

Тенденции развития ядерной медицины в Российской Федерации за 2015–2020 гг.

Л.А. Чипига^{1,2,3}, Е.Р. Ладанова¹, А.В. Водоватов^{1,4}, И.А. Звонова¹, А.А. Мосунов⁵,
Л.Т. Наурзбаева⁵, С.А. Рыжов^{6,7,8}

¹Санкт-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

²Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

³Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

⁴Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

⁵Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Российская Федерация

⁶Ассоциация медицинских физиков России, Москва, Россия

⁷Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Департамент здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

⁸Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Москва, Россия

В статье представлен анализ структуры ядерной медицины по данным федеральных форм статистической отчетности (3-ДОЗ, формы № 30 Минздрава России и радиационно-гигиенические паспорта) субъектов Российской Федерации за период 2015–2020 гг. с целью оценки текущего состояния ядерной медицины, оценки динамики развития ядерной медицины и разработки предложений по совершенствованию отечественной системы радиационной безопасности в ядерной медицине и предложений по совершенствованию формы 3-ДОЗ. За последние 6 лет число диагностических радионуклидных исследований в стране находилось на уровне около 530–550 тысяч в год. В 2020 г. наблюдалось незначительное снижение числа данных исследований, обусловленное эпидемией коронавирусной инфекции. Наибольшее число исследований в среднем за период 2015–2020 гг. было выполнено в Москве (21%) и Санкт-Петербурге (11%). В этих городах расположены специализированные федеральные центры, оснащенные высокотехнологичным оборудованием, в которых проводят диагностику местным жителям и пациентам из разных регионов страны. Наиболее распространенным в России является исследование скелета, составляющее около 40% от всех радионуклидных диагностических исследований; наблюдается умеренный рост данного вида исследований. Отмечается высокое число исследований почек (17%), с тенденцией их снижения с каждым годом. Следующими по частоте проведения являются исследования сердца, щитовидной железы, печени и легких, число которых за период наблюдения снижается. На фоне снижения числа «функциональных» исследований число «прочих» исследований, к которым относятся томографические исследования, с 2015 г. возросло в 3,7 раза, что обусловлено развитием современных диагностических технологий, модернизацией аппаратного парка: снижением числа ренографов и сканеров и ростом числа аппаратов для однофотонной эмиссионной компьютерной томографии, вводом в строй новых отделений позитронно-эмиссионной диагностики. На одном аппарате для однофотонных радионуклидных исследований (ренограф, гамма-камера, однофотонный эмиссионный томограф) в среднем выполнялось около 2000 исследований за год, при этом на гибридных однофотонных эмиссионных томографах, совмещенных с компьютерным томографом, проводилось по 0,6 тысяч исследований в год. С 2015 г. годовая коллективная доза от радионуклидной диагностики в стране выросла с 1,2 до 3,7 тыс. чел.-Зв. Данные формы №-ДОЗ показывают, что наибольший вклад в коллективную дозу в России вносят «прочие» исследования, к которым относятся ОФЭКТ/КТ и ПЭТ/КТ-исследования всего тела – 55% (39% в Санкт-Петербурге, 60% в Москве). Однако несовершенство действующих

Чипига Лариса Александровна

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: larisa.chipiga@gmail.com

федеральных форм статистической отчетности затрудняет оценку текущего уровня развития ядерной медицины в Российской Федерации. В рамках актуализации действующей формы №3-ДОЗ авторами данной работы был кардинально переработан раздел по радионуклидной диагностике; обновленный вариант формы №3-ДОЗ находится на утверждении. Тем не менее, для детальной и достоверной оценки структуры ядерной медицины в стране необходимо проведение выборочных сборов данных о видах проводимых процедур, используемых радиофармпрепаратах и методиках, половозрастном составе и уровнях облучения различных групп пациентов. Данное исследование целесообразно проводить в Санкт-Петербурге или Москве как субъектах Российской Федерации, аккумулирующих больше половины всех радионуклидных исследований.

Ключевые слова: формы статистической отчетности, форма 3-ДОЗ, форма № 30, ядерная медицина, радионуклидная диагностика, радионуклидная терапия, сцинтиграфия, однофотонная эмиссионная компьютерная томография, позитронная эмиссионная томография, дозы пациентов, коллективная доза.

Введение

Ядерная медицина, включающая радионуклидную диагностику (РНД) и терапию, является одной из наиболее активно развивающихся областей лучевой диагностики в мире [1–3]. Развитие ядерной медицины подразумевает внедрение новых радиофармацевтических лекарственных препаратов (РФЛП), внедрение новых технологий, изменение структуры исследований, что опосредованно может приводить к увеличению коллективной дозы населения и радиационных рисков от данного вида диагностики [4–6, 15, 20, 21]. В Российской Федерации развитие РНД (реорганизация отделений радионуклидной диагностики и обновление аппаратного парка) происходит в рамках реализации программы «Развитие ядерной медицины в Российской Федерации»¹, а также за счет увеличения тарифов обязательного медицинского страхования и включения в систему обязательного медицинского страхования наиболее современных методов диагностики, что стимулирует развитие как государственных, так и частных медицинских организаций.

Исследования РНД можно разделить на следующие группы, соответственно методам их выполнения:

- радиометрические («функциональные») исследования, целью которых является обнаружение временных отклонений в обменных процессах органов (например, накопительная функция щитовидной железы, ренография);
- планарные (2D) сцинтиграфические исследования – метод визуализации органа или системы, при котором получают двумерное изображение распределения РФЛП, обычно в передней или задней проекциях, с помощью стационарной гамма-камеры (например, остеосцинтиграфия, сцинтиграфия легких);
- однофотонная эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ) относится к разновидностям методов

РНД, которые позволяют получить 3D-изображения распределения РФЛП в организме пациента;

- позитронная эмиссионная томография (ПЭТ) основана на применении радионуклидов, распад которых сопровождается испусканием позитрона, и образованием аннигиляционных фотонов. Конструкция позитронно-эмиссионного томографа позволяет методом совпадений регистрировать это излучение и формировать 3D-изображение. В настоящее время данная технология полностью вытеснена гибридными исследованиями;

- гибридные исследования, выполняемые на ОФЭКТ- и ПЭТ-аппаратах, совмещенных с рентгеновскими компьютерными томографами (КТ). Такие исследования сочетают преимущества функциональной и анатомической визуализации и имеют большую диагностическую ценность. Помимо этого, информация о точном расположении органов и плотностей в организме, получаемая при КТ, используется для коррекции ослабления излучения при реконструкции ПЭТ- и ОФЭКТ-изображений.

К сожалению, оценить текущий уровень развития РНД в стране затруднительно, так как информация о структуре, аппаратном парке и уровнях облучения пациентов в целом по стране доступна только из федеральных форм статистической отчетности:

- сведения о медицинском облучении пациентов собираются с использованием формы 3-ДОЗ² в рамках «Единой системы контроля индивидуальных доз населения» (ЕСКИД);

- в рамках ЕСКИД также ежегодно оформляются радиационно-гигиенические паспорта (РГП) предприятий и территорий, которые используют источники ионизирующих излучений³ и которые содержат данные о числе проведенных рентгенодиагностических исследований и средних дозах за исследование у пациентов.

¹ Распоряжение Правительства Российской Федерации «Об утверждении мероприятий («дорожной карты») «Развитие центров ядерной медицины» от 23.10.2015 № 2144-р [Order of the Government of the Russian Federation on approval of arrangement (“road map”) “Development of Nuclear Medicine Centers” 23.10.2015 No. 2144-r (In Russ.)]

² Форма статистического наблюдения 3-ДОЗ «Сведения о дозах облучения пациентов при проведении медицинских диагностических рентгенодиагностических исследований в РФ», утвержденная Приказом Росстата от 16.10.2013 г. № 411 [Statistical form 3-DOZ “Data on patient doses from X-ray examinations in the Russian Federation”, approved by Order of Rosstat 16.10.2013 No. 411. (In Russ.)]

³ МР 2.6.1.0257-21 «Проведение радиационно-гигиенической паспортизации. Методические рекомендации», утвержденные Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 01.09.2021 г. [MR 2.6.1.0257-21 “Radiation-hygienic certification. Guidelines”, approved by the Rospotrebnadzor on 01.09.2021. (In Russ.)]

– Минздрав России ведет статистический учет медицинской деятельности по форме № 30 «Сведения о медицинской организации»⁴, где в том числе отдельный раздел посвящен РНД.

Все эти формы были разработаны более 20 лет назад, их структура сбора данных не отвечает текущей структуре и технологиям ядерной медицины, однако только эти формы статистического наблюдения концентрируют информацию о медицинском облучении со всей страны [7]. Указанное обстоятельство определяет ограничения (степень детализации) проведенного исследования

Цель исследования – выполнение анализа доступной информации по форме № 30 и форме 3-ДОЗ для оценки текущего состояния и динамики развития новых технологий и методов в ядерной медицине в стране за период с 2015 по 2020 г. для разработки предложений по совершенствованию отечественной системы радиационной безопасности в РНД и совершенствования статистической системы сбора данных 3-ДОЗ.

Материалы и методы

В работе был проведен анализ основных источников информации о структуре лучевой диагностики и коллективных доз населения в Российской Федерации – формы государственной статистической отчетности № 3-ДОЗ, формы № 30 Минздрава России и РГП субъектов Российской Федерации за 2015–2020 гг. [7–12].

В работе проанализированы данные из таблицы 3000 формы № 3-ДОЗ и таблиц 5120, 5121 и 5122 формы № 30.

Статистическая обработка данных была выполнена с использованием программного обеспечения Excel.

Результаты и обсуждение

Анализ данных формы 3-ДОЗ показывает, что за последние 6 лет число исследований в среднем находится на уровне 530–550 тысяч в год. Динамика числа исследований в Российской Федерации представлена на рисунке 1. Снижение числа РНД-исследований в 2020 г. обусловлено эпидемией коронавирусной инфекции, переводом части медицинских организаций на обслуживание пациентов с вирусной пневмонией и остановкой штатной работы отделений РНД [13]. Результаты оценки числа РНД-исследований из разных источников сопоставимы на уровне Российской Федерации. В 2015–2019 гг. расхождения по количеству исследований между данными источниками не превышали 15%, в 2020 г. расхождения достигли 26%. Данные расхождения обусловлены различным уровнем охвата медицинских организаций данными формами, различиями в структуре собираемых данных и ошибками при заполнении форм и передаче информации. Форма № 3-ДОЗ учитывает все медицинские организации, эксплуатирующие медицинские источники ионизирующего излучения, подчиненные Минздраву России. Форму № 30 заполняют только государственные медицинские организации. В РГП поступает информация от всех организаций, эксплуатирующих источники ионизирующего излучения, подчиненных разным ве-

домствам (Федеральное медико-биологическое агентство, Минобороны России, Министерство внутренних дел и пр.), однако не всегда поступали сведения от всех ведомств.

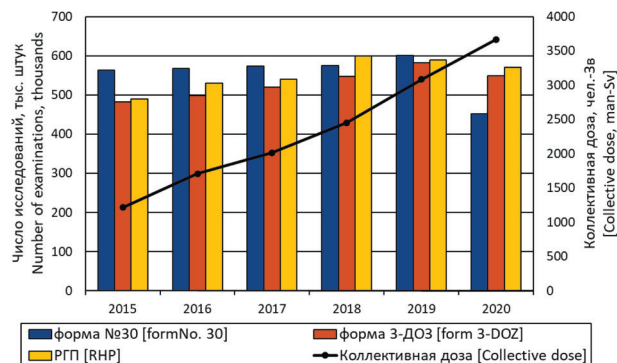


Рис. 1. Динамика числа РНД-исследований и коллективной дозы за 2015–2020 гг. на основании формы 3-ДОЗ, формы № 30 и РГП

[Fig. 1. Dynamics of the number of radionuclide diagnostic examinations and collective dose for 2015–2020 according to the form 3-DOZ, form No. 30 and the Radiation Hygiene Passport (RHP)]

Наибольший вклад в общее число исследований внесли следующие субъекты: г. Москва, г. Санкт-Петербург, Республика Татарстан, Республика Башкортостан, Челябинская область, Иркутская область и Ростовская область (рис. 2). Динамика изменения числа РНД-исследований для данных субъектов России за период 2015–2020 гг. представлена в таблице 1.

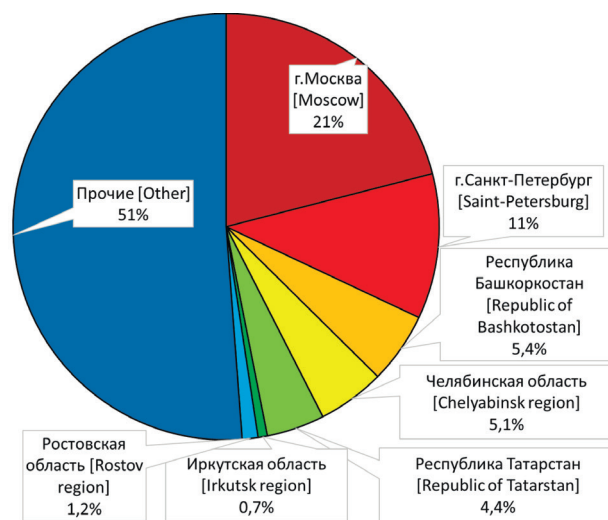


Рис. 2. Вклад субъектов Российской Федерации в общее число исследований в период с 2015 по 2020 г. по форме 3-ДОЗ
[Fig. 2. The contribution of the regions of the Russian Federation to the total number of radionuclide diagnostic examinations according to the form 3-DOZ from 2015 to 2020]

⁴ Форма № 30 «Сведения о лечебно-профилактическом учреждении», утвержденная Постановлением Госкомстата России от 10.09.2002 г. № 175. [Form No. 30 «Data on the medical facilities», approved by the Order of Goskomstat, 10.09.2002 No. 175. (In Russ.)]

Таблица 1

Число исследований за 2015–2020 гг. по форме 3-ДОЗ, форме № 30 (Ф-30) в субъектах с наибольшим числом РНД-исследований

[Table 1]

The amount of radionuclide diagnostic examinations for 2015–2020 according to the form 3-DOZ, form No. 30 (F-30) in regions with the largest number of examinations]

Регион [Region]	Число исследований, тысяч шт. [Number of examinations, thousands]											
	2015		2016		2017		2018		2019		2020	
	3-ДОЗ [3-DOZ]	Ф-30 [F-30]	3-ДОЗ [3-DOZ]	Ф-30 [F-30]	3-ДОЗ [3-DOZ]	Ф-30 [F-30]	3-ДОЗ [3-DOZ]	Ф-30 [F-30]	3-ДОЗ [3-DOZ]	Ф-30 [F-30]	3-ДОЗ [3-DOZ]	Ф-30 [F-30]
РФ [RF]	483	563	501	567	524	573	547	575	582	602	549	452
г. Москва [Moscow]	87	118	96,9	118	112	118	124	119	122	91,2	120	66,8
г. Санкт-Петербург [St. Petersburg]	42,7	41,6	53,2	56	60,6	59,2	65,2	63,8	72,5	54,2	60,2	42,3
Республика Татарстан [Republic of Tatarstan]	26,5	29,8	26	30,6	26,9	32	22,2	30,6	20,6	23,2	15,9	15,9
Челябинская область [Chelyabinsk region]	34,3	28	24,5	26,4	34,3	27,3	23,9	26,1	24,1	18,4	20,6	13,5
Республика Башкортостан [Republic of Bashkortostan]	26,2	27,9	27,8	26,7	25,6	29,5	30,6	26,8	31,8	22	28,4	18,5
Ростовская область [Rostov region]	3,71	3,71	4,47	4,55	5,29	5,35	4,71	5,87	10,6	33,6	11,3	25,6
Иркутская область [Irkutsk region]	3,87	17,7	3,66	17,1	3,39	18	3,71	18,5	3,3	28,6	2,62	23,1

Максимальное число РНД-исследований было выполнено в Москве и Санкт-Петербурге (21% и 11% от общего числа исследований соответственно). Такой большой вклад обусловлен тем, что в данных субъектах расположены федеральные центры, оснащенные высокотехнологичным оборудованием, в которых проводят исследования пациентам из разных регионов, и большой численностью населения этих городов. Следует отметить, что за исследованный период РНД-исследования не проводились в 20 субъектах Российской Федерации: Костромская область, Тверская область, Республика Коми, Ненецкий автономный округ, Ленинградская область, Республика Адыгея, Республика Калмыкия, Республика Дагестан, Кабардино-Балкарская Республика, Карачаево-Черкесская Республика, Северная Осетия – Алания, Чеченская Республика, Республика Марий Эл, Ямало-Ненецкий автономный округ, Республика Алтай, Республика Хакасия, Еврейская автономная область, Чукотский автономный округ, Республика Ингушетия, Республика Тыва. В форме № 30 дополнительно отсутствовали данные о РНД в Приморском крае и Магаданской области.

Наибольшее число проводимых РНД-исследований оказалось в Санкт-Петербурге и Москве – 11 и 10 исследований на 1000 жителей в 2020 г. соответственно, несмотря на медицинский туризм и приток пациентов из других регионов. В целом по стране среднее число РНД исследований в 2020 г. составило всего 4 исследования на 1000 жителей.

В формах 3-ДОЗ детализация структуры РНД осуществляется на уровне исследований органов (легкие, сердце, скелет, желудочно-кишечный тракт, почки, печень, щитовидная железа, головной мозг и «прочие» – другие исследования) и по трем объединенным группам методов исследований (функциональные, скинтиграфия,

прочие). В форме № 30 Минздрава России собираются сведения по более детальному перечню диагностических процедур и выделяются исследования на разных типах аппаратуры, в том числе на ОФЭКТ, ОФЭКТ/КТ, ПЭТ/КТ, которые в форме 3-ДОЗ учитываются в графе «Прочие». Вклады этих категорий в общее число исследований в среднем за обследованный период для форм № 3-ДОЗ и № 30 представлены на рисунке 3.

Наиболее распространенным в России является исследование скелета: 40% от всех РНД-исследований по форме 3-ДОЗ и 45% по форме № 30, при этом наблюдается умеренный рост данных исследований. Отмечается высокое число исследований почек (17% по форме 3-ДОЗ и 15% по форме № 30), однако их число снижается с каждым годом. Следующими по частоте проведения являются исследования сердца, щитовидной железы, печени и легких. Также отмечаются тенденции к снижению числа некоторых видов РНД-исследований, в частности, исследований печени и оценки тромбоэмболии легочной артерии. Это объясняется как использованием КТ в качестве предпочтительного вида диагностики для этих патологических состояний, так и ограниченной доступностью РНД. Структура и тенденции ее изменения в Санкт-Петербурге и Москве схожи с общей по стране. Описанные здесь тренды изменения структуры РНД отмечались и ранее на примере Санкт-Петербурга [14].

В форме 3-ДОЗ выделены 3 группы радионуклидных исследований: функциональные, скинтиграфические и прочие. Сведения о трендах и изменении числа исследований по отдельным группам в Российской Федерации, Москве и Санкт-Петербурге представлены на рисунке 4. За обследованный период больше всего исследований (около 70%), приходилось на скинтиграфические, их число практически не менялось с годами. К прочим исследова-

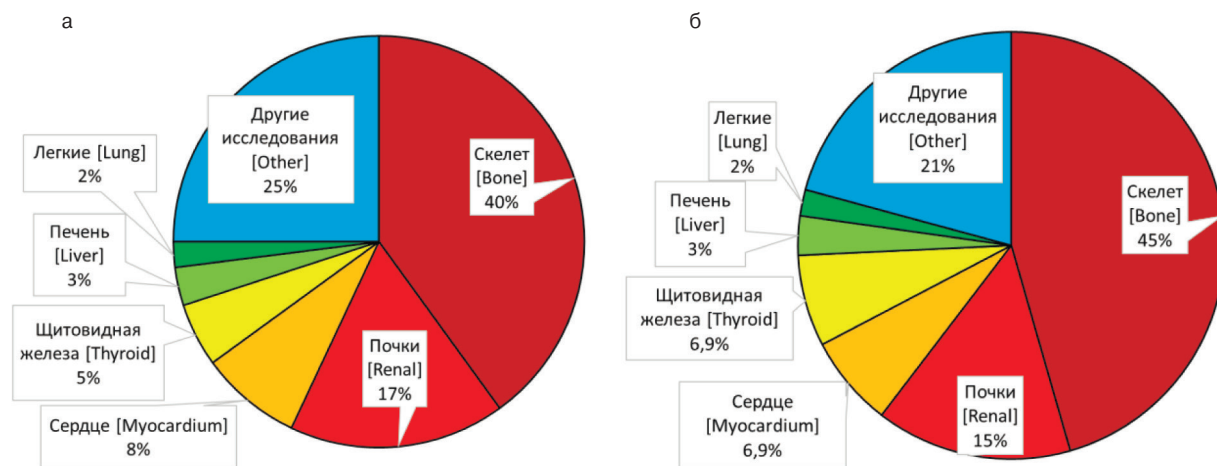


Рис. 3. Вклад от исследований определенных органов или систем органов в общее число исследований в период с 2015 по 2020 г.: а – по форме 3-ДОЗ; б – по форме № 30

[Fig. 3. Contribution of examinations of specific organs or organ systems to the total number of radionuclide diagnostic examinations from 2015 and 2020 according to: а – the form 3-DOZ; б – the form No. 30]

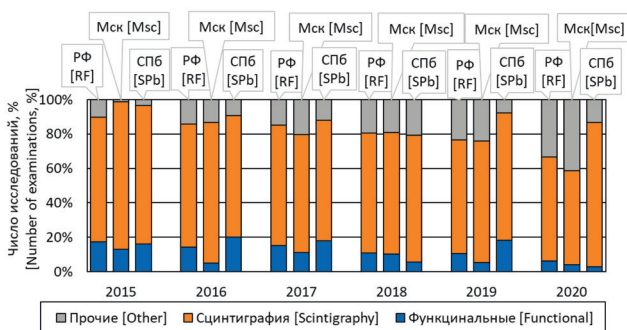


Рис. 4. Динамика числа исследований по отдельным методам исследований в соответствии с структурой формы 3-ДОЗ в Российской Федерации (РФ), г. Москве (Мск), г. Санкт-Петербурге (СПб)

[Fig. 4. Dynamics of the number of radionuclide diagnostic examinations by individual groups in accordance with the structure of the 3-DOZ form in the Russian Federation (RF), Moscow (Msk), St. Petersburg (SPb)]

ниям в форме 3-ДОЗ относят томографические радионуклидные исследования (ОФЭКТ, ПЭТ), а также гибридные исследования. На фоне снижения числа функциональных исследований число прочих исследований в стране с 2015 г. возросло в 3,7 раза, что связано с развитием современных диагностических технологий, вводом в строй новых отделений ПЭТ-диагностики, которые оборудованы ПЭТ/КТ-аппаратами и реорганизацией отделений традиционной однофотонной диагностики под новую диагностическую технику, многие из которых получили новые ОФЭКТ- и гибридные ОФЭКТ/КТ-аппараты [15]. Эти данные из формы 3-ДОЗ хорошо соотносятся с данными формы № 30 (рис. 5). Данные тенденции подтверждаются анализом изменения структуры аппаратного парка в стране: снижением числа ренографов и ростом числа аппаратов для томографических исследований (рис. 6).

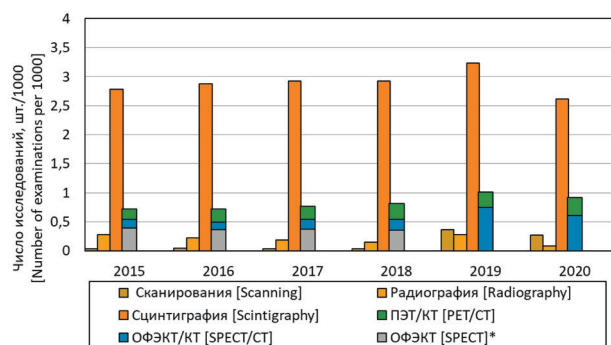


Рис. 5. Динамика числа исследований на 1000 жителей в стране по отдельным группам в соответствии с структурой формы № 30; в 2019 и 2020 гг. ОФЭКТ- и ОФЭКТ/КТ-исследования в форме № 30 были объединены

[Fig. 5. Dynamics of the number of radionuclide diagnostic examinations per thousand residents in the country by individual groups according to the structure of form No. 30; SPECT and SPECT/CT examinations were combined in 2019 and 2020]

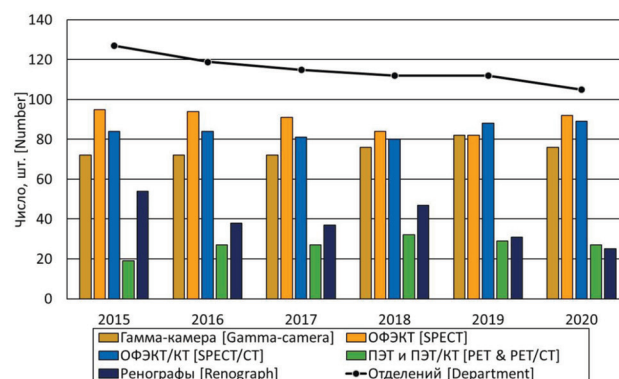


Рис. 6. Динамика аппаратного парка за 2015–2020 гг. в стране по форме № 30

[Fig. 6. Dynamics of the equipment for 2015–2020 in the country according to the form No. 30]

Анализ аппаратного парка на 2020 г. по данным формы № 30 показал, что 74% эксплуатируемых гамма-камер в Российской Федерации введены в эксплуатацию более 10 лет назад. Существенно более молодым является парк томографов: 65% ОФЭКТ моложе 10 лет, 81% ОФЭКТ/КТ моложе 10 лет, 75% ПЭТ/КТ моложе 10 лет. На 1 млн человек приходится 0,5 гамма-камер и 1,3 томографа для РНД (включая ОФЭКТ, ОФЭКТ/КТ, ПЭТ/КТ), в странах Евросоюза этот показатель варьирует от 2 (Эстония, Румыния) до 16 (Дания) гамма-камер и от 0 до 22 (Бельгия) томографов, в среднем – 10 (Швейцария, Финляндия) [16]. Согласно форме 30, за период 2015–2020 гг. в Российской Федерации число всех аппаратов для РНД остается практически на одном уровне на фоне резкого снижения числа отделений данного вида диагностики.

В среднем одно отделение РНД выполняло 4,8 тысяч исследований за год. На 1 аппарат для однофотонных радионуклидных исследований (ренограф, гамма-камера, ОФЭКТ, ОФЭКТ/КТ) приходилось около 2000 исследований за год, при этом на гибридных ОФЭКТ/КТ-сканерах проводилось по 0,6 тысяч совмещенных ОФЭКТ/КТ-исследований в год. На аппаратах ПЭТ-диагностики проводилось в среднем по 1,3 тысячи исследований за год.

В соответствии с Программой развития ядерной медицины в России современные гамма-камеры с цифровыми детектирующими системами, ОФЭКТ и ОФЭКТ/КТ стали более доступны и используются повсеместно, активно развивается ПЭТ-диагностика [14, 15]. Новые методы и технологии проведения исследований, которые требуют больше времени на обследование 1 пациента, сокращают число пациентов, проходящих исследование на 1 аппарате. Внедрение ОФЭКТ, ОФЭКТ/КТ вместо планарных гамма-камер увеличили информативность методов РНД, однако дополнительные возможности новых доступных технологий приводят к увеличению времени на обследование пациента [17]. Планарное сцинтиграфическое исследование одной зоны, которое занимает до 5 мин, в режиме ОФЭКТ занимает 10–20 мин, также дополнительное сканирование одной зоны в томографическом режиме при сканировании скелета увеличивает время исследования на 10–20 мин [18]. Это значительно сокращает пропускную способность аппарата. Обработка и описание множества аксиальных срезов при томографическом исследовании требует больше времени по сравнению с описанием одного планарного изображения. Дополнительная нагрузка на врачей приходится при описании КТ-серий при проведении совмещенных с КТ исследований. Аналогичная ситуация в ПЭТ/КТ-отделениях, где 1 стандартное исследование всего тела занимает от 10 до 40 мин аппаратного времени и 30–60 мин работы врача при обработке и описании исследования [2]. Таким образом, переход на высокотехнологичное гибридное оборудование и применение новых методов исследований приводит к снижению пропускной способности оборудования и числа исследований, которые проводятся отделениями. Одним из вариантов решения указанной проблемы может стать увеличение количества отделений РНД и обеспечение их современным оборудованием. Если решать вопрос в существующих рамках, то необходимо увеличивать время работы отделения за счет перехода на двусменный или круглосуточный режим работы,

однако данное предложение имеет ряд минусов организационного и технического плана.

Средняя доза за РНД-исследование выросла с 2,5 мЗв (2015 г.) до 6,7 мЗв (2020 г.) по данным 3-ДОЗ (рис. 7). Рост средней дозы обусловлен ростом дозы от прочих исследований, к которым относятся томографические и гибридные исследования.

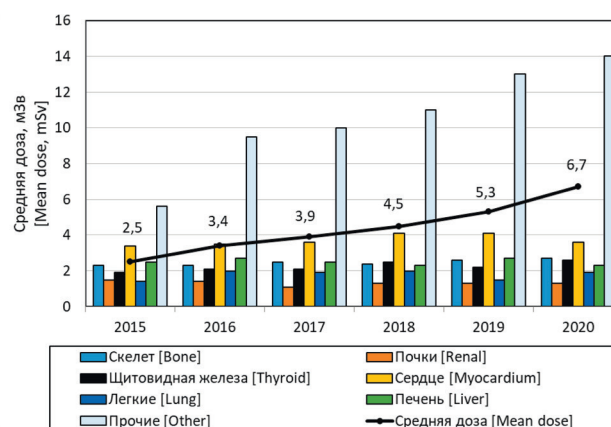


Рис. 7. Динамика средней дозы от разных видов РНД-исследований за 2015–2020 гг. по форме 3-ДОЗ
[Fig. 7. Dynamics of the mean dose of different types of radionuclide diagnostic examinations from 2015 to 2020 according to the form 3-DOZ]

С 2015 г. годовая коллективная доза от РНД в стране выросла с 1,2 до 3,7 тыс. чел.-Зв. Наибольший вклад в коллективную дозу в России вносят прочие исследования, к которым относятся в том числе ОФЭКТ/КТ- и ПЭТ/КТ-исследования всего тела – 56% (39% в Санкт-Петербурге, 60% в Москве). За период 2015–2020 гг. коллективная доза от прочих исследований с каждым годом возрастала в 1,5 раза, что привело к росту коллективной дозы от всей РНД в стране, причём в 2020 г. 75% коллективной дозы от РНД обеспечивали прочие исследования (рис. 8). В 2020 г. средняя доза одного исследования РНД составила 6,7 мЗв, средняя доза от прочих исследований – 14 мЗв.

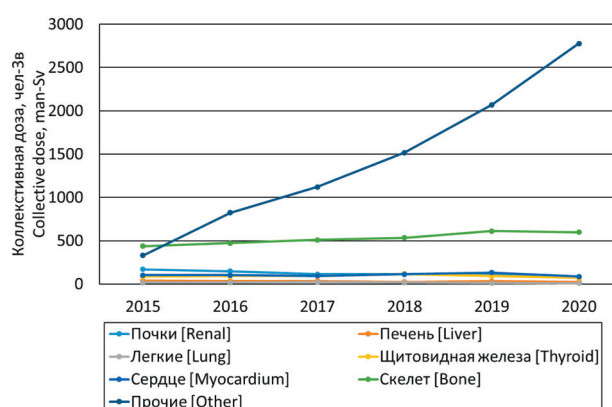


Рис. 8. Динамика коллективной дозы от разных видов РНД-исследований за 2015–2020 гг. по форме 3-ДОЗ
[Fig. 8. Dynamics of the collective dose of different types of radionuclide diagnostic examinations from 2015 to 2020 according to the form 3-DOZ]

Дозы пациентов от разных видов исследований из формы 3-ДОЗ соответствуют дозам, полученным в ранее проведенных выборочных исследованиях отделений РНД с детальной оценкой доз пациентов [19–21]. Стоит отметить, что на текущий момент в формах статистической отчетности отсутствует достоверная информация о типичных/индивидуальных дозах облучения пациентов различных возрастных категорий. Доза пациента при РНД определяется введенным радиофармпрепаратом (РФП) и активностью радионуклида в РФП. Эффективную и органы дозы пациентов определяют с использованием коэффициентов перехода от введенной пациенту активности радионуклида в РФП с использованием дозовых коэффициентов⁵. Дополнительному внешнему облучению от КТ-сканирования подвергаются пациенты, проходящие совмещенные ОФЭКТ/КТ- и ПЭТ/КТ-исследования. Дозу внешнего облучения при КТ-сканировании определяют с использованием специализированных программ [22, 23] или утвержденных коэффициентов перехода⁶. Однако в форме 3-ДОЗ учет исследований производится не по РФП, а по анатомической области исследования; отсутствует выделение самых высокодозовых исследований (ПЭТ/КТ, ОФЭКТ/КТ), вклад рентгеновского облучения в гибридных исследованиях учитывается не везде.

В формах статистической отчетности представлена ограниченная информация о процедурах радионуклидной терапии. В форме 3-ДОЗ и РГП данные о терапевтических процедурах отсутствуют, в форме № 30 представлена только численность проводимых исследований. Так, в 2020 г. по данным формы № 30 в России было выполнено 10 235 процедур радионуклидной терапии, при этом 72% процедур проводились с йодом-131, 25% – с введением пациентам остеотропных препаратов.

К сожалению, оценить текущий уровень развития ядерной медицины в Российской Федерации на основании форм статистической отчетности затруднительно в связи с отсутствием достоверной информации о структуре проводимых процедур, аппаратном парке и уровнях облучения пациентов. Это обусловлено, главным образом, несовершенством и неоднородным содержанием действующих федеральных форм статистической отчетности. Так, структура основных источников информации, формы 3-ДОЗ ЕСКИД и формы № 30 Минздрава России кардинально отличается. В форме 3-ДОЗ системы ЕСКИД существует достаточно условная градация на группы функциональных и скинтиграфических исследований, однако нет отдельно выделенных групп для ПЭТ- и ОФЭКТ-исследований, а также совмещенных с КТ исследований. Напротив, в форме № 30 все исследования представлены детально по видам и анатомической области исследования. В форме 3-ДОЗ невозможно выделить гибридные

исследования, совмещенные с КТ, что приводит к грубым ошибкам при оценке структуры коллективной дозы. В обеих формах отсутствует информация по пациентам детского возраста, проходящим РНД-исследования. В форме 3-ДОЗ исследования объединены по анатомическим областям, при этом не учитывается использование различных РФЛП, которые формируют различные дозы у пациента при обследовании одного и того же органа (системы).

С целью повышения достоверности данных, представляемых в форме № 3-ДОЗ, расширения и актуализации номенклатуры проводимых диагностических и терапевтических процедур в ядерной медицине и радиофармпрепаратов в 2015–2020 гг. авторы статьи в рамках актуализации формы № 3-ДОЗ разработали обновленный раздел по радионуклидной диагностике. В качестве основных изменений можно выделить:

- раздельный сбор информации для детей и взрослых пациентов;
- изменение номенклатуры радионуклидных исследований с переходом на комбинацию анатомической области исследования и радионуклида;
- разделение всех радионуклидных диагностических исследований на 3 категории: скинтиграфии/ОФЭКТ; ОФЭКТ/КТ; ПЭТ/КТ.

На текущий момент актуализированная форма № 3-ДОЗ находится на утверждении в Росстате. Тем не менее, даже в актуализированной форме остается ряд ключевых недостатков, которые невозможно устранить: в частности, невозможность оценить дозы облучения пациентов на уровне отдельного аппарата. Это обуславливает сохранение актуальности проведения исследований, направленных на выборочный и детальный сбор и анализ данных по структуре исследований и уровням облучения пациентов в РНД.

Заключение

Несмотря на внедрение новых методов медицинской визуализации и новых РФП, в Российской Федерации с 2015 г. в целом ситуация с РНД кардинально не изменилась. Число исследований находится на стабильном уровне около 550 тыс. исследований в год при сокращении числа исследований из группы функциональных и ростом прочих (томографических) исследований. Анализ годового изменения структуры РНД в России показывает, что в настоящее время наиболее востребованы исследования костной системы с целью диагностики костных метастазов, уменьшилось число исследований почек, печени и легких. Такая динамика объясняется выбором других приоритетных методов диагностики и изменениями в аппаратном оснащении отделений РНД:

⁵ МУ 2.6.1.3700-21 «Оценка и учет эффективных доз у пациентов при проведении радионуклидных диагностических исследований», утвержденные Роспотребнадзором 31.08.2021 г. [МУ 2.6.1.3700-21 «Estimation and accounting of effective doses of patients from radionuclide diagnostic studies», approved by Rospotrebnadzor on 31.08.2021. (In Russ.)]

⁶ МУ 2.6.1.2944-11 «Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований», утвержденные Роспотребнадзором 19.07.2011 г. с изменениями, внесенными МУ 2.6.1.3584-19 «Изменения в МУ 2.6.1.2944-11 «Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований», утвержденными Роспотребнадзором 30.10.2019 г. [МУ 2.6.1.2944-11 «Control of effective doses of patients from X-ray examinations», approved by Rospotrebnadzor on 19.07.2011 as amended by MU 2.6.1.3584-19 «Updates to MU 2.6.1.2944-11 «Control of effective doses of patients from X-ray examinations», approved by Rospotrebnadzor on 10.30.2019 (In Russ.)].

произошла замена устаревших радиометров и сканеров на современные томографы ОФЭКТ, ОФЭКТ/КТ, ПЭТ/КТ.

Распределение РНД по регионам Российской Федерации неоднородно: более трети всех исследований выполняются в Санкт-Петербурге и Москве. В 20 субъектах Российской Федерации РНД отсутствует. Это позволяет в дальнейшем использовать Санкт-Петербург и Москву в качестве модельных регионов для проведения широкомасштабных сборов данных и реализации программ по совершенствованию системы радиационной безопасности в РНД.

Анализ динамики коллективной дозы по форме 3-ДОЗ свидетельствует о росте коллективной дозы в период 2015–2020 гг. (20% в среднем за год). При этом максимальный вклад в коллективную дозу вносят высокодозовые томографические и гибридные исследования из группы «Прочие» – 56%.

Форма статистического учёта доз медицинского облучения населения в части РНД отстаёт от изменений, происходящих в отрасли, и требует внесения корректировок, отражающих внедрение новой аппаратуры и технологий в медицинскую практику.

Для детальной и достоверной оценки РНД в стране необходимо проведение более детальных выборочных исследований, направленных на определение структуры РНД, возрастного профиля пациентов и уровней облучения различных групп пациентов. Данное исследование целесообразно проводить в Санкт-Петербурге или Москве как модельных субъектах РФ. По итогам данных исследований необходимо сформулировать предложения по переработке и унификации системы сбора данных в РНД в Российской Федерации.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Чипига Л.А. – научное руководство исследованием, определение цели, разработка дизайна исследования, формулировка научных гипотез, поиск литературы, проведение расчетов, анализ полученных результатов, написание текста.

Ладанова Е.Р. – поиск литературы, проведение расчетов, описание результатов.

Водоватов А.В. – анализ и интерпретация результатов, обсуждение результатов исследования.

Звонова И.А. – анализ литературы, проверка расчетов, редактирование статьи.

Мосунов А.А. – анализ литературы, проведение расчетов, описание результатов.

Наурзбаева Л.Т. – анализ литературы, проведение расчетов, описание результатов.

Рыжов С.А. – поиск и анализ литературы, редактирование статьи.

Благодарности

Авторы выражают свою благодарность Библину Артему Михайловичу и Братиловой Анжелике Анатольевне за предоставление первичных данных.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об источнике финансирования

Авторы заявляют об отсутствии финансирования.

Литература

1. Наркевич Б.Я. Физико-техническое обеспечение ядерной медицины: современное состояние и перспективы развития // Радиационная онкология и ядерная медицина. 2012. № 1. С. 51–75.
2. National Council on Radiation Protection and Measurements. Medical radiation exposure of patients in the United States // NCRP Report No. 184, 2019.
3. Evaluation of medical exposure to ionizing radiation // UNSCEAR 2020/2021 Report Volume I. Annex A.
4. Онищенко Г.Г., Попова А.Ю., Романович И.К., и др. 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.
5. Онищенко Г.Г., Попова А.Ю., Романович И.К., и др. Современные принципы обеспечения радиационной безопасности при использовании источников ионизирующего излучения в медицине. Часть 2. Радиационные риски и совершенствование системы радиационной защиты // Радиационная гигиена. 2019. Т. 12, № 2. С. 6–24. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-2-6-24.
6. Martin A., Eckerman K., Pawel D., et al. Improved Age- and Gender-Specific Radiation Risk Models Applied on Cohorts of Swedish Patients // Radiation Protection Dosimetry. 2021. Vol. 195, No 3-4. P. 334–338. DOI: 10.1093/rpd/ncab075.
7. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2020 г. (Радиационно-гигиенический паспорт Российской Федерации). М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2021. 130 с.
8. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2019 г. (Радиационно-гигиенический паспорт Российской Федерации). М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2020. 136 с.
9. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2018 г. (Радиационно-гигиенический паспорт Российской Федерации). М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2019. 130 с.
10. Радиационно-гигиенический паспорт России: Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2017 г. (Радиационно-гигиенический паспорт Российской Федерации). М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2018. 117 с.
11. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2016 г. (Радиационно-гигиенический паспорт Российской Федерации). М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2017. 125 с.
12. Результаты радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации за 2015 г. (Радиационно-гигиенический паспорт Российской Федерации). М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2016. 125 с.
13. Водоватов А.В., Романович И.К., Историк О.А., и др. Предварительная оценка изменения структуры и коллективной дозы от КТ-исследований за период март-июнь 2020 г в связи с диагностикой COVID-19 в Российской Федерации. 2020. Препринт: <https://covid19-preprints.microbe.ru/article/28> (Дата обращения: 27.07.2022) DOI:10.21055/preprints-3111724.

14. Звонова И.А., Чипига Л.А., Балонов М.И., Сухов В.Ю. Радионуклидная диагностика в Санкт-Петербурге: текущее состояние и проблемы развития // Радиационная гигиена. 2015. Т. 8, № 4. С. 32-41.
15. Костылев В.А., Рыжикова О.А., Сергиенко В.Б. Статус и перспектива развития методов позитронно-эмиссионной томографии в России // Медицинская физика. 2015. № 2. С. 5-16.
16. European Commission. Medical radiation exposure of the European population // Radiation Protection. 2019. № 180, part 1/2.
17. Verberne H.J., Acampa W., Anagnostopoulos C. EANM procedural guidelines for radionuclide myocardial perfusion imaging with SPECT and SPECT/CT: 2015 revision // European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging. 2009. Vol. 36. P. 1201-1216. DOI: 10.1007/s00259-015-3139-x.
18. Kapucu Ö.L., Nobili F., Varrone A., et al. EANM procedure guideline for brain perfusion SPECT using ^{99m}Tc-labelled radiopharmaceuticals, version 2 // European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging. 2009. Vol. 36(12). P. 2093-102. DOI 10.1007/s00259-009-1266-y.
19. Балонов М.И., Голиков В.Ю., Звонова И.А., и др. Современные уровни медицинского облучения в России // Радиационная гигиена. 2015. Т. 8, № 3. С. 67-79.
20. Balonov M., Golikov V., Zvonova I., et al. Patient doses from medical examinations in Russia: 2009-2015 // Journal of Radiological Protection. 2018. Vol. 38, No 1. P. 121-139. DOI: 10.1088/1361-6498/aa9b99.
21. Балонов М.И., Голиков В.Ю., Водоватов А.В., и др. Научные основы радиационной защиты в современной медицине, Том 1. Лучевая диагностика. Под ред. профессора М.И. Балонова. СПб.: НИИРГ имени проф. П.В. Рамзаева, 2019. Т. 1. 320 с.
22. Чипига Л.А. Сравнение расчетных методов определения эффективной и органнх доз у пациентов при компьютерно-томографических исследованиях // Радиационная гигиена. 2017. Т. 10, № 1. С. 56-64. DOI: 10.21514/1998-426X-2017-10-1-56-64.
23. Chipiga L., Golikov V., Vodovатов A., Bernhardsson C. Comparison of organ absorbed doses in whole-body computed tomography scans of paediatric and adult patient models estimated by different methods // Radiation Protection Dosimetry. 2021. Vol. 195, No 3-4. P. 246-256. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncab086>.

Поступила: 04.07.2022 г.

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; доцент кафедры ядерной медицины и радиационных технологий Национального медицинского исследовательского центра им. В.А. Алмазова Минздрава России. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: larisa.chipiga@gmail.com

Ладанова Евгения Романовна – аспирант, младший 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

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; доцент кафедры общей гигиены Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета, Санкт-Петербург, Россия

Звонова Ирина Александровна – доктор технических наук, доцент, главный 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

Мосунов Артем Алексеевич – студент Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

Наурзбаева Лаура Талгатовна – студентка Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

Рыжов Сергей Анатольевич – руководитель центра по радиационной безопасности и медицинской физике Научно-практического клинического центра диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

Для цитирования: Чипига Л.А., Ладанова Е.Р., Водоватов А.В., Звонова И.А., Мосунов А.А., Наурзбаева Л.Т., Рыжов С.А. Тенденции развития ядерной медицины в Российской Федерации за 2015–2020 гг. // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 4. С. 122-133. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-4-122-133

Trends in the development of nuclear medicine in the Russian Federation for 2015–2020

Larisa A. Chipiga^{1,2,3}, Evgenia R. Ladanova¹, Aleksandr V. Vodovатов^{1,4}, Irina A. Zvonova¹, Artem A. Mosunov⁵,
Laura T. Naurzbaeva⁵, Sergey A. Ryzhov^{6,7,8}

¹Saint-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

²A.M. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies, Saint-Petersburg, Russia

³Almazov National Medical Research Centre, Saint-Petersburg, Russia

⁴Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, Saint-Petersburg, Russia

⁵Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg, Russia

⁶Association of Medical Physicists in Russia, Moscow, Russia

⁷Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow Department of Health, Moscow, Russia

⁸Dmitry Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology, the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia

The federal forms of statistical reporting (3-DOZ form, form No. 30 of the Ministry of Health of the Russian Federation and radiation-hygienic passports of the subjects of the Russian Federation for 2015–2020) were analyzed in order to estimate the current status of nuclear medicine and assess the perspective and developing proposals for improving the national system of radiation protection in nuclear medicine. Over the past six years, the number of radionuclide examinations in the Russian Federation has been at the same level: on average 530 thousand per year. In 2020 the number of examinations decreased that was caused by the epidemic of coronavirus infection. The largest number of examinations in 2015–2020 were performed in Moscow (21%) and St. Petersburg (11%). Federal medical centers equipped with high-tech equipment are located in these cities, and patients from different regions are examined in these centers. The examination of bone is the most common examination in Russia: 40% from all of nuclear medicine examination; there is a moderate increase of that examinations. There is a high number of renal examinations (17%). The next most frequent are examinations of myocardium, thyroid, liver and lungs; the number of these examinations are decrease. Due to the development of modern diagnostic technologies, installation of new positron emission tomography departments and replacement of the old equipment with the new one (decrease in the number of renographs and increase the number of positron emission tomographs), the number of “other” examinations are increased with a factor of 3.7 since 2015 but the number of “functional” examinations is decreased. About two thousand studies per year were examined on a scanner (renograph, gamma camera, single-photon emission tomography), and about 0.6 thousand hybrid imaging examinations per year were performed on a single-photon emission tomography combined with computed tomography. The annual collective dose of radionuclide diagnosis in the country has increased from 1.2 to 3.7 thousand man-Sv since 2015. The main contribution to the collective dose in Russia was associated with “other” examinations, which include hybrid imaging and whole body positron emission tomography: 55% (39% in St. Petersburg, 60% in Moscow). Due to the limitations and heterogeneous content of the federal forms of statistical reporting it is difficult to assess the current state of nuclear medicine in the Russian Federation. The authors of the study were updated of the data collection system in the radionuclide diagnosis in 3-DOZ forms; it is under approval. For detailed and reliable assessment of the nuclear medicine in the country, it is necessary to conduct a separate survey to determine the types of nuclear medicine examinations, the gender and age profile of patients and patient doses. That survey should be conducted in St. Petersburg or Moscow, as model subjects of the Russian Federation.

Key words: nuclear medicine, radionuclide diagnostics, radionuclide therapy, scintigraphy, single-photon emission computed tomography, positron emission tomography, patient doses, collective dose.

Information about authors' personal contribution to the work on the article

Chipiga L.A. – scientific management of the study, determination of the aim of the study, development of the study design, formulation of the scientific conjectures, calculations, analysis of the results, writing the text of the article.

Ladanova E.L. – search of literature, calculations, descriptions of the results.

Vodovатов A.V. – analysis and interpretation of the results, discussion of the results.

Zvonova I.A. – analysis of literature, calculations verification, editing the draft of the article.

Mosunov A.A. – search of literature, calculations, descriptions of the results.

Larisa A. Chipiga

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

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

Naurzbaeva L.T. – search of literature, calculations, descriptions of the results.

Ryzhov S.A. – search and analysis of literature, editing the draft of the article.

Conflict of interest

The authors have no conflicts of interest to disclose.

Acknowledgements

The authors would like to thank Artem M. Biblin and Anzhelika I. Bratilova for assistance with the primary data provision.

Information about the source of funding

The study was not financially supported.

References

1. Narkevich BYa. Current Status and Prospect Development of Nuclear Medicine Techniques. *Radiatsionnaya onkologiya i yadernaya meditsina = Radiation oncology and nuclear medicine*. 2012;1: 51-75. (In Russian)
2. National Council on Radiation Protection and Measurements. Medical radiation exposure of patients in the United States. NCRP Report 184. 2019.
3. UNSCEAR. Evaluation of medical exposure to ionizing radiation. UNSCEAR 2020/2021 Report Volume I. Annex A. 2021.
4. Onischenko GG, Popova AYU, Romanovich IK, Vodovatov AV, Bashketova NS, Istorik OA, et al. 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;12(1): 6-24. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-1-6-24O.
5. Onischenko GG, Popova AYU, Romanovich IK, Vodovatov AV, Bashketova NS, Istorik OA, et al. Modern principles of the radiation protection from sources of ionizing radiation in medicine. Part 2: radiation risks and development of the system of radiation protection. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2019;12(2): 6-24. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-2-6-24.
6. Martin A, Eckerman K, Pawel D, Almén A, Mattsson S. Improved Age- and gender-specific radiation risk models applied on cohorts of Swedish patients. *Radiation Protection Dosimetry*. 2021;195(3-4): 334-338. DOI: 10.1093/rpd/ncab075.
7. Results of radiation-hygienic passportization in regions of the Russian Federation in 2020. (Radiation- Hygienic Passport of the Russian Federation). Moscow: Rospotrebnadzor; 2021. 130 p. (In Russian)
8. Results of radiation-hygienic passportization in regions of the Russian Federation in 2019. (Radiation- Hygienic Passport of the Russian Federation). Moscow: Rospotrebnadzor; 2020. 136 p. (In Russian)
9. Results of radiation-hygienic passportization in regions of the Russian Federation in 2018. (Radiation- Hygienic Passport of the Russian Federation). Moscow: Rospotrebnadzor; 2019. 130 p. (In Russian)
10. Results of radiation-hygienic passportization in regions of the Russian Federation in 2017. (Radiation- Hygienic Passport of the Russian Federation). Moscow: Rospotrebnadzor; 2018. 117 p. (In Russian)
11. Results of radiation-hygienic passportization in regions of the Russian Federation in 2016. (Radiation- Hygienic Passport of the Russian Federation). Moscow: Rospotrebnadzor; 2017. 125 p. (In Russian)
12. Results of radiation-hygienic passportization in regions of the Russian Federation in 2015. (Radiation- Hygienic Passport of the Russian Federation). Moscow: Rospotrebnadzor; 2016. 125 p. (In Russian)
13. Vodovatov AV, Romanovich IK, Istorik OA, Eremina LA, Morozov SP, Ryzhov SA, et al. Preliminary assessment of changes in the structure and collective dose from CT examinations for the period March-June 2020 due to the diagnosis of COVID-19 in the Russian Federation. 2020. (In Russian) Preprint: <https://covid19-preprints.microbe.ru/article/28> (Accessed: 27.07.2022) DOI:10.21055/preprints-3111724.
14. Zvonova IA, Chipiga LA, Balonov MI, Sukhov VJ. Radionuclide diagnostics in St. Petersburg: Current status and development challenges. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2015; 8(4): 32-41. (In Russian)
15. Kostylev VA, Ryzhikova OA, Sergienko VB. Status and prospects for the development of positron emission tomography methods in Russia. *Meditsinskaya fizika = Medical physics*. 2015;2: 5-16. (In Russian)
16. European Commission. Medical radiation exposure of the European population. Radiation Protection №180, part 1/2. 2019.
17. Verberne HJ, Acampa W, Anagnostopoulos C. EANM procedural guidelines for radionuclide myocardial perfusion imaging with SPECT and SPECT/CT. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*. 2009;36: 1201-1216. DOI: 10.1007/s00259-009-1131-z.
18. Kapucu ÖL, Nobili F, Varrone A, et al. EANM procedure guideline for brain perfusion SPECT using ^{99m}Tc-labelled radiopharmaceuticals, version 2. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*. 2009;36(12): 2093-102. DOI 10.1007/s00259-009-1266-y.
19. Balonov MI, Golikov VYu, Zvonova IA, et al. Current levels of medical exposures in Russia. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2015;8(3): 67-79. (In Russian)
20. Balonov M, Golikov V, Zvonova I, et al. Patient doses from medical examinations in Russia: 2009-2015. *Journal of Radiological Protection*. 2018;38(1): 121-139. DOI: 10.1088/1361-6498/aa9b99.
21. Balonov MI, Golikov VYu, Vodovatov AV, et al. Scientific foundations of radiation protection in modern medicine. Volume 1. X-ray diagnostics. By edit. professor MI Balonov. Saint-Petersburg: NIIRG named after prof. PV Ramzaev; 2019. Vol.1, 320 p. (In Russian)
22. Chipiga LA. A comparison of computational methods for estimation of effective and organ doses to the patients from CT examination. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2017;10(1): 56-64. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2017-10-1-56-64.
23. Chipiga L, Golikov V, Vodovatov A, Bernhardsson C. Comparison of organ absorbed doses in whole-body computed tomography scans of paediatric and adult patient models estimated by different methods. *Radiation Protection Dosimetry*. 2021;195(3-4): 246-256. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncab086>.

Received: July 04, 2022

For correspondence: Larisa A. Chipiga – Ph.D., research fellow, 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.M. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies; docent, Almazov National Medical Research Centre. (Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: larisa.chipiga@gmail.com)

Evgenia R. Ladanova – Graduate student, Junior Researcher, Protection Laboratory, 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

Aleksandr V. Vodovatov – Ph.D., Head of 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 Wellbeing; docent, Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, Saint-Petersburg, Russia

Irina A. Zvonova – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Chief Researcher of Protection Laboratory, 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

Artem A. Mosunov – student, Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg, Russia

Laura T. Naurzbaeva – student, Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg, Russia

Sergey A. Ryzhov – head of radiation protection and medical physics center, Research and Practical Clinical Centre of Diagnostics and Telemedicine Technologies of Moscow Healthcare Department, Moscow, Russia

For citation: Chipiga L.A., Ladanova E.R., Vodovatov A.V., Zvonova I.A., Mosunov A.A., Naurzbaeva L.T., Ryzhov S.A. Trends in the development of radionuclide diagnostics in the Russian Federation for 2015–2020. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022. Vol. 15, No. 4. P. 122–133. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-4-122-133