. – С. 60-73. doi:10.21569/2222-7415-2018-8-3-60-73.
- Breast Tomosynthesis. Considerations for Routine Clinical Use: <http://www.wishmd.com/wp-content/uploads/2016/04/tomo-white-paper.pdf> (Дата обращения: 16.02.2019).
- ICRP, 2015. Radiological Protection in Cone Beam Computed Tomography (CBCT). ICRP Publication 129. Ann. ICRP 44(1).
- Dawood A., Patel S., Brown J. Cone beam CT in dental practice. Br Dent J., 2009, Vol. 207(1), pp.23-28. doi: 10.1038/sj.bdj.2009.560.
- De Marneffe M., Milicevic M., Milicevic M. Cone Beam CT. New tool in diagnostic imaging. Rev Med Liege, 2017, Vol. 72(10), pp. 457-461.
- Vetter S.Y., Steffen K., Swartman B. [et. al.] Influence of intraoperative conventional fluoroscopy versus cone beam CT on long-term clinical outcome in isolated displaced talar fractures. J Orthop Surg Res, 2019, Vol. 14(1), pp. 8. doi: 10.1186/s13018-018-1043-3.
- Goo H.W., Goo J.M. Dual-Energy CT: New Horizon in Medical Imaging. Korean J Radiol, 2017, Vol. 18(4), pp. 555-569. doi: 10.3348/kjr.2017.18.4.555
- Xie Z.Y., Chai R.M., Ding G.C., Liu Y., Ren K. T and N Staging of Gastric Cancer Using Dual-Source Computed Tomography.

- Gastroenterol Res Pract., 2018, Vol. 4, pp. 5015202. doi: 10.1155/2018/5015202
31. Greffier J., Pereira F.R., Viala P., Macri F., Beregi J.P., Larbi A. Interventional spine procedures under CT guidance: How to reduce patient radiation dose without compromising the successful outcome of the procedure? *Phys Med.*, 2017, Vol. 35, pp. 88-96. doi: 10.1016/j.ejmp.2017.02.016
  32. Svahn T.M., Houssami N., Sechopoulos I., Mattsson S. Review of radiation dose estimates in digital breast tomosynthesis relative to those in two-view full-field digital mammography. *The BREAST*, 2015, Vol. 24(2), pp. 93-99.
  33. Helvie M.A. Digital Mammography Imaging: Breast Tomosynthesis and Advanced Applications. *Radiol Clin North Am.*, 2010, Vol. 48(5), pp. 917-929.
  34. Båth M., Svalkvist A., von Wrangel A., Rismyhr-Olsson H., Cederblad A. Effective dose to patients from chest examinations with tomosynthesis. *Radiat Prot Dosimetry*, 2010, Vol. 139(1-3), pp.153-8. doi: 10.1093/rpd/ncq092
  35. Murano T. [et. al.] Radiation exposure and risk-benefit analysis in cancer screening using FDG-PET: results of a Japanese nationwide survey. *Ann Nucl Med*, 2011, Vol. 25, pp. 657-666. doi: 10.1007/s12149-011-0511-1
  36. Padole A., Ali Khawaja R.D., Karla M., Singh S. CT radiation dose and iterative reconstruction techniques. *American Journal of Roentgenology*, 2015, Vol. 204, pp. 384-392. doi: 10.2214/AJR.14.13241
  37. Klink T., Obmann V., Heverhagen J., Stork A., Adam G., Begemann P. Reducing CT radiation dose with iterative reconstruction algorithms: the influence of scan and reconstruction parameters on image quality and CTDIvol. *Eur J Radiol.*, 2014, Vol. 83(9), pp. 1645-54. doi: 10.1016/j.ejrad.2014.05.033
  38. Статус и перспективы развития ядерной медицины и лучевой терапии в России на фоне мировых тенденций (аналитическая справка). – 2008: [www.oprf.ru/files/yad\\_medicine.doc](http://www.oprf.ru/files/yad_medicine.doc) (Дата обращения: 16.02.2019).
  39. Романова, С. Ядерная медицина: состояние и перспективы развития / Романова С. // *Remedium*. – 2013. – Т. 6. – С. 8-20.
  40. Stasi G., Ruoti E.M. A Critical Evaluation in the Delivery of the Ultrasound Practice: The Point of View of the Radiologist. *Italian Journal of Medicine*, 2012, Vol. 9(1), pp. 5-10: <https://doi.org/10.4081/ijtm.2015.502> (Дата обращения: 16.02.2019).
  41. Электронный ресурс: <https://www.fda.gov/Radiation-EmittingProducts/RadiationEmittingProductsandProcedures/MedicalImaging/MRI/ucm482765.htm> (Дата обращения: 16.02.2019).
  42. European Commission. Medical Radiation Exposure of the European Population. European Commission. Radiation protection, 2014, № 180, Part 1/2, 181 p.
  43. Hart D., Hillier M.C., Shrimpton P.C. HPA-CRCE-034 – Doses to Patients from Radiographic and Fluoroscopic X-ray Imaging Procedures in the UK – 2010 Review. Health Protection Agency, 2012, 87 p.
  44. Онищенко, Г.Г. Радиационно-гигиеническая паспортизация и ЕСКИД – информационная основа принятия управленческих решений по обеспечению радиационной безопасности населения Российской Федерации. Сообщение 1. Основные достижения и задачи по совершенствованию / Г.Г. Онищенко, А.Ю. Попова, И.К. Романович, А.Н. Барковский, Т.А. Кормановская, И.Г. Шевкун // *Радиационная гигиена*. – 2017. – Т.10(3). – С. 7-17: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2017-10-3-7-17> (Дата обращения: 16.02.2019).
  45. Онищенко, Г.Г. Радиационно-гигиеническая паспортизация и ЕСКИД – информационная основа принятия управленческих решений по обеспечению радиационной безопасности населения Российской Федерации. Сообщение 2. Характеристика источников и доз облучения населения Российской Федерации / Г.Г. Онищенко, А.Ю. Попова, И.К. Романович, А.Н. Барковский, Т.А. Кормановская, И.Г. Шевкун // *Радиационная гигиена*. – 2017. – Т.10(3). – С. 18-35: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2017-10-3-18-35> (Дата обращения: 16.02.2019).
  46. Водоватов, А.В. Практическая реализация концепции референтных диагностических уровней для оптимизации защиты пациентов при проведении стандартных рентгенографических исследований / А.В. Водоватов // *Радиационная гигиена*. – 2017. – Т.10(1). – С. 47-55: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2017-10-1-47-55> (Дата обращения: 16.02.2019).
  47. Водоватов, А.В. Анализ уровней облучения взрослых пациентов при проведении наиболее распространенных рентгенографических исследований в Российской Федерации в 2009–2014 гг. / А.В. Водоватов, В.Ю. Голиков, С.А. Кальницкий, И.Г. Шацкий, Л.А. Чипига // *Радиационная гигиена*. – 2017. – Т.10(3). – С. 66-75: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2017-10-3-66-75> (Дата обращения: 16.02.2019).
  48. Водоватов, А.В. Определение коэффициентов перехода от произведения дозы на площадь к эффективной дозе для рентгеноскопических исследований желудка с бариевым контрастом для взрослых пациентов / А.В. Водоватов, В.Ю. Голиков, И.Г. Камышанская, К.В. Зинкевич, К. Бернхардссон // *Радиационная гигиена*. – 2018. – Т. 11(1). – С.93-100: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2018-11-1-93-100> (Дата обращения: 16.02.2019).
  49. Bontrager K.L., Lampignano J.P. *Textbook of radiographic positioning and related anatomy*. Elsevier Mosby, 2014, 826 p.
  50. Медицинская рентгенология: технические аспекты, клинические материалы, радиационная безопасность / под ред. Р.В. Ставицкого. – М.: Норма, 2003. – 344 с.
  51. Шумутко, Б.И. Стандарты диагностики и лечения внутренних болезней. 3-е изд./ Б.И. Шумутко, С.В. Макаренко. – СПб: «Элби-СПб», 2005. – 800 с.
  52. Eurostat: your key to the European statistics: <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database> (Дата обращения: 16.02.2019).
  53. Голиков, В.Ю. Оценка доз облучения пациентов при проведении интервенционных рентгенологических исследований / В.Ю. Голиков, С.С. Сарычева, М.И. Балоню, С.А. Кальницкий // *Радиационная гигиена*. – 2009. – Т.2(3). – С. 26-31.
  54. The Organization for Economic Co-operation and Development. *Health at a Glance 2017: OECD Indicators. The Organization for Economic Co-operation and Development*. OECD Publishing, Paris, 2018, 220 p.
  55. U.S. Preventive Services Task Force. Final recommendation statement: lung cancer: screening/U.S. Preventive Services Task Force: [www.uspreventiveservicestaskforce.org/Page/Document/RecommendationStatementFinal/lung-cancer-screening](http://www.uspreventiveservicestaskforce.org/Page/Document/RecommendationStatementFinal/lung-cancer-screening). (Дата обращения: 06.02.2019).
  56. Iaccarino J.M., Clark J., Bolton R., Kinsinger L., Kelley M., Slatore C.G., Au D.H., Wiener R.S. A National Survey of Pulmonologists' Views on Low-Dose Computed Tomography Screening for Lung Cancer. *Ann. Am. Thorac. Soc.*, 2015, Vol. 12(11), pp. 1667-75.
  57. Marshall H.M., Bowman R.V., Yang I.A., Fong K.M, Berg C.D. Screening for lung cancer with low-dose computed tomography: a review of current status. *Journal of Thoracic Disease*, 2013, Vol. 5, pp. 524-539.
  58. Марьяшева, Ю.А. Роль КТ-ангиографии в обследовании пациентов с предполагаемой ишемической болезнью сердца / Ю.А. Марьяшева, В.Е. Синицын, С.К. Терновой // *Диагностическая и интервенционная радиология*. – 2010. – Т. 4. – №1. – С. 67-73.
  59. Vanhoenacker P.K., Heijnenbroek-Kal M.H., Van Heste R. Decramer I., Van Hoe L.R., Wijns W., Hunink M.G. Diagnostic performance of multidetector CT angiography for assessment of coronary artery disease: meta-analysis. *Radiology*, 2007, Vol. 244, pp. 419-428.

60. Московский скрининг рака легкого. [Электронный ресурс]: <http://medradiology.moscow/ndkt> (Дата обращения: 06.02.2019).
61. Федеральная служба государственной статистики. Демография: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/population/demography/#](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/population/demography/#) (Дата обращения: 06.02.2019).
62. Водоватов, А.В. Совершенствование норм радиационной безопасности. Часть 1: целесообразность ограничения доз медицинского облучения практически здоровых лиц / А.В. Водоватов // Радиационная гигиена. – 2018. – Т.11(3). – С. 115-124: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2018-11-3-115-124> (Дата обращения: 06.02.2019).
63. Karostik D.V., Kamyshanskaya I.G., Cheremisin V.M., Drozdov A.A., Vodovatov A.V. Evaluation of low-dose CT implementation for lung cancer screening in a general practice hospital. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series, 2018, Vol. 967. doi:10.1088/1742-6596/967/1/012006
64. Mazzone P.J. Silvestri G.A., Patel S., Kanne J.P., Kinsinger L.S., Wiener R.S., Soo Hoo G., Detterbeck F.C. Screening for Lung Cancer: CHEST Guideline and Expert Panel Report. Chest, 2018, Vol. 153 (4), pp. 954 – 985.
65. Kim K.P., Einstein A.J., de Gonzalez A.B. Coronary artery calcification screening: estimated radiation dose and cancer risk. Archives of internal medicine, 2009, Vol. 169(13), pp. 1188-1194. doi:10.1001/archinternmed.2009.162.

Поступила: 08.02.2019 г.

**Онищенко Геннадий Григорьевич** – доктор медицинских наук, профессор, академик Российской академии наук, Москва, Россия

**Попова Анна Юрьевна** – доктор медицинских наук, профессор, руководитель Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Москва, Россия

**Романович Иван Константинович** – доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент 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

**Водоватов Александр Валерьевич** – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией радиационной гигиены медицинских организаций, ведущий научный сотрудник 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: vodovatoff@gmail.com

**Башкетова Наталия Семеновна** – руководитель Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по городу Санкт-Петербургу, Санкт-Петербург, Россия

**Историк Ольга Александровна** – руководитель Управления Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Ленинградской области, Санкт-Петербург, Россия

**Чипига Лариса Александровна** – 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, Санкт-Петербург, Россия

**Шацкий Илья Геннадьевич** – 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, Санкт-Петербург, Россия

**Репин Леонид Викторович** – младший научный сотрудник информационно-аналитического центра 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

**Библин Артём Михайлович** – руководитель информационно-аналитического центра – старший научный сотрудник 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

**Для цитирования:** Онищенко Г.Г., Попова А.Ю., Романович И.К., Водоватов А.В., Башкетова Н.С., Историк О.А., Чипига Л.А., Шацкий И.Г., Репин Л.В., Библин А.М. Современные принципы обеспечения радиационной безопасности при использовании источников ионизирующего излучения в медицине. Часть 1. Тенденции развития, структура лучевой диагностики и дозы медицинского облучения // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 1. – С. 6-24. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-1-6-24

## Modern principles of the radiation protection from sources of ionizing radiation in medicine. Part 1: Trends, structure of x-ray diagnostics and doses from medical exposure

Onischenko G.G.<sup>1,6</sup>, Popova A. Yu.<sup>2,7</sup>, Romanovich I.K.<sup>3</sup>, Vodovatov A.V.<sup>3</sup>, Bashketova N.S.<sup>3,4</sup>, Istorik O.A.<sup>5</sup>,  
Chipiga L.A.<sup>3</sup>, Shatskiy I.G.<sup>3</sup>, Repin L.V.<sup>3</sup>, Biblin A.M.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Russian academy of sciences, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup>Federal service of surveillance on consumer rights protection and human well-being, Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup>Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

<sup>4</sup>Federal service of surveillance on consumer rights protection and human well-being in St-Petersburg, St-Petersburg, Russian federation

<sup>5</sup>Federal service of surveillance on consumer rights protection and human well-being in Leningrad region, St-Petersburg, Russian federation

<sup>6</sup>The State Education Institution of Higher Professional Training The First Sechenov Moscow State Medical University under Ministry of Health of the Russian Federation

<sup>7</sup>Federal State Budgetary Educational Institution of Further Professional Education «Russian Medical Academy of Continuous Professional Education» of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation

*Implementation of modern highly informative methods of X-ray diagnostics (computed tomography, interventional examinations, nuclear medicine), associated with the increase of doses to the public and patients, requires the development and improvement of the existing system of the radiation protection from medical exposure. Despite the prevalence of the traditional imaging modalities in the structure of X-ray diagnostics in the Russian Federation (radiography and fluorography compose up to 95% out of 280 mln. X-ray examinations performed in 2017), the major contribution into the collective dose from medical exposure is due to the computed tomography (50,5%). Comparison of the structure of X-ray diagnostics in the Russian Federation with European Union indicates the absence of fluorography examinations and significantly (up to a factor of 5) higher contribution of computed tomography in European countries. An average collective dose from medical exposure in European countries is composed of 80% of computed tomography and of 10% of nuclear medicine; a mean effective dose per X-ray examination are higher up to a factor of 3 compared to Russia. The analysis of the trends of the development of the X-ray diagnostic in the Russian Federation allows predicting a further increase of the number of computer tomography, interventional and nuclear medicine examinations as well as an increase of the collective dose from medical exposure up to a factor of two in the next decade. This will be associated with changes in the structure of the X-ray diagnostics and an increase of the mean effective doses from X-ray examinations.*

**Key words:** X-ray diagnostics, collective dose, medical exposure, patient doses, effective dose, health screening examinations.

### References

- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation. Sources and Effects of Ionising Radiation. UNSCEAR 2008. Report to the General Assembly with Scientific Annexes. – New York, UN-2010.-Volume I. – Annex A.
- World Health Organization/Global initiative on Radiation Safety in Healthcare Settings. World Health Organization. Technical meeting report, Geneva, 2008, 100 p.
- International Atomic Energy Agency, World Health Organization. Bonn call for action. International Atomic Energy Agency, World Health Organization. 10 Action to Improve Radiation Protection in Medicine in the Next Decade. – Available on: [https://www.who.int/ionizing\\_radiation/medical\\_radiation\\_exposure/BonnCallforAction2014.pdf](https://www.who.int/ionizing_radiation/medical_radiation_exposure/BonnCallforAction2014.pdf) (Accessed: 06.02.2019).
- ICRP Publication 103. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection: translation from English. Edited by M.F. Kiselev, N.K. Shandala. Moscow, «Alana», 2009, 312 p. (In Russian)
- ICRP, 2007. Radiological Protection in Medicine. ICRP Publication 105. Ann. ICRP 37 (6). (in Russian)
- 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. (in Russian)
- International Atomic Energy Agency. Radiation Protection and safety in medical uses of ionizing radiation. International Atomic Energy Agency. Specific safety guide. Vienna, IAEA, 2018, №SSG-46, 340 p.
- Samei E. [et. al.] Medical Imaging Dose Optimization from Ground up: Expert Opinion of an International Summit. J. Radiol. Prot., Vol. 38(3), 2018, pp. 967-989.
- Järvinen H., Vassileva J., Samei E., Wallace A., Vano E. and Rehani M. Patient dose monitoring and the use of diagnostic reference levels for the optimization of protection in medical imaging: current status and challenges worldwide. Journal of Medical Imaging, 2017, Vol. 4(3), pp. 031214.
- Toma P. [et. al.] Radiation exposure in diagnostic imaging: wisdom and prudence, but still a lot to understand. Radiol. Med., 2017, Vol. 122, pp.215-220.

**Aleksandr V. Vodovatov**

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

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

11. Frush D.P., Perex M.D.R. Children, medical radiation and the environment: An important dialogue. *Environmental Research*, 2017, Vol. 156, pp. 358-363.
12. Rehani M., Vassileva J. Survey of imaging technology and patient dose recording practice in developing countries. *Radiat. Prot. Dosimetry*, 2018, Vol. 181(3), pp. 240-245. doi: 10.1093/rpd/ncy019
13. Järvinen H., Vassileva J., Samei E., Wallace A., Vano E., Rehani M. Patient dose monitoring and the use of diagnostic reference levels for the optimization of protection in medical imaging: current status and challenges worldwide. *J Med Imaging*, 2017, Vol. 4(3), pp. 312-314. doi: 10.1117/1.JMI.4.3.031214
14. Results of the 2017 radiation-hygienic passportisation in subjects of the Russian Federation: radiation-hygienic passport of the Russian-Federation. Moscow, Federal service of surveillance on consumer rights protection and human well-being, 2018, 128 p. (In Russian)
15. Balonov M., Golikov V., Zvonova I., Chipiga L., Kalnitsky S., Sarycheva S. and Vodovatov A. Patient doses from medical examinations in Russia: 2009–2015. *J. Radiol. Prot.*, Vol. 38, pp. 121-140. doi: <https://doi.org/10.1088/1361-6498/aa9b99>
16. Balonov M.I., Golikov V.Yu., Zvonova I.A., Kalnitsky S.A., Repin V.S., Sarycheva S.S., Chipiga L.A. Current levels of medical exposure in Russia. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2015, Vol. 8(3), pp. 67-79. (In Russian)
17. Zvonova I.A., Chipiga L.A. Trends on medical exposure and radiation protection in nuclear medicine in Russia. *Proceedings of International Conference on Radiation Protection in Medicine: Achieving Change in Practice*. Vienna, 2017. IAEA, book of contributions, pp. 188 – 192. – Available on: <https://www.iaea.org/sites/default/files/18/02/rpop-session4.pdf> (Accessed: 16.02.2019).
18. Chipiga L.A., Zvonova I.A., Ryzhkova D.V., Menkov M.A., Dolgushin M.B. Levels of patients' exposure and a potential for optimization of the pet diagnostics in the Russian Federation. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2017, Vol. 10(4), pp. 31-43. (In Russian) – Available on: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2017-10-4-31-43> (Accessed: 16.02.2019).
19. Chipiga L., Vodovatov A., Zvonova I., Bernhardsson C. Assessment of patient doses and possible approaches for implementation of optimization procedures in PET/CT examinations in the Russian Federation. *Proceedings of the 13th international conference on «Medical Physics in the Baltic States»* (Kaunas, 9-11 November 2017), 2017, pp. 36 – 40.
20. Chipiga L.A., Bernhardsson C. Patient doses in Computed Tomography examinations in two regions of the Russian Federation. *Rad. Prot. Dos.*, 2016, Vol. 169(1-4), pp. 240-244.
21. Ternovoy S.K., Sinitsyn V.E. Perspectives of the development of the methods of X-ray diagnostics. *Analytical review*. – Available on: <https://rosoncweb.ru/library/radiodiagnos-tics/002.php> (Accessed: 06.02.2019) (In Russian)
22. Ternovoy S.K., Sinitsyn V.E. Development of the computed tomography and the progress of X-ray diagnostics. *Radiology-practice*, 2005, Vol. 4, pp. 23-29. (In Russian)
23. Matkevich E.I., Sinitsyn V.E., Zelikman M.I., Kruchinin S.A., Ivanov I.V. Main directions of reducing patient irradiation doses in computed tomography. *REJR*, 2018, Vol. 8 (3), pp. 60-73. DOI:10.21569/2222-7415-2018-8-3-60-73. (In Russian)
24. Breast Tomosynthesis. Considerations for Routine Clinical Use. – Available from: <http://www.wishmd.com/wp-content/uploads/2016/04/tomo-white-paper.pdf> (Accessed: 16.02.2019).
25. ICRP 2015. Radiological Protection in Cone Beam Computed Tomography (CBCT). ICRP Publication 129. *Ann. ICRP* 44(1).
26. Dawood A., Patel S., Brown J. Cone beam CT in dental practice. *Br Dent J.*, 2009, Vol. 207(1), pp. 23-28. doi: 10.1038/sj.bdj.2009.560.
27. De Marneffe M., Milicevic M., Milicevic M. Cone Beam CT. New tool in diagnostic imaging. *Rev Med Liege*, 2017, Vol. 72(10), pp. 457-461.
28. Vetter S.Y., Steffen K., Swartman B. [et. al.] Influence of intraoperative conventional fluoroscopy versus cone beam CT on long-term clinical outcome in isolated displaced talar fractures. *J Orthop Surg Res*, 2019, Vol. 14(1), pp. 8. doi: 10.1186/s13018-018-1043-3.
29. Goo H.W., Goo J.M. Dual-Energy CT: New Horizon in Medical Imaging. *Korean J Radiol*, 2017, Vol. 18(4), pp. 555-569. doi: 10.3348/kjr.2017.18.4.555
30. Xie Z.Y., Chai R.M., Ding G.C., Liu Y., Ren K. T and N Staging of Gastric Cancer Using Dual-Source Computed Tomography. *Gastroenterol Res Pract.*, 2018, Vol. 4, pp. 5015202. doi: 10.1155/2018/5015202
31. Greffier J., Pereira F.R., Viala P., Macri F., Beregi J.P., Larbi A. Interventional spine procedures under CT guidance: How to reduce patient radiation dose without compromising the successful outcome of the procedure? *Phys Med.*, 2017, Vol. 35, pp. 88-96. doi: 10.1016/j.ejmp.2017.02.016
32. Svahn T.M., Houssami N., Sechopoulos I., Mattsson S. Review of radiation dose estimates in digital breast tomosynthesis relative to those in two-view full-field digital mammography. *The BREAST*, 2015, Vol. 24(2), pp. 93–99.
33. Helvie M.A. Digital Mammography Imaging: Breast Tomosynthesis and Advanced Applications. *Radiol Clin North Am.*, 2010, Vol. 48(5), pp. 917–929.
34. Båth M., Svalkvist A., von Wrangel A., Rismyhr-Olsson H., Cederblad A. Effective dose to patients from chest examinations with tomosynthesis. *Radiat Prot Dosimetry*, 2010, Vol. 139(1-3), pp.153-8. doi: 10.1093/rpd/ncq092
35. Murano T. [et. al.] Radiation exposure and risk–benefit analysis in cancer screening using FDG-PET: results of a Japanese nationwide survey. *Ann Nucl Med*, 2011, Vol. 25, pp. 657–666. doi: 10.1007/s12149-011-0511-1
36. Padole A., Ali Khawaja R.D., Karla M., Singh S. CT radiation dose and iterative reconstruction techniques. *American Journal of Roentgenology*, 2015, Vol. 204, pp. 384-392. doi: 10.2214/AJR.14.13241
37. Klink T., Obmann V., Heverhagen J., Stork A., Adam G., Begemann P. Reducing CT radiation dose with iterative reconstruction algorithms: the influence of scan and reconstruction parameters on image quality and CTDIvol. *Eur J Radiol.*, 2014, Vol. 83(9), pp. 1645-54. doi: 10.1016/j.ejrad.2014.05.033
38. Status and perspectives of the development of the nuclear medicine and radiation therapy in Russia considering the international trends (analytical review). – 2008. – Available on: [www.oprf.ru/files/yad\\_medicine.doc](http://www.oprf.ru/files/yad_medicine.doc) Last accessed 16.01.2019. (In Russian) (Accessed: 16.02.2019).
39. Romanova S. Nuclear medicine: current state and trends of development. *Remedium*, 2013, Vol. 6, pp. 8-20. (In Russian)
40. Stasi G.A., Ruoti E.M. Critical Evaluation in the Delivery of the Ultrasound Practice: The Point of View of the Radiologist. *Italian Journal of Medicine*, 2012, Vol. 9(1), pp. 5-10. – Available on: <https://doi.org/10.4081/ijtm.2015.502> (Accessed: 16.02.2019).
41. [On-line resource]: – Available on: <https://www.fda.gov/Radiation-EmittingProducts/RadiationEmittingProductsandProcedures/MedicalImaging/MRI/ucm482765.htm> (Accessed: 16.02.2019).
42. European Commission. Medical Radiation Exposure of the European Population. European Commission. Radiation protection, 2014, № 180, Part ½, 181 p.
43. Hart D., Hillier M.C., Shrimpton P.C. HPA-CRCE-034 – Doses to Patients from Radiographic and Fluoroscopic X-ray Imaging Procedures in the UK – 2010 Review. Health Protection Agency, 2012, 87 p.
44. Onishchenko G.G., Popova A.Yu., Romanovich I.K., Barkovsky A.N., Kormanovskaya T.A., Shevkun I.G. Radiation-hygienic

- passportization and USIDC-information basis for management decision making for radiation safety of the population of the Russian Federation. Report 1. Main achievements and challenges to improve. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2017, Vol.10(3), pp. 7-17. (In Russian): – Available on: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2017-10-3-7-17> (Accessed: 16.02.2019).
45. Onishchenko G.G., Popova A.Yu., Romanovich I.K., Barkovsky A.N., Kormanovskaya T.A., Shevkun I.G. Radiation-hygienic passportization and USIDC-information basis for management decision making for radiation safety of the population of the Russian Federation Report 2: Characteristics of the sources and exposure doses of the population of the RF. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2017, Vol.10(3), pp. 18-35. (In Russian): – Available on: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2017-10-3-18-35> (Accessed: 16.02.2019).
  46. Vodovatov A.V. Practical implementation of the diagnostic reference levels concept for the common radiographic examinations. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2017, Vol.10(1), pp. 47-55. (In Russian): – Available on: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2017-10-1-47-55> (Accessed: 16.02.2019).
  47. Vodovatov A.V., Golikov V.Yu., Kalnitsky S.A., Shatsky I.G., Chipiga L.A. Evaluation of levels of exposure of adult patients from common radiographic examinations in the Russian Federation in 2009–2014. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2017, Vol.10(3), pp. 66-75. (In Russian): – Available on: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2017-10-3-66-75> (Accessed 16.02.2019).
  48. Vodovatov A.V., Golikov V.Yu., Kamyshanskaya I.G., Zinkevich K.V., Bernhardsson C. Estimation of the conversion coefficients from dose-area product to effective dose for barium meal examinations for adult patients. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2018;11(1):93-100. (In Russian): – Available on: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2018-11-1-93-100> (Accessed: 16.02.2019).
  49. Bontrager K.L., Lampignano J.P. Textbook of radiographic positioning and related anatomy. Elsevier Mosby, 2014, 826 p.
  50. Medical X-ray diagnostics: technical aspects, clinical materials, radiation safety Ed. by R.V. Stavitsky. Moscow, Norma, 2003, 344 p. (In Russian)
  51. Shmutko B.I., Makarenko S.V. Standards of diagnostic and treatment of the internal diseases. 3rd ed. Saint-Petersburg "Elbi-SPb", 2005, 800 p. (In Russian)
  52. Eurostat: your key to the European statistics. – Available on: <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database> (Accessed: 09.02.2019)
  53. Golikov V.Yu., Sarycheva S.S., Balonov M.I., Kalnitsky S.A. Ystimation of patients exposure under intervention radiological examinations. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2009, Vol. 2(3), pp. 26-31. (In Russian)
  54. The Organization for Economic Co-operation and Development. Health at a Glance 2017: OECD Indicators. The Organization for Economic Co-operation and Development. OECD Publishing, Paris, 2018, 220 p.
  55. U.S. Preventive Services Task Force. Final recommendation statement: lung cancer: screening. U.S. Preventive Services Task Force. – Available on: [www.uspreventiveservicestaskforce.org/Page/Document/RecommendationStatementFinal/lung-cancer-screening](http://www.uspreventiveservicestaskforce.org/Page/Document/RecommendationStatementFinal/lung-cancer-screening). (Accessed: 06.02.2019)
  56. Iaccarino J.M., Clark J., Bolton R., Kinsinger L., Kelley M., Slatore C.G., Au D.H., Wiener R.S. A National Survey of Pulmonologists' Views on Low-Dose Computed Tomography Screening for Lung Cancer. *Ann. Am. Thorac. Soc.*, 2015, Vol. 12(11), pp. 1667-75.
  57. Marshall H.M., Bowman R.V., Yang I.A., Fong K.M., Berg C.D. Screening for lung cancer with low-dose computed tomography: a review of current status. *Journal of Thoracic Disease*, 2013, Vol. 5, pp. 524-539.
  58. Maryasheva Ju.A., Sinityn V.E., Ternovoy S.K. The role of CT-angiography in the examination of the patients with the suspected coronary arteria disease. *Diagnostic and interventional radiology*, 2010, Vol. 4, № 1, pp. 67-73. (In Russian)
  59. Vanhoenacker P.K., Heijenbrok-Kal M.H., Van Heste R., Decramer I., Van Hoe L.R., Wijnns W., Hunink M.G. Diagnostic performance of multidetector CT angiography for assessment of coronary artery disease: meta-analysis. *Radiology*, 2007, Vol. 244, pp. 419–428.
  60. Moscow lung cancer screening. – Available on: <http://medradiology.moscow/ndkt> (Accessed: 06.02.2019). (In Russian)
  61. Federal service of the governmental statistics. Demography. – Available on: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/population/demography/#](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/population/demography/#) (Accessed: 06.02.2019). (In Russian)
  62. Vodovatov A.V. Improvement of radiation safety standards. Part 1. Appropriateness of the limitation of the medical exposure of healthy individuals. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2018, Vol.11(3), pp.115-124. (In Russian). – Available on: <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2018-11-3-115-124> (Accessed: 06.02.2019).
  63. Karostik D.V., Kamyshanskaya I.G., Cheremisin V.M., Drozdov A.A., Vodovatov A.V. Evaluation of low-dose CT implementation for lung cancer screening in a general practice hospital. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series, 2018, Vol. 967. doi:10.1088/1742-6596/967/1/012006
  64. Mazzone P.J., Silvestri G.A., Patel S., Kanne J.P., Kinsinger L.S., Wiener R.S., Soo Hoo G., Deterbeck F.C. Screening for Lung Cancer: CHEST Guideline and Expert Panel Report. *Chest*, 2018, Vol. 153 (4), pp. 954 – 985.
  65. Kim K.P., Einstein A.J., de Gonzalez A.B. Coronary artery calcification screening: estimated radiation dose and cancer risk. *Archives of internal medicine*, 2009, Vol. 169(13), pp. 1188-1194. doi:10.1001/archinternmed.2009.162.

Received: February 08, 2019

**Gennadiy G. Onischenko** – Doctor of Medical Science, Professor, member of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**Anna Yu. Popova** – Doctor of Medical Science, Professor, Head, the Russian Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-being, Moscow, Russia

**Ivan K. Romanovich** – Doctor of Medical Sciences, Professor, Corresponding member of the 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 Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

**For correspondence: Aleksandr V. Vodovatov** – Head of Medical Protection Laboratory, Leading Researcher, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being (Mira str., 8, St. Petersburg, 197101, Russia; E-mail: vodovatofff@gmail.com)

**Nataliya S. Bashketova** – Head of the Directorate of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being in Saint-Petersburg, Saint-Petersburg, Russia

**Olga A. Istorik** – Head of the Directorate of the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being in the Leningrad Region, Saint-Petersburg, Russia

**Larisa A. Chipiga** – Researcher, Medical protection laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

**Iliya G. Shatsky** – Researcher, Medical protection laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

**Leonid V. Repin** – Junior Researcher of Information Analytical Center, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

**Artem M. Biblin** – Head of Information Analytical Center, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

**For citation: Onischenko G.G., Popova A.Yu., Romanovich I.K., Vodovatov A.V., Bashketova N.S., Istorik O.A., Chipiga L.A., Shatsky I.G., Repin L.V., Biblin A.M. Modern principles of the radiation protection from sources of ionizing radiation in medicine. Part 1: Trends, structure of x-ray diagnostics and doses from medical exposure. Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene, 2019, Vol. 12, No. 1, pp.6-24. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-1-6-24**