

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

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

На основе анализа данных собственных исследований и данных Единой государственной системы контроля и учета доз облучения граждан, а также литературных данных рассмотрено состояние медицинского облучения пациентов при использовании источников ионизирующего излучения в отечественной медицине. Проведен анализ данных о количестве рентгенорадиологических исследований, индивидуальных и коллективных дозах у пациентов и их структуре по видам исследований. Показана динамика изменения исследуемых показателей с 1999 до 2013 г. Современный уровень медицинского облучения пациентов в России является минимальным за весь период наблюдения и одним из самых низких среди экономически развитых стран. Число рентгенорадиологических процедур составляет 1,8 на душу населения за год. Средняя эффективная доза медицинского облучения на душу населения России составила в 2013 г. 0,45 мЗв в год, а на процедуру — 0,25 мЗв. Наибольший вклад в коллективную дозу медицинского облучения дают компьютерная томография и рентгенография; наибольшие индивидуальные дозы — в интервенционной радиологии, компьютерной рентгеновской томографии и радионуклидной диагностики. Диапазон средних доз составляет почти четыре порядка величины: от нескольких микрозивертов при рентгеностоматологических исследованиях до десятков миллизивертов при интервенционных и многофазных томографических исследованиях. Средняя эффективная доза у взрослых пациентов увеличивается каждый раз примерно на порядок величины при переходе от рентгеностоматологических исследований к рентгенологическим исследованиям общего назначения, компьютерно-томографическим исследованиям и к интервенционным исследованиям. При проведении интервенционных рентгенологических исследований в коже пациентов в области входа пучка излучения в тело могут формироваться поглощенные дозы до нескольких Грей, что может приводить к возникновению детерминированных радиационных эффектов в коже и подкожных тканях. Вследствие замены низкодозовых функциональных радионуклидных исследований более информативными сцинтиграфическими и томографическими исследованиями индивидуальные дозы пациентов за последнее десятилетие значительно выросли. При имеющейся тенденции переоснащения отечественной рентгенорадиологии современными диагностическими приборами можно ожидать значительного роста услуг лучевой диагностики в ближайшие годы, в первую очередь, компьютерной томографии, и связанной с этим тенденции к увеличению уровней медицинского облучения. Для предотвращения повышенного медицинского облучения пациентов, как это случилось в ряде ведущих стран, необходимо уделять внимание радиационной защите пациентов, в том числе обоснованию проведения исследований и оптимизации защиты. Приоритетными являются вопросы защиты пациентов при проведении исследований, связанных с повышенными дозами у пациентов: интервенционных, компьютерной томографии, радионуклидной томографии, особенно комбинированной с рентгеновской томографией.

Ключевые слова: медицинское облучение, рентгеновская диагностика, радионуклидная диагностика, компьютерная томография, пациенты, эффективная доза, радиационная защита.

Введение

Медицинскому облучению ионизирующим излучением (ИИ) подвергаются: пациенты при проведении медицинской диагностики и лечения, а также практически здоровые лица при проведении профилактических рентгенологических (флюорографических) исследований. К этой же категории медицинского облучения относятся добровольцы — участники биомедицинских исследований, а также лица, оказывающие помощь пациентам и осуществляющие уход за ними (кроме профессиональных медицинских работников) [1–3]. Таким образом, в мире и, в частности, в России медицинское облучение

охватывает значительную часть населения, а его уровни (дозы) в разных странах зависят от степени развития медицинской радиологии и радиационной защиты [2].

По сравнению с другими категориями облучения медицинское облучение характеризуется рядом особенностей, которые могут усугублять его действие на здоровье, в том числе: высокой мощностью дозы; неравномерностью облучения тела и его органов и тканей; воздействием, как правило, на больной и ослабленный организм; частым облучением лиц с повышенной радиочувствительностью (детей и беременных женщин) и др. Эти факторы выделяют медицинское облучение среди других

✉ Балонов Михаил Исаакович

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева
Адрес для переписки: 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; e-mail: m.balonov@mail.ru

видов облучения человека и делают защиту от него приоритетной [1–4].

Следует иметь в виду, что не только облучению ИИ в медицине подвергается больше людей, чем в любой другой отрасли человеческой деятельности, но и во многих случаях уровни облучения в медицине выше, чем в промышленности [2, 4].

Это относится, в первую очередь, к пациентам, проходящим современные высокоинформативные диагностические исследования, в том числе в *рентгенологии*: компьютерную томографию (КТ), интервенционные исследования (ИРЛИ), а также в *радионуклидной диагностике*: однофотонную эмиссионную томографию (ОФЭКТ, ОФЭКТ/КТ), позитронно-эмиссионную томографию (ПЭТ, ПЭТ/КТ).

Особая ситуация складывается в лучевой терапии, где на объекты облучения (обычно злокачественные опухоли) направляют огромные дозы излучения (десятки греи), но значительные дозы приходится и на окружающие здоровые ткани, подлежащие защите. Эти дозы находятся вне диапазона так называемых «малых доз», которые рассматриваются в радиационной защите в ситуации планового облучения, и потому не суммируются с дозами вследствие диагностического облучения [1, 2].

В данной статье на основе анализа собственных и литературных данных, а также материалов единой системы контроля индивидуальных доз ЕСКИД (формы статистического наблюдения №3-ДОЗ) [5] и других источников общероссийской информации (формы статистического наблюдения Минздрава России № 30 [6]) рассмотрено состояние облучения пациентов при диагностическом использовании ИИ в отечественной медицине. К сожалению, формы статистического наблюдения № 3-ДОЗ и Ф. № 30 не содержат отдельных сведений о пациентах-детях, и поэтому наш анализ ограничен дозами у взрослых пациентов. Собственные данные собирали как о взрослых, так и о детях в ходе выполнения работ по контрактам Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены с ФМБА России в 2008–2014 гг.

Информация о современном уровне медицинского облучения в мире и в России позволяет оценивать состояние радиационной безопасности пациентов и потребности ее улучшения.

1. Применение ионизирующих излучений в отечественной медицине

Уровни медицинского облучения в России определяются развитием лучевой диагностики и терапии, которое, в свою очередь, зависит от медико-демографической и экономической ситуации. В связи со старением населения и ростом заболеваемости, включая онкологическую (рис. 1), потребность в медицинских услугах растет. Соответственно, растут и объемы рентгенорадиологических исследований, и уровни облучения пациентов при использовании новых диагностических технологий [7, 8].

Экономические возможности России позволили в последние годы значительно модернизировать аппаратную базу лучевой диагностики и терапии и расширить их применение в медицине. В то же время следует отметить, что оснащение российской лучевой диагностики совре-

менной аппаратурой отстает от других стран с развитым здравоохранением. Так, если в США в 2007 г. было проведено свыше 70 млн КТ-исследований [9], то в России в 2013 г. – в десять раз меньше (6,5 млн) [6–8]. Тем не менее, рост числа КТ-аппаратов (вдвое за последние 5 лет) и КТ-исследований (в 3,5 раза за 7 лет) в России весьма значителен и заслуживает приоритетного внимания с точки зрения радиационной защиты пациентов [10].

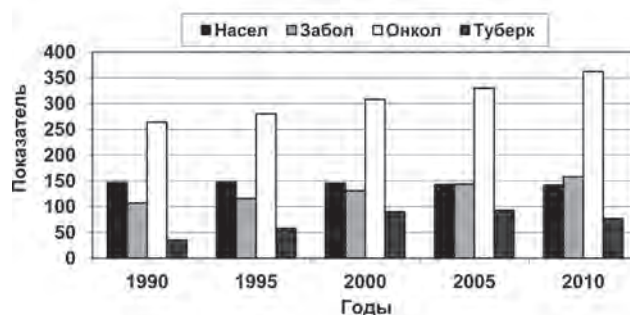


Рис. 1. Динамика медико-демографической обстановки в России (население, млн чел.; общая заболеваемость, $\% \cdot 10^{-1}$; онкозаболеваемость, $\% \cdot 10^{-1}$; заболеваемость туберкулезом, $\% \cdot 10^{-1}$) [7]

В отличие от развитых зарубежных стран, в России пока преобладает тенденция к снижению уровня медицинского облучения, и годовая эффективная доза на душу населения составила в 2013 г. всего 0,45 мЗв (рис. 2), а на диагностическую процедуру – 0,25 мЗв [8]. Это самые низкие показатели за все время наблюдения (с 1970-х гг.), которые в 3,5 раза ниже, чем в других экономически развитых странах [2]. Эта тенденция объясняется влиянием постепенной замены старых рентгеновских аппаратов на новые, главным образом, цифровые, а также повышением чувствительности рентгеновской пленки, сокращением числа высокодозных рентгеноскопий и внедрением усилителей рентгеновского изображения и импульсной рентгенооскопии. За последние 5 лет число цифровых аппаратов в России возросло в 2 раза, однако по-прежнему они составляют меньшинство (17% среди всех рентгеновских аппаратов) [6].

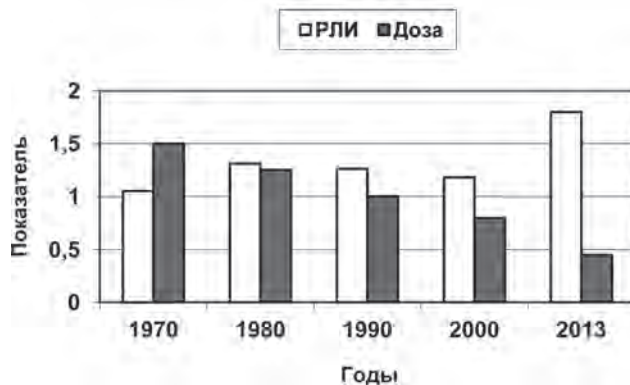


Рис. 2. Тенденции медицинского облучения в России: число рентгенорадиологических процедур и годовая эффективная доза на душу населения, мЗв [8, 10]

О масштабах использования ИИ в отечественной медицине можно судить по числу проводимых диагностических рентгенорадиологических процедур, которых в 2013 г. было 251 млн [8]. Это означает, что на душу населения (143 млн человек) приходится 1,8 процедуры в год и наблюдается их устойчивый рост: на 40% за последние 10 лет [8, 10] при росте заболеваемости всего на 17% за этот же период [7]. Это – наибольший показатель за время наблюдения (в отличие от минимального уровня облучения), и быстрый рост числа исследований поднимает вопрос об обоснованности их проведения.

Структура проводимых в России рентгенорадиологических исследований представлена на рисунке 3. Вклад числа рентгенографических процедур в общее число диагностических исследований наибольший – 64%, флюорографических – 32%, КТ – 2,6%, рентгеноскопических исследований – 0,8%, специальных исследований, в том числе интервенционных, – 0,4%, а радионуклидной диагностики – лишь 0,2%.

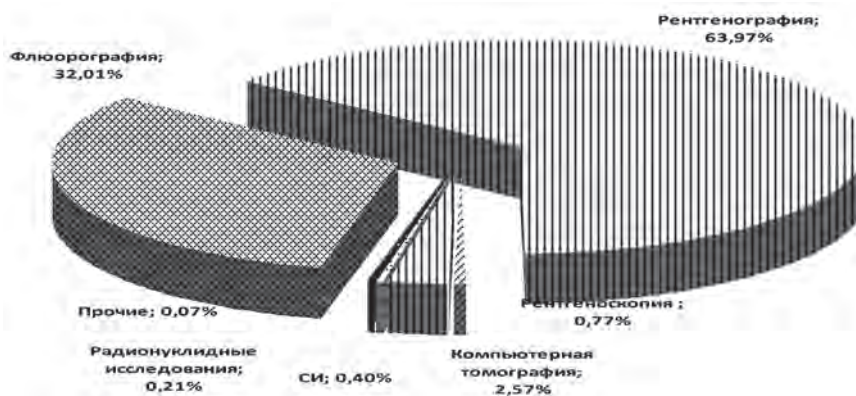


Рис. 3. Структура рентгенорадиологических исследований в России в 2013 г. [8]. (СИ – специальные исследования)

Структура рентгенологических исследований в России не является оптимальной: два вида относительно малоинформативных исследований – рентгенография и флюорография – в общей сложности составляют подавляющую часть (96%) всех диагностических и профилактических исследований. Наиболее информативные КТ-исследования составляют лишь 2,6%, в то время как в других развитых странах их было 8% уже в начале 2000-х гг. [2].

Еще менее развита радионуклидная диагностика: число исследований на тысячу жителей составило в 2013 г. всего 3,7‰ против 19‰ в экономически развитых странах в 2000-е гг., и этот показатель в России постоянно сокращается. В конце 1990-х гг. и в первые годы XXI в. число лабораторий радионуклидной диагностики в Российской Федерации уменьшилось примерно на треть, а число радионуклидных исследований *in vivo* снизилось более чем вдвое. Общее число радионуклидных диагностических исследований в последние годы установилось на уровне 510–530 тыс. исследований в год [8, 10]. К причинам такого застоя относятся излишне строгие регуляторные ограничения, такие как необходимость лицензирования и сложность обращения с радиоактивными отходами, несмотря на короткий период их полураспада. В случае преодоления этих препятствий можно ожидать значительный рост числа лабораторий и процедур радионуклидной диагностики.

Однако в первом десятилетии XXI в. постепенно начинается модернизация аппаратного обеспечения: морально устаревшие радиометры и гамма-камеры заменяются на однофотонные томографы: ОФЭКТ или ОФЭКТ, совмещенные с рентгеновским томографом (ОФЭКТ/КТ). В последнее десятилетие началось строительство центров позитронной томографии (ПЭТ-центров), обеспечивающих применение современного высокочувствительного метода диагностики с ультракороткоживущими позитрон-излучающими радионуклидами [11].

К радионуклидной диагностике относятся также радиоиммунные исследования *in vitro*, которые позволяют определить концентрацию многих биологически значимых веществ в биопробах пациента без введения радиоактивных веществ в организм. Информация об этих исследованиях не собирается в ЕСКИД, поскольку они не приводят к облучению пациентов. По данным [6], число исследований *in vitro* в России за год примерно равно или на 10–20% превосходит число исследований *in vivo*.

Перечисленные факты указывают на то, что при имеющейся тенденции модернизации российской лучевой диагностики современной аппаратурой и дальнейшем увеличении использования на практике современных медицинских технологий (КТ, интервенционные исследования) в ближайшие годы в России, как и в других развитых странах, можно ожидать увеличения объемов лучевой диагностики и связанного с ним повышения уровней медицинского облучения. По этой причине нельзя успокаиваться относительно невысоким уровнем современного медицинского облучения и нужно быть готовыми к его ожидаемому росту в недалекой перспективе.

2. Уровни облучения пациентов в лучевой диагностике: общие вопросы

2.1. Виды и источники дозиметрических данных

Для характеристики уровней облучения пациентов, обусловленных проведением диагностических исследований, используют как индивидуальные, так и коллективные дозы. Первые из них применяют, главным образом, для решения практических задач радиационной защиты пациента, а именно для обоснования проведения исследований и для оптимизации защиты, а также для информирования пациентов о дозе и радиационном риске, как

предписано Законом о радиационной безопасности населения, ст. 17 п. 2 [12]. Коллективные же дозы медицинского облучения используют, главным образом, для сравнения вклада медицинского облучения с вкладами других источников ИИ при планировании развития лучевой диагностики, а также для информирования органов управления здравоохранением, надзорных органов и международных организаций (НКДАР ООН, ВОЗ).

Общепринятой дозиметрической величиной, используемой для характеристики как индивидуального, так и коллективного облучения пациентов, является эффективная доза. По определению, эффективная доза относится не к конкретному лицу, а к условному человеку одной из шести возрастных групп*, установленных Международной комиссией по радиационной защите (МКРЗ) независимо от пола, подвергнутому облучению в тех же условиях, что и исследуемое лицо [13]. Таким образом, эффективная доза не учитывает ни пол, ни телесную конституцию (рост, вес и т.д.) пациента, но учитывает его принадлежность к одной из шести возрастных групп. Эта величина была предложена МКРЗ исключительно для решения практических задач радиационной защиты, но фактически применяется более широко, в том числе при медицинском облучении, как суррогат стохастического радиационного риска. В этой роли применение эффективной дозы не вполне корректно, поскольку в ней не учитывается существенная зависимость радиационного риска от возраста и пола.

Наряду с эффективной дозой, характеризующей облучение всего тела, в случаях повышенного облучения участков кожи или хрусталика глаза отдельно учитывают эквивалентные дозы в этих органах/тканях. Такие дозы используют как индикатор для предотвращения детерминированных радиационных эффектов в коже или хрусталике глаза. В лучевой диагностике значительные дозы в коже пациентов и редкие эффекты от облучения (от эритемы до некроза участков кожи и подкожных тканей) наблюдаются в интервенционной рентгенологии, в частности, при проведении лечебных процедур, и изредка при многократном применении КТ-процедур.

2.1.1. ЕСКИД

Сведения об эффективных дозах пациентов систематически собираются Роспотребнадзором из всех регионов России в рамках ЕСКИД по форме № 3-ДОЗ [5] и издаются Санкт-Петербургским НИИ радиационной гигиены ежегодно с 1999 г. в обобщенном виде в составе Справочников [8, 10], содержащих данные регионального и федерального уровней. Фактически базы данных ЕСКИД содержат сведения о числе проведенных процедур лучевой диагностики с разбивкой по многим видам рентгенологических и радионуклидных исследований и по исследуемым органам или областям тела, а также оценки коллективных эффективных доз, либо полученные по результатам радиационных измерений, либо с использованием средних значений дозы на процедуру из [5].

Для заполнения формы № 3-ДОЗ первого уровня в рентгеновских и радиологических кабинетах лечебно-профилактического учреждения (ЛПУ) должны собирать

первичные данные (произведение дозы на площадь, радиационный выход, параметры проведения исследования и т.п.), по которым вычисляют эффективные дозы для условий облучения конкретных пациентов. Однако далее в ЕСКИД эти данные, которые могут быть использованы для оптимизации защиты, не сохраняются.

В справочниках данные по диагностическому облучению пациентов сгруппированы по следующим шести группам исследований: флюорография, рентгенография, рентгеноскопия, КТ, специальные исследования и радионуклидная диагностика. Соответственно, по Справочникам можно вычислять эффективные дозы медицинского облучения на душу населения и средние дозы на процедуру по указанным шести группам исследований на региональном и федеральном уровнях.

Информационными достоинствами ЕСКИД являются широкий охват сферы медицинского облучения в России (от отдельных ЛПУ до Федерации) и унификация формата и методики определения дозы, позволяющая адекватно сопоставлять данные между ЛПУ, районами, регионами.

К недостаткам ЕСКИД в отношении медицинского облучения относится отсутствие верификации доз и широкое использование в ЛПУ табулированных в [5] средних доз «на процедуру», что не позволяет учитывать специфику местной аппаратуры и условий проведения медицинских процедур. Отсутствуют значения доз «на исследование», нередко состоящее из нескольких процедур, а также иные дозы, используемые в лучевой диагностике, например, эквивалентные дозы в коже при ИРЛИ. Не собираются отдельно дозиметрические данные о пациентах-детях. По сути, ЕСКИД направлена скорее на информирование и планирование (см. выше), а не на решение прямых задач радиационной защиты пациентов, для чего нужны реальные дозы пациентов.

2.1.2. Собственные исследования

Для разработки отечественных нормативно-методических документов и, в частности, для оптимизации радиационной защиты пациентов путем внедрения референтных диагностических уровней (РДУ) авторы в течение 2008–2014 гг. собирали в клиниках г. Санкт-Петербурга и девяти других регионов России (г. Москвы, Архангельской, Белгородской, Брянской, Мурманской, Ростовской и Тюменской областей, Республик Башкортостан и Татарстан) данные, необходимые для оценки доз у пациентов (эффективной и дозы в коже при ИРЛИ). Для этого измеряли технические характеристики диагностической аппаратуры и анкетировали медперсонал о режимах проведения исследований (рентгеновских и радионуклидных) по видам исследований и областям тела для лиц разного возраста (взрослых и детей) и пола. Более подробное описание методики сбора и анализа результатов приводится в публикациях [14–21].

По результатам радиационных измерений и данным о режимах проведения рентгенологических исследований вычисляли эффективные дозы у стандартного пациента с использованием программы EDEREX для рентгенографических, рентгеноскопических и интервенционных исследований [22, 23]. Для оценки дозы при компьютерно-

* Первоначально эффективная доза была определена только для взрослых, подвергающихся профессиональному облучению.

томографических и радионуклидных исследованиях использовали дозовые коэффициенты из [23, 24]. Для ИРЛИ дополнительно оценивали и выборочно измеряли дозы в участках кожи.

Достоинствами таких исследований являются учет режима проведения конкретных исследований на изучаемых аппаратах и получение уточненной оценки дозы отдельных пациентов и средних значений эффективной дозы (СЭД). Именно СЭД используют для установления РДУ и оптимизации защиты. Кроме того, эти уточненные дозиметрические данные были использованы для выборочной верификации табличных данных ЕСКИД и ее совершенствования [25].

К недостаткам таких исследований относится их трудоемкость и отсутствие организационной инфраструктуры, что ограничивает охват сферы медицинского облучения в России (от аппарата до ЛПУ). Поэтому метод углубленного анализа может быть использован только для выборочной верификации дозы, а не для массового сбора данных.

3. Индивидуальные дозы медицинского облучения

Общее представление о средних эффективных дозах на диагностическую процедуру у отечественных пациентов с разбивкой на шесть указанных в п. 2.1.1 групп исследований можно получить из рисунка 4 по данным ЕСКИД за 2013 г. [8]. Наибольшими индивидуальными дозами сопровождаются специальные исследования, включая ИРЛИ, КТ-исследования, рентгеноскопию и радионуклидные исследования, а наименьшими – рентгенография и флюорография. Диапазон средних доз для шести групп исследований составляет почти два порядка величины.

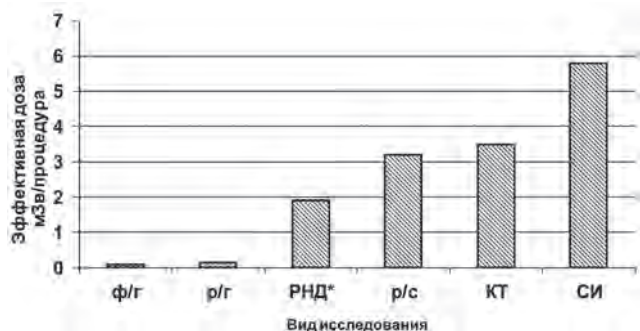


Рис. 4. Средние дозы на процедуру у пациента в лучевой диагностике в России в 2013 г.: флюорография (ф/г), рентгенография (р/г), радионуклидная диагностика (РНД), рентгеноскопия (р/с), компьютерная томография (КТ) и специальные исследования (СИ) [8]

Интерпретируя данные рисунка 4, следует учесть особенности ЕСКИД, указанные в п. 2.1.1, и иметь в виду, что они усреднены не только по всем регионам Российской Федерации, но и по видам исследований внутри каждой из шести групп исследований. Диапазон средних доз для исследований различных органов составляет 1–2 порядка величины внутри каждой группы исследований. Кроме того, данные рисунка 4 не представляют среднюю дозу на все исследование, которое нередко включает две и более процедур.

Таким образом, для характеристики облучения пациента и разработки мер радиационной защиты необходимы более детальные дозиметрические данные, которые получены авторами для взрослых пациентов и опубликованы в [14–21].

3.1. Дозы пациентов в рентгеновской диагностике

3.1.1. Сравнение уровней облучения пациентов при использовании различных диагностических технологий

Для характеристики уровней облучения пациентов, обусловленного проведением диагностических исследований, будем использовать значения СЭД у условного взрослого пациента, соответствующих протоколам медицинских исследований, проводимых в отдельном рентгеновском кабинете. В этом разделе приведем результаты сравнения СЭД у пациентов при использовании различных диагностических технологий.

На рисунке 5 представлены результаты сравнения СЭД, рассчитанных для различных видов рентгенодиагностических исследований, проводимых в Санкт-Петербурге и Ленинградской области в 2009–2013 гг. [14–18, 20]. Из данных, представленных на рисунке 5, видно, что СЭД у пациентов увеличиваются приблизительно на порядок величины при каждом переходе от рентгеностоматологических исследований к рентгенологическим исследованиям общего назначения, к КТ-исследованиям и к ИРЛИ. Эта закономерность не является особенностью диагностического облучения пациентов в России. Аналогичные соотношения уровней облучения пациентов, в зависимости от технологии медицинского исследования, наблюдаются во всем мире [2].

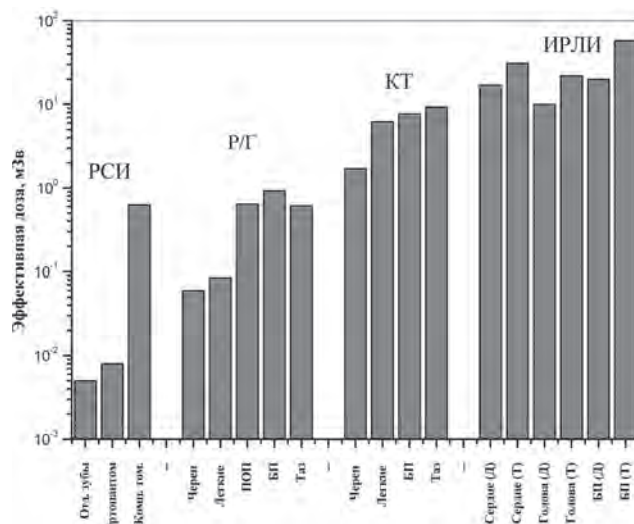


Рис. 5. Средние эффективные дозы на процедуру у взрослых пациентов при проведении рентгеностоматологических (РСИ), рентгенографических (Р/Г), компьютерно-томографических (КТ) и интервенционных (ИРЛИ) исследований в ЛПУ Санкт-Петербурга и Ленинградской области в 2009–2013 гг. [14–18, 20]

Наибольшие дозы получают пациенты, проходящие ИРЛИ. Уровни облучения пациентов при проведении диагностических ИРЛИ лежат в диапазоне 10–20 мЗв за исследование, достигая максимума при исследованиях органов брюшной полости. При терапевтических ИРЛИ эффективные дозы увеличиваются пропорционально сложности вмешательства и, соответственно, времени проведения исследования, и нередко находятся в диапазоне 20–60 мЗв [14, 16, 17].

При таких уровнях эффективной дозы в коже пациентов в области входа пучка излучения в тело могут формироваться поглощенные дозы до нескольких грей, что опасно возможностью возникновения детерминированных эффектов в коже и подкожных тканях. Это особенно относится к неврологическим исследованиям, т.к. превышение пороговой дозы в коже в 7 Гр ведет к перманентной эпилепсии головы, что влияет на качество жизни пациентов [26]. Согласно данным интервью нейрохирургов клиник г. Санкт-Петербурга, подобные ситуации случаются по несколько раз в месяц, что подтверждается обращениями бывших пациентов нейрорентгенохирургии с жалобами на алопецию. Высокие эффективные и кожные дозы, сопровождающие ИРЛИ, указывают на необходимость первоочередного контроля и оптимизации радиационной защиты для данного вида рентгенодиагностики [14, 16, 17, 26].

Другим высокодозообразующим методом лучевой диагностики является КТ. Эффективные дозы от КТ-исследований в десятки раз превышают дозы от рентгенографии. Например, по результатам исследований [20], средняя эффективная доза на процедуру при исследовании органов грудной клетки составляет 9 мЗв, области таза – 14 мЗв и брюшной полости – 15 мЗв. Наибольшим облучением сопровождаются КТ-исследования с введением контрастного вещества, которые состоят из нескольких фаз/процедур: эффективная доза может превышать 100 мЗв при исследовании грудной клетки, брюшной полости или таза. Также с высокими дозами ассоциируются КТ-исследования, которые включают несколько областей тела [20]. При многократном повторении КТ-процедур дозы в коже приближаются к порогам детерминированных эффектов.

3.1.2. Сравнение уровней облучения пациентов в разных регионах РФ

В этом разделе мы сравниваем значения параметров распределения эффективных доз (мин. и макс. значения, медиана и 75% квантиль, предлагаемый к использованию в качестве референтного диагностического уровня РДУ), оцененных нами на основании выборочных измерений и анкетирования в шести регионах РФ (Санкт-Петербург, Архангельская, Мурманская, Брянская, Белгородская и Тюменская области) для двух процедур – рентгенографии легких и поясничного отдела позвоночника (ПОП) [14–18, 20]. Важным показателем для оптимизации является также так называемый региональный разброс значений эффективной дозы, равный отношению максимального к минимальному значений средних доз в обследованных рентгенкабинетах рассматриваемого региона. Результаты сравнения представлены на рисунках 6 и 7.



Рис. 6. Сравнение параметров распределения эффективных доз при проведении рентгенографии органов грудной клетки в шести регионах РФ (Санкт-Петербург, Архангельская, Мурманская, Брянская, Белгородская и Тюменская области) [14–18, 20]

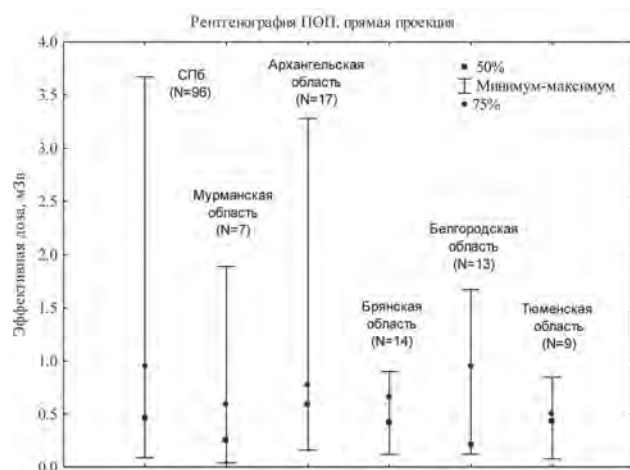


Рис. 7. Сравнение параметров распределения эффективных доз при проведении рентгенографии ПОП в шести регионах РФ (Санкт-Петербург, Архангельская, Мурманская, Брянская, Белгородская и Тюменская области) [14–18, 20]

В случае рентгенографии легких обращает на себя внимание существенно меньший разброс значений эффективной дозы в Архангельской, Мурманской и Брянской областях по сравнению с Санкт-Петербургом, Белгородской и Тюменской областями (5–15 раз и 50–100 раз соответственно). В случае Санкт-Петербурга это может быть связано с более обширным парком рентгеновской аппаратуры и, соответственно, с наличием в нем старых рентгеновских аппаратов, наряду с новыми, низкодозовыми. Однако значения 50% и 75% квантилей в распределении значений эффективных доз близки во всех регионах, что говорит, в общем, о схожести в них практики проведения рентгенографии легких. Значения 75% квантилей около и ниже значения 0,1 мЗв в этих регионах количественно указывают и на уровень эффективной дозы, определяющий «хорошую» практику в отношении защиты пациента при проведении этой процедуры в РФ в настоящее время.

Особый случай представляет Тюменская область, где в двух из 12 кабинетов оцененные значения эффективной дозы оказались экстремально высоки. По этой причине разброс значений эффективной дозы в Тюменской области почти в два раза превосходит таковой в Санкт-Петербурге при меньших значениях 50% и 75% квантилей.

Надо также отметить, что для рентгенографии легких повсеместно значения эффективных доз для пленочных аппаратов значительно ниже рекомендованных для заполнения формы № 3-ДОЗ, что указывает на необходимость корректировки этих значений для данной процедуры. С другой стороны, значения эффективной дозы при рентгенографии легких в российских регионах значительно выше, чем в других странах, тогда как значения эффективных доз для других процедур, как правило, согласуются с аналогичными данными в других странах.

В отношении рентгенографии ПОП наибольший разброс значений эффективной дозы наблюдается в Санкт-Петербурге (40 раз). Близкая картина наблюдается и в Архангельской области. В четырех других регионах разброс значений эффективной дозы меньше. Остальные параметры распределения значений эффективной дозы, как и в случае рентгенографии легких, близки во всех регионах с некоторым увеличением значения 75% квантиля в Санкт-Петербурге за счет более растянутого правого «хвоста» распределения и в Белгородской области за счет наличия двух экстремально высоких значений эффективных доз. Значения 75% квантилей около и ниже значения 1 мЗв в этих регионах количественно указывают, что уровень эффективной дозы, определяющий «хорошую» практику в отношении защиты пациента при проведении этой процедуры в России, в настоящее время близок к этому значению.

Все вышесказанное свидетельствует о возможностях снижения уровней облучения пациентов в отечественной рентгенодиагностике. Как свидетельствует опыт европейских стран, одним из эффективных средств снижения уровней облучения пациентов должно стать внедрение в практику проведения радиологических исследований концепции РДУ [1, 27, 28]. Детальный анализ различий между дозиметрическими данными ЕСКИД и наших исследований 2008–2014 гг. будет проведен в отдельной статье.

3.2. Дозы пациентов в радионуклидной диагностике

Аппаратурный парк радионуклидной диагностики в России мало обновлялся с конца 1980-х гг., что отражалось на структуре исследований: до конца XX в. большей частью проводились так называемые функциональные исследования, такие как радиографические исследования почек с ^{123}I -, ^{131}I -гиппуратом, радиометрия щитовидной железы с Na^{123}I , а также сцинтиграфия и сканирование почек, печени и других внутренних органов с препаратами, меченными $^{99\text{m}}\text{Tc}$. «Функциональные» исследования сопровождаются малыми дозами у взрослых пациентов: в пределах 0,01–0,1 мЗв на процедуру [20, 21], однако их диагностическая ценность также мала по сравнению с современными технологиями. В развитых странах функциональные исследования давно не выполняются, а в нашей стране они постепенно сходят на нет по мере замены старого оборудования на современное.

В настоящее время около 90% всех исследований *in vivo* выполняются с радиофармпрепаратами (РФП), меченными $^{99\text{m}}\text{Tc}$, который получают из молибден-технециевых генераторов радионуклидов в самой клинике. Кроме $^{99\text{m}}\text{Tc}$, используются РФП с ^{123}I , значительно реже – с ^{67}Ga , ^{201}Tl и некоторыми другими радионуклидами. Наибольшие дозы пациент получает при исследовании всего тела, скелета, сердца – в среднем от 2 до 5 мЗв, но при некоторых исследованиях (например, с ^{67}Ga) средняя эффективная доза доходит до 10–20 мЗв, а у отдельных пациентов может быть и выше [20, 21].

Дозы, которые получают пациенты при радионуклидных диагностических исследованиях в развитых странах мира, находятся на таком же уровне и даже несколько выше. В обзоре [2] приведен диапазон средних доз на исследование от 0,2 мЗв (исследование легочной вентилизации с $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -DTPA) до 41 мЗв (исследование сердца в покое и под нагрузкой с ^{201}Tl -хлорид). В частности, при проведении исследований, распространенных в России (исследования скелета, почек, печени, опухолеотропные и пр.), во многих странах пациенту вводят верхние значения разрешенных методиками активностей, а у нас предпочитают использовать наименьшие активности РФП, которые позволяют получить качественную диагностическую информацию на имеющейся аппаратуре.

Использование новой техники и технологий в России с начала XXI в. привело к уменьшению низкодозовых функциональных исследований и росту числа сцинтиграфических исследований, которые обычно сопровождаются дозами пациентов в диапазоне 1–5 мЗв за процедуру (рис. 8).

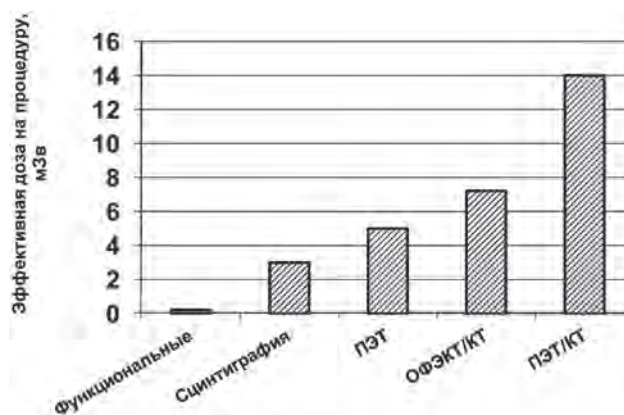


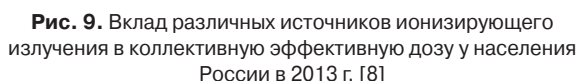
Рис. 8. Средние эффективные дозы на процедуру у взрослых пациентов при проведении радионуклидных диагностических исследований в обследованных отечественных ЛПУ в 2009–2013 гг. [20, 21]

При проведении ПЭТ-исследований с препаратом ^{18}F -ФДГ средние дозы у пациентов оцениваются в диапазоне 2–8 мЗв на процедуру. Следует отметить, что при использовании гибридных аппаратов (ОФЭКТ/КТ, ПЭТ/КТ) рентгеновское излучение при исследовании всего тела может удвоить дозу, обусловленную введением РФП, а при исследовании отдельных частей тела, например, головы, добавить в дозу 1–2 мЗв [20, 21].

В настоящее время радионуклидная диагностика вносит менее 2% в коллективную дозу медицинского облучения. Однако, учитывая политику государства в направлении развития высокотехнологических методов ядерной

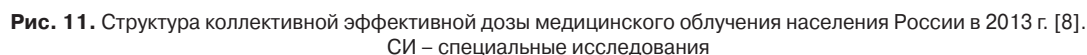
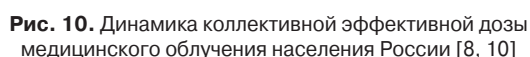
снизились скачкообразно на 19% с 2012 г. до 2013 г. (рис. 10). Примечательно, что эти процессы идут при неуклонном росте числа исследований [8, 10].

более адекватным показателем коллективного ионного риска, обусловленного медицинским облучением, является коллективная эффективная доза. По данным ЕСКИД за 2013 г., коллективная эффективная доза медицинского облучения населения России, получающего лучевую диагностику, составляет 1,1 чел-Зв, и ее вклад в суммарную коллективную дозу всех видов ИИИ (около 12%) является вторым по величине после природного облучения (рис. 9).



Постепенное снижение коллективной дозы в первом десятилетии XX в. в среднем на 4% в год было обусловлено массовой заменой рентгеновских аппаратов на современные низкодозовые (см. раздел 1). Последующая стабилизация коллективной дозы отражала, главным образом, распространение компьютерных томографов, число которых быстро росло и превысило 1600 в 2013 г. [6], и общий рост числа исследований. Последний скачок коллективной дозы вниз на 19% за год скорее отражает обновление в 2013 г. методики заполнения статистической формы № 3-ДОЗ, где ряд дозиметрических параметров был снижен по результатам наших исследований [14–21, 25].

Наибольший вклад в коллективную дозу медицинского облучения пациентов в 2013 г. внесли КТ и рентгенография (рис. 11). Вклад флюорографических, рентгеноскопических и специальных исследований примерно одинаков (9–12%). Значительно меньше вклад радионуклидной диагностики – 1,6%. В общей сложности менее 4% всех исследований с относительно высокими индивидуальными дозами пациентов (КТ, рентгеноскопия и специальные исследования) создают более половины (53,6%) всей коллективной дозы [8]. На эти исследования и должны быть направлены основные усилия по совершенствованию радиационной защиты.



Для планирования радиационной защиты более информативны тренды вкладов различных технологий в коллективную дозу медицинского облучения (рис. 12). На рисунке 12 видно, что ведущей современной тенденцией является рост коллективной дозы за счет КТ – ее вклад уже достиг 35% при значительном потенциале роста. С другой стороны, наблюдается постоянно высокий вклад рентгенографии (32% в 2013 г.) с большой вероятностью постепенного замещения ее за счет КТ, как в развитых зарубежных странах [2]. В то же время постоянно и намеренно снижается вклад рентгеноскопии и флюорографии (около 10% каждой в 2013 г.). Относительно невелик вклад в дозу специальных исследований (включая интервенционные), но здесь актуальность радиационной защиты диктуется высокими индивидуальными дозами: средняя эффективная доза от специальных исследований по данным формы № 3-ДОЗ составила 5,8 мЗв в 2013 г. По данным авторов, средняя доза от ИРЛИ значительно выше [14, 16, 17].



Рис. 12. Динамика вклада различных видов лучевой диагностики в коллективную дозу медицинского облучения населения России [8, 10]

Малый вклад в коллективную дозу весьма актуальных для России радионуклидных исследований объясняется застоем в этой области, вызванным неоправданными регуляторными ограничениями (см. раздел 1).

Заключение

Число ежегодно выполняемых в России диагностических процедур с использованием ИИ монотонно возрастает и в 2013 г. превысило 250 млн, что соответствует 1,8 процедуры в год на душу населения. Численно преобладают рентгенографические (64%) и флюорографические (32%) исследования. Наиболее быстро растет число КТ-исследований (в 5 раз за последние 8 лет), убывает число рентгеноскопий. Число радионуклидных исследований в 5 раз ниже, чем в других странах с развитым здравоохранением.

При имеющейся тенденции переоснащения отечественной лучевой диагностики современными приборами и методиками можно ожидать значительного роста услуг лучевой диагностики в ближайшие годы, в первую очередь, компьютерной томографии, и связанного с этим увеличения уровней медицинского облучения.

Для характеристики уровней облучения пациентов используют как индивидуальные, так и коллективные дозы. Индивидуальные дозы, используемые для оптимизации защиты пациентов, собраны авторами в течение 2008–2014 гг. в клиниках г. Санкт-Петербурга и девяти других регионов России. Коллективные дозы, используемые для планирования развития лучевой диагностики, собираются Роспотребнадзором регулярно с 1999 г. в рамках ЕСКИД.

Эффективные дозы у пациентов вследствие проведения рентгенологических исследований существенно зависят от применяемых технологий и аппаратуры. Диапазон средних доз составляет почти четыре порядка величины: от нескольких микрозивертов при рентгеностоматологических исследованиях до десятков миллизивертов при интервенционных и многофазных томографических исследованиях. Средняя эффективная доза у взрослых пациентов увеличивается примерно на порядок величины при каждом переходе от рентгеностоматологических исследований к рентгенологическим исследованиям общего

назначения, КТ-исследованиям и дальше к интервенционным исследованиям.

При проведении интервенционных рентгенологических исследований в коже пациентов в области входа пучка излучения в тело могут формироваться поглощенные дозы до нескольких грей, что может приводить к возникновению детерминированных радиационных эффектов в коже и подкожных тканях.

Вследствие замены низкодозовых функциональных радионуклидных исследований более информативными скintiграфическими и томографическими индивидуальными дозами пациентов за последнее десятилетие значительно выросли. Сцинтиграфические исследования с РФП, меченными ^{99m}Tc , обычно сопровождаются дозами пациентов 1–5 мЗв за процедуру. При проведении ПЭТ-исследований средние дозы у пациентов находятся в диапазоне 2–8 мЗв на процедуру, а при использовании гибридных аппаратов (ОФЭКТ/КТ, ПЭТ/КТ) рентгеновское излучение может удвоить дозу, обусловленную введением РФП.

Несмотря на ежегодный рост числа исследований, коллективная доза медицинского облучения населения

России монотонно снижалась в 2000-х гг., затем стабилизировалась на 4–5 лет и опять снизилась на 19% с 2012 г. до 2013 г. до 64 тыс. чел-Зв. Ее вклад в суммарную коллективную дозу от всех источников ИИ в 2013 г. (около 12%) является вторым после природного облучения. Постепенное снижение коллективной дозы обусловлено массовой заменой устаревшего рентгеновского оборудования на современное низкодозовое. Наибольший вклад в коллективную дозу медицинского облучения пациентов в 2013 г. внесли КТ (35%) и рентгенография (32%).

Для предотвращения чрезмерного роста уровня медицинского облучения пациентов, как это случилось в ряде ведущих стран, необходимо уделять внимание обоснованию проведения рентгенорадиологических исследований и оптимизации защиты пациента. Важной предпосылкой для внедрения методики оптимизации на основе РДУ является широкий разброс значений дозы у пациентов: на 1–2 порядка величины при применении сходных методов исследования в ряде регионов.

Приоритетными являются вопросы защиты пациентов при проведении исследований, связанных с повышенными дозами пациентов: ИРЛИ, компьютерная томография, радионуклидная томография, особенно комбинированная с КТ.

Литература

1. Международная комиссия по радиационной защите. Радиационная защита в медицине: Публикация 105 МКРЗ/Под редакцией Д. Валентина; редактор русского перевода М.И. Балонов. <http://www.icrp.org/docs/P105Russian.pdf> или <http://niirg.ru/PDF/ICRP-105%20Ru.pdf>.
2. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume I, Annex A. Medical radiation exposures. – New York, UN, 2010.
3. Международное агентство по атомной энергии. Радиологическая защита при медицинском облучении ионизирующим излучением: руководство по безопасности RS-G-1.5. – Вена: МАГАТЭ, 2004. – 99 с.
4. Медицинское облучение населения России 1980-1997 гг.: Справочник/ С.И.Иванов, Ю.О. Якубовский-Липский, А.Б. Базюкин [и др.] – СПб, 2000. – 527 с.
5. Методические рекомендации. Заполнение форм федерального государственного статистического наблюдения № 3-ДОЗ – М. Роспотребнадзор, 2007. – 23 с.
6. Сведения о медицинской организации за 2013 г. по России: Статистическая форма №30: утв. 14.01.13. – М., Росстат, №13. – 22 с.
7. Здравоохранение в России. 2013: Статистический сборник. – М., Росстат, 2014. – 326 с.
8. Репин, В.С. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2013 году: информационный сборник / В.С. Репин, Н.К. Барышков, А.А. Братилова [и др.] – СПб. – 2014. – 60 с.
9. Smith-Bindman, R. Radiation Dose Associated With Common Computed Tomography Examinations and the Associated Lifetime Attributable Risk of Cancer/ R. Smith-Bindman, J. Lipson, R. Marcus [et al.]/Arch intern med 169, No. 22, 2078-2086: 2009.
10. Дозы облучения населения Российской Федерации в 1999-2012 годах: Серия справочников/ Барковский А.Н., Барышков Н.И., Кормановская Т.А. [и др.]. – СПб. 2000-2013.
11. Дубинкин, Д.О. Развитие ядерной медицины в РФ. Медицина: целевые проекты/ Д.О. Дубинкин. – 2013. – № 16. – С. 71–74.
12. Федеральный закон «О радиационной безопасности населения» от 09.01.96 № 3-ФЗ (ред. от 19.07.2011).
13. Международная комиссия по радиационной защите. Рекомендации 2007 г. Международной комиссии по радиационной защите: Публикация 103 МКРЗ/Под ред. Д. Валентина; ред. рус. перевода М.Ф. Киселев. – М.: ФМБЦ им. А.И. Бурназяна, 2009.
14. Голиков, В.Ю. Оценка доз облучения пациентов при проведении интервенционных рентгенологических исследований/ В.Ю. Голиков, С.С. Сарычева, М.И. Баллонов [и др.] // Радиационная гигиена. – 2009. – Т. 2 № 3. – С. 26 – 31.
15. Голиков, В.Ю. Уровни облучения пациентов при проведении рентгенологических исследований в Санкт-Петербурге и Ленинградской области/ В.Ю. Голиков, М.И. Баллонов, С.А. Кальницкий [и др.] // Радиационная гигиена. – 2011. – Т.4, №1. – С. 5-13.
16. Sarycheva, S. Studies of Patient Doses in Interventional Radiological Examinations / S. Sarycheva, V. Golikov, S. Kalnicky//Radiation Protection Dosimetry – 139(1-3), 2010, pp. 258-261.
17. Сарычева, С.С. Радиационная защита пациентов при проведении интервенционных рентгенологических исследований: автореф. дисс. ...канд. биол. наук / С.С. Сарычева – СПб, 2013. – 21 с.
18. Братилова, А.А. Уровни облучения пациентов при проведении рентгеновской компьютерной томографии в медицинских организациях Санкт-Петербурга и Ленинградской области / А.А. Братилова, В.Ю. Голиков, С.А. Кальницкий // Радиационная гигиена. – 2014. – Т. 7, №3. – С. 33–38.
19. Zvonova, I. Nuclear Medicine Examinations of Children in Russia / I. Zvonova, L. Chipiga, M. Balonov // Radiation Protection Dosimetry 165. – 2015. – No. 1–4, pp. 216–219.
20. Баллонов, М.И. Совершенствование нормативно-методической базы радиационной защиты при проведении медицинских рентгенорадиологических исследований/ М.И. Баллонов, В.Ю. Голиков, И.А. Звонова [и др.]// Заключительный отчет ФБУН НИИРГ по контракту с ФМБА № 81.003.14.2 от 17.02.2014. – СПб, 2014. – 472 с.
21. Методические рекомендации. Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований (МУ 2.6.1. 0098-15) – М.: Роспотребнадзор, 2015. – 34 с.
22. Оценка эффективных доз облучения пациентов при проведении рентгенологических исследований: Сборник научных трудов «Радиационная гигиена» / В.Ю. Голиков, А.Н. Барковский, Н.К. Барышков – СПб, 2003. – С. 75–88.
23. Методические указания. Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований (МУ 2.6.1.2944-11) – М.: Роспотребнадзор, 2011. – 32 с.
24. Методические указания. Оценка и учет эффективных доз у пациентов при проведении радионуклидных диагностических исследований (МУ 2.6.1.3151-13) – М.: Роспотребнадзор, 2013. – 35 с.
25. Сведения о дозах облучения пациентов при проведении медицинских рентгенорадиологических исследований в Российской Федерации за 2013 г.: Форма 3-ДОЗ: утв. 16.10.2013, №411, Росстат.
26. International Commission on Radiological Protection. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. ICRP Publication 85. Ann. ICRP 30, № 2: 2000.
27. European Commission. Radiation Protection 109. Guidance on Diagnostic Reference Levels (DRLs) for Medical Exposures. European Commission. Brussels, Luxembourg. 1999.
28. Методические рекомендации. Применение референтных диагностических уровней для оптимизации радиационной защиты пациента в рентгенологических исследованиях общего назначения (МУ 2.6.1. 0066-12) – М.: Роспотребнадзор, 2012. – 25 с.

Поступила: 12.08.2015 г.

Балонов Михаил Исаакович – заведующий лабораторией радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева. Адрес: 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8. Тел.: 8(812)232-85-16; e-mail: m.balonov@mail.ru

Голиков Владислав Юрьевич – старший научный сотрудник лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева. Адрес: 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8. Тел.: 8-921-302-21-91; e-mail: sq135@rambler.ru

Звонова Ирина Александровна – главный научный сотрудник Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева. Адрес: 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; e-mail: ir_zv@bk.ru.

Кальницкий Сергей Анатольевич – ведущий научный сотрудник Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева. Адрес: 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; e-mail: kalnitsky@land.ru

Репин Виктор Степанович – руководитель отдела здоровья Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева. Адрес: 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8. Тел.: 8(812)232-70-25; e-mail: v.repin@mail.ru

Сарычева Светлана Сергеевна – исполняющая обязанности старшего научного сотрудника Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева. Адрес: 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; e-mail: svetlana2003@mail.ru

Чипига Лариса Александровна – инженер-исследователь Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева. Адрес: 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; e-mail: larisa.chipiga@gmail.com

• **Балонов М.И., Голиков В.Ю., Звонова И.А., Кальницкий С.А., Репин В.С., Сарычева С.С., Чипига Л.А.** Современные уровни медицинского облучения в России // Радиационная гигиена. – 2015. – Т. 8, № 3. – С. 67–79.

Current levels of medical exposure in Russia

Balonov Mihail I. – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Radiation Hygiene Laboratory for Healthcare Bodies of Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev. (Mira street, 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; e-mail: m.balonov@mail.ru) (Address for correspondence)

Golikov Vladislav Ju. – Senior Researcher of Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev. (Mira street, 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; e-mail: sq135@rambler.ru)

Zvonova Irina A. – Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher of Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev. (Mira street, 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; e-mail: ir_zv@bk.ru)

Kal'nitskiy Sergej A. – Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher of Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev. (Mira street, 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; e-mail: kalnitsky@land.ru)

Repin Viktor S. – Doctor of Biological Sciences, Head of the Health Department of Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev. (Mira street, 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; e-mail: v.repin@mail.ru)

Sarycheva Svetlana S. – Candidate of Biological Sciences, Acting Senior Researcher of Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev. (Mira street, 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; e-mail: svetlana2003@mail.ru)

Chipiga Larisa A. – Research Engineer of Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev. (Mira street, 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; e-mail: larisa.chipiga@gmail.com)

Abstract

We considered conditions of patients' medical radiation exposure in Russian diagnostic radiology and nuclear medicine basing on the data of our own research, of the Unified system of individual dose control and of some relevant literature. We analyzed the data on the number of diagnostic examinations, patients' individual and collective doses and their distribution by examination types. Time trends of the studied parameters are presented for the period between 1999 and 2013. Current level of Russian patients' medical exposure is the lowest over the whole observation period and one of the lowest among the developed countries. The annual number of X-ray diagnostic examinations is 1.8 per capita. In 2013 median effective dose of

✉ **Balonov Mihail I.**

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

Address for correspondence: Mira street, 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; e-mail: m.balonov@mail.ru

medical exposure per capita in Russia was 0.45 mSv and median dose per procedure was 0.25 mSv. The major contribution to collective dose of medical exposure was from computed tomography and radiography; the largest individual doses were caused by interventional radiology, computed X-Ray and nuclear medicine tomographic examinations. The range of median doses comprises about four orders of magnitude, i.e. from several microSv in dental X-ray examinations up to several tens of milliSv in interventional and multistage tomographic examinations. The median effective dose of adult patients increases by about an order of magnitude with each transition from dental X-ray examinations to conventional radiology and further to computed tomography and interventional radiology examinations. During interventional X-Ray examinations, absorbed skin doses at radiation beam entrance site may reach several Gray, which may lead to deterministic radiation effects in skin and subcutaneous tissues. Due to replacement of low-dose 'functional' nuclear medicine examinations with more informative modern scintigraphy and tomography examination, patient doses substantially increased over the last decade. With current trend for re-equipment of Russian diagnostic facilities with modern sophisticated equipment one may expect a substantial increase of diagnostic X-ray services, especially of computed tomography, and the associated increase of medical exposure in the coming years. In order to prevent increased medical radiation exposure of patients, which took place in some leading countries, it is necessary to pay attention to patient radiation protection, including justification of examinations and protection optimization. The priority issue is the patient protection at examinations with the increased radiation doses: interventional, computed tomography and radionuclide tomography, especially when combined with X-ray.

Key words: medical exposure, diagnostic radiology, nuclear medicine, computed tomography, patients, effective dose, radiation protection.

References

1. Mezhdunarodnaja komissija po radiacionnoj zashhite. Radiacionnaja zashhita v medicine [International Commission on Radiation Protection. Radiation Protection in Medicine]. Publikacija 105 MKRZ – Publication 105 MKRZ. Available at: <http://www.icrp.org/docs/P105Russian.pdf> or <http://niirg.ru/PDF/ICRP-105%20Ru.pdf>.
2. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Volume I, Annex A. Medical radiation exposures. – New York, UN, 2010.
3. Mezhdunarodnoe agentstvo po atomnoj jenergii. Radiologicheskaja zashhita pri medicinskom obluchenii ionizirujushhim izlucheniem [International Atomic Energy Agency. Radiological Protection for Medical Exposure to Ionizing Radiation]. Rukovodstvo po bezopasnosti RS-G-1.5 – Safety Guide RS-G-1.5, IAEA, Vienna. 2004, 99 p.
4. Ivanov S.I., Jakubovskij-Lipskij Ju.O., Bazjukin A.B. [et al.] Medicinskoe obluchenie naselenija Rossii 1980-1997: Spravochnik [Medical Irradiation of the Russian Population. 1980-1997], Saint-Petersburg, 2000, 527 p.
5. Metodicheskie rekomendacii. Zapolnenie form federal'nogo gosudarstvennogo statisticheskogo nabljudenija № 3-DOZ [Guideline. Filling out of federal state statistical forms 3-DOZ], Moscow, 2007, 23 p.
6. Svedenija o medicinskoj organizacii za 2013 g. po Rossii [Data on Russian Healthcare Institutions in 2013]. Statisticheskaja forma №30: utv. 14.01.13 – Statistical Form No 30: approved by the order of Rosstat dd 14.01.13, No13, 22 p.
7. Zdravoohranenie v Rossii. 2013 [Healthcare in Russia. 2013]. Statisticheskij sbornik – Statistical book, Moscow, Rosstat, 2014, 326 p.
8. Repin V.S., Baryshkov N.K., Bratilova A.A. [et al.] Dozy obluchenija naselenija Rossijskoj Federacii v 2013 godu [Russian Federation Population Irradiation Doses in 2013]. Informacionnyj sbornik – Information book, Saint-Petersburg, 2014, 60 p.
9. Smith-Bindman, R. Radiation Dose Associated With Common Computed Tomography Examinations and the Associated Lifetime Attributable Risk of Cancer/ R. Smith-Bindman, J. Lipson, R. Marcus [et al.]. //Arch intern med 169, No. 22, 2078-2086: 2009.
10. Barkovskij A.N., Baryshkov N.I., Kormanovskaja T.A. [et al.] Dozy obluchenija naselenija Rossijskoj Federacii v 1999-2012 godah [Russian Federation Population Irradiation Doses in 1999-2012]. Serija spravochnikov – Series of directories, Saint-Petersburg, 2000-2013.
11. Dubinkin, D.O. Razvitie jadernoju mediciny v RF. Medicina: celevye proekty [Development of Nuclear Medicine in the Russian Federation. Medicine], 2013, No 16, pp 71-74.
12. Federal'nyj zakon O radiacionnoj bezopasnosti naselenija ot 09.01.96 N 3-FZ (red. ot 19.07.2011) [Federal Law On Radiation Safety of the Population dd 09.01.96 No 3 FZ (edited on 19.07.2011)].
13. Mezhdunarodnaja komissija po radiacionnoj zashhite. Rekomendacii 2007 g. Mezhdunarodnoj komissii po radiacionnoj zashhite [International Commission on Radiological Protection. Recommendations of 2007 of the International Commission on Radiological Protection]. Publikacija 103 MKRZ – Publication 103 MKRZ, Moscow, FMBC named after A.I. Burnazjan, 2009.
14. Golikov V.Ju., Sarycheva S.S., Balonov M.I. [et al.] Ocenka doz obluchenija pacientov pri provedenii intervencionnyh rentgenologicheskikh issledovanij [Assessment of Patients' Irradiation Doses in Interventional Radiological Examinations]. Radiacionnaja gigiena -Radiation Hygiene, 2009, Vol. 2 No 3, pp. 26–31.
15. Golikov V.Ju., Balonov M.I., Kal'nickij S.A [et al.] Urovni obluchenija pacientov pri provedenii rentgenologicheskikh issledovanij v Sankt-Peterburge i Leningradskoj oblasti [Levels of Patients' Irradiation in Radiological Examinations in Saint-Petersburg and the Leningrad Region]. Radiacionnaja gigiena -Radiation Hygiene, 2011, Vol.4 No1, pp. 5-13.
16. Sarycheva, S. Studies of Patient Doses in Interventional Radiological Examinations/ S. Sarycheva, V. Golikov, S. Kalnicky//Radiation Protection Dosimetry 139(1-3), 258-261, 2010.
17. Sarycheva S.S. Radiacionnaja zashhita pacientov pri provedenii intervencionnyh rentgenologicheskikh issledovanij. Avtoref. diss. kand. biol. nauk [Radiation Protection of Patients in Interventional Radiological Examinations: author's abstract of a thesis of candidate of biology sciences], Saint-Petersburg, 2013, 21 p.
18. Bratilova A.A., Golikov V.Ju., Kal'nickij S.A. Urovni obluchenija pacientov pri provedenii rentgenovskoj komp'juternoj tomografii v medicinskih organizacijah sankt-Peterburga i Leningradskoj oblasti [Levels of Patients' Irradiation in X-ray Computed Tomography in the Healthcare Institutions of Saint-Petersburg and the Leningrad Region]. Radiacionnaja gigiena - Radiation Hygiene, 2014, Vol.7 No3, pp.33-38.

19. Zvonova I., Chipiga L., Balonov M. Nuclear Medicine Examinations of Children in Russia. Radiation Protection Dosimetry 165, 2015, No. 1–4, pp. 216–219
20. Balonov M.I., Golikov V.Ju., Zvonova I.A. [et al.] Sovershenstvovanie normativno-metodicheskoy bazy radiacionnoy zashhity pri provedenii medicinskih rentgenoradiologicheskikh issledovaniy [Improvement of Standard Methodical Datum of Radiation Protection in Nuclear Medical Imaging]. Zakljuchitel'nyy otchet FBUN NIIRG po kontraktu s FMBA № 81.003.14.2 ot 17.02.2014 – Final report of FBIS SRIRH under the contract with FMBA No 81.003.14.2 dd 17.02.2014, Saint-Petersburg, 2014, 472 p.
21. Metodicheskie rekomendacii. Ocenka radiacionnogo riska u pacientov pri provedenii rentgenoradiologicheskikh issledovaniy (MR 2.6.1. 0098-15) [Guideline. Assessment of Irradiation Risk in Patients in Nuclear Medical Imaging (MP 2.6.1. 0098-15)], Moscow, 2015, 34 p.
22. Golikov V.Ju., Barkovskij A.N., Baryshkov N.K. Ocenka jeffektivnyh doz obluchenija pacientov pri provedenii rentgenologicheskikh issledovaniy [Assessment of patients' effective irradiation doses in nuclear medical imaging]. Sbornik nauchnyh trudov Radiacionnaja gigiena – Proceedings collection Radiation hygiene, Saint-Petersburg, 2003, pp. 75-88.
23. Metodicheskie ukazaniya. Kontrol' jeffektivnyh doz obluchenija pacientov pri provedenii medicinskih rentgenologicheskikh issledovaniy (MU 2.6.1.2944-11) [Guideline. Control of Patients' Effective Irradiation Doses in Nuclear Medical Examinations (MU 2.6.1.2944-11)], Moscow, 2011, Federal Center of Hygiene and Epidemiology of Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, 32 p.
24. Metodicheskie ukazaniya. Ocenka i uchet jeffektivnyh doz u pacientov pri provedenii radionuklidnyh diagnosticheskikh issledovaniy (MU 2.6.1.3151-13) [Guideline. Assessment and Registration of Patients' Effective Irradiation Doses in Nuclear Medical Examinations (MU 2.6.1.3151-13)] – Moscow, Federal Center of Hygiene and Epidemiology of Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, 2013, 35 p.
25. Svedeniya o dozah obluchenija pacientov pri provedenii medicinskih rentgenoradiologicheskikh issledovaniy v Rossijskoj Federacii za 2013g: Forma 3-DOZ: utv. prikazom Rosstata 16.10.2013. №411 [Data on Patients' Irradiation Doses in Nuclear Medicine Imaging in the Russian Federation in 2013. Form 3-DOZ], Rosstat, 16.10.2013, No 411.
26. International Commission on Radiological Protection. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. ICRP Publication 85. Ann. ICRP 30, No 2: 2000.
27. European Commission. Radiation Protection 109. Guidance on Diagnostic Reference Levels (DRLs) for Medical Exposures. European Commission. Brussels, Luxembourg, 1999.
28. Metodicheskie rekomendacii. Primenenie referentnyh diagnosticheskikh urovnej dlja optimizacii radiacionnoy zashhity pacienta v rentgenologicheskikh issledovaniyah obshhego naznachenija (MR 2.6.1. 0066-12) [Guideline. Reference diagnostic levels for patient radiation protection optimization in general radiological imaging (MP 2.6.1. 0066-12)], Moscow, Federal Center of Hygiene and Epidemiology of Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being 2012. – 25 p.

• Balonov M.I., Golikov V.Ju., Zvonova I.A., Kal'nickij S.A., Repin V.S., Sarycheva S.S., Chipiga L.A. Sovremennyye urovni medicinskogo obluchenija v Rossii [Current levels of medical exposures in Russia]. Radiacionnaja gigiena - Radiation Hygiene, 2015, Vol. 8, No 3, p. 67-79..