

Разработка и обоснование метода представления радиационных рисков, связанных с медицинским облучением пациентов

Л.В. Репин, Р.Р. Ахматдинов, А.М. Библин, Н.М. Вишнякова

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

При обосновании проведения диагностических рентгенологических исследований и оптимизации радиационной защиты пациентов при медицинском облучении применяется методология оценки радиационных рисков. Практическая реализация рискованного подхода зачастую уходит в одну из двух крайностей: либо чрезмерное упрощение методологии, либо чрезмерное же ее усложнение. Примером чрезмерно упрощенного подхода является оценка радиационного риска пациентов с помощью эффективной дозы и коэффициентов радиационного ущерба (коэффициентов номинального риска), приведенных в НРБ-99/2009. Примером необоснованно детализированного подхода можно считать таблицы 1–2, приведенные в МР 2.6.1.0215-20 «Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенодиагностических исследований», в которых указаны «значения пожизненного риска смерти с учетом вреда от снижения качества жизни по причине рака различных органов и тканей и наследственных эффектов при проведении медицинских исследований» для большого перечня медицинских диагностических рентгенодиагностических исследований в пятилетних половозрастных группах пациентов. Главными недостатками упрощенного подхода можно считать отсутствие различий в оценке риска у лиц различного пола и возраста, хотя факт более высокой радиочувствительности у детей по сравнению со взрослыми и у женщин по сравнению с мужчинами можно считать общепризнанным. Подход к оценке риска, предложенный в МР 2.6.1.0215-20, лишен указанных недостатков. Однако, на взгляд авторов настоящего исследования, предлагает неоправданно детализированную картину с учетом неопределенностей, присущих оценкам риска в диапазоне малых доз, а также неопределенностям метода межпопуляционного переноса радиационного риска, предложенного Международной комиссией по радиологической защите. Цель настоящего исследования заключалась в разработке и обосновании более простого и наглядного метода представления информации о радиационных рисках, связанных с проведением медицинских рентгенодиагностических исследований, лишенного основных недостатков двух вышеуказанных методов. Для достижения указанной цели был осуществлен расчет радиационных рисков по двум методикам (с использованием эффективной дозы и с использованием модели риска Международной комиссии по радиологической защите). Был проведен сравнительный анализ результатов расчета с оценками, представленными в таблицах 1–2 МР 2.6.1.0215-20. В результате проведенного анализа был разработан оригинальный прикладной метод наглядного представления качественной характеристики радиационных рисков для использования при назначении рентгенодиагностических исследований и информировании пациентов о возможном риске для здоровья. Практический выход исследования заключается в формировании таблицы радиационных рисков, связанных с проведением исследований пациентам из российской популяции, с использованием разработанного метода представления информации о радиационных рисках.

Ключевые слова: радиационный риск, эффективная доза, медицинское облучение, радиационный ущерб, рентгенологические исследования, информирование пациента.

Введение

В основе современной системы радиационной защиты лежит т.н. линейная беспороговая гипотеза, предполагающая отсутствие минимального дозового порога индукции стохастических эффектов облучения у человека [1] и линейную зависимость суммарного вреда для здоровья, связанного с воздействием ионизирующих излучений (далее – ИИ), от дозы облучения. Такой подход применяется для управления рисками в диапазоне малых и очень малых доз [2] и/или малых мощностей доз облучения.

Расширение сфер использования ИИ в различных областях деятельности человека потребовало разработ-

ки эффективных методов учета и контроля доз облучения населения, пригодных для управления рисками для здоровья, т.е. для их снижения до «приемлемого» уровня. И одной из важнейших прикладных задач, решенных в 80-х годах прошлого века, стала разработка обобщенного показателя, пригодного для использования в качестве меры риска при различных сценариях воздействия малых доз ИИ на человека.

Таким показателем стала эффективная доза. К достоинствам эффективной дозы относятся такие ее особенности, как простота вычисления, универсальность использования и аддитивность значений. Эффективная доза позволяет сравнивать отсроченные вероятностные

Репин Леонид Викторович

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: l.repin@niirg.ru

негативные последствия облучения для здоровья различных групп населения, независимо от ситуации, геометрии и сценария облучения, а также категории облучаемых лиц. При этом вычисление эффективной дозы связано с простейшими арифметическими действиями при известных органных дозах.

Платой за удобство, универсальность и простоту эффективной дозы являются математическая нестрогость ее вычисления, сложность величины для понимания и как следствие – ошибочная оценка ее прогнозного значения. Кроме того, эффективная доза дает смещенные оценки риска при строго неравномерном облучении (таком, например, как медицинское облучение пациентов) и не учитывает изменений в картинах заболеваемости и смертности, продолжительности жизни и уровнях летальности онкологических заболеваний, произошедших за последние 30-40 лет, а изменения эти весьма существенно могут влиять на оценки риска.

За последние годы предпринимались многочисленные попытки усовершенствовать методы использования эффективной дозы при решении отдельных задач по управлению рисками, путем добавления корректирующих множителей для различных групп облучаемых лиц и т.п. [3]. Иногда предлагается и вовсе пересмотреть подходы к обеспечению радиационной безопасности населения [4]. Отдельно следует отметить попытки расчета показателей риска по методике Международной комиссии по радиологической защите (далее – МКРЗ), но вычисленных с использованием актуальных национальных медико-демографических данных [2, 5-7].

Основная цель количественной оценки радиационных рисков заключается в управлении указанными рисками при различных ситуациях и сценариях облучения. В настоящей работе сделан упор на практическое применение результатов оценки радиационного риска, связанного с проведением медицинских рентгенологических исследований. Актуальность исследования обусловлена стремительным развитием лучевых методов медицинской диагностики и ростом вклада медицинского облучения в годовую коллективную дозу облучения в Российской Федерации. Медицинское облучение носит, как правило, острый характер, а некоторые виды исследований связаны с получением сравнительно высоких доз облучения (хоть и относящихся по большей части к диапазону «малых доз»).

В работе предпринята попытка компактного представления половозрастной дифференциации рисков, связанных с медицинским облучением пациентов. Результаты представления рисков можно использовать для целей обоснования назначения исследований, при котором ожидаемая польза должна превышать возможный вред для пациента, а также для целей информирования пациентов и/или их законных представителей о риске для здоровья, связанном с проведением исследования.

Цель исследования – обоснование способа представления информации о радиационных рисках, связанных с выполнением медицинских рентгенологических исследований.

Задачи исследования

1. Выполнен расчет значений показателей радиационного риска, связанного с выполнением медицинских рентгенорадиологических исследований.
2. Осуществлен сравнительный анализ результатов расчета с оценками, полученными по иным методикам.
3. Разработан метод представления результатов качественной оценки риска с помощью двумерной цветовой графической шкалы.
4. Сформирована таблица половозрастной дифференциации радиационных рисков, связанных с проведением медицинских рентгенорадиологических исследований пациентам из российской популяции.

Материалы и методы

В качестве показателя риска, используемого для сравнительного анализа в рамках настоящей работы, применяется пожизненный риск смерти с учётом вреда от снижения качества жизни по причине рака различных органов и тканей и наследственных эффектов при проведении медицинских исследований, использованный для оценки риска в МР 2.6.1.0215-20 «Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований»¹.

Для расчета значений показателей радиационного риска применена методика, описанная в Публикации 152 МКРЗ [8]. Значения показателей риска вычислялись для органных доз, рассчитанных с использованием программного обеспечения РСХМС 2.0 [9] на основе протоколов рентгенорадиологических исследований, собранных специалистами ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева в больницах Санкт-Петербурга в 2015-2018 гг. [10, 11]. Риски возникновения радиогенных злокачественных новообразований (ЗНО) рассчитывались по моделям абсолютного и относительного риска для мужчин и женщин. В расчетах использовались дозы на следующие органы/ткани для мужчин и женщин: пищевод, желудок, толстая кишка, печень, легкие, мочевой пузырь, щитовидная железа, красный костный мозг. Для женщин дополнительно оценивались риски возникновения ЗНО яичников и молочной железы. Для мужчин и женщин отдельно оценивался риск возникновения ЗНО в категории «другие солидные ЗНО» путем усреднения органных доз на 13 органов в соответствии с рекомендациями Публикации 152 МКРЗ [8].

Средние значения органных доз, использованные при оценке радиационных рисков, были рассчитаны для 4 возрастных групп пациентов: 0–4 года, 5–9 лет, 10–14 лет и «взрослые». Для некоторых видов исследований младшая возрастная группа была разбита на два диапазона: до 1 года, от 1 до 5 лет.

Межпопуляционный перенос риска на российскую популяцию осуществлялся с использованием российских медико-демографических данных за 2018 г. [12, 13]. Взвешивание оценок риска, полученных по моделям абсолютного и относительного риска, осуществлялось с использованием взвешивающих коэффициентов, рекомендованных МКРЗ [8].

¹ В методике расчета рисков, использованной в настоящей работе, не учитывался вклад наследственных эффектов в суммарный вред, что не оказывает влияния на результаты и выводы работы, т.к. вклад наследственных эффектов в суммарный вред не превышает 2,3-3,6%.

Таблица 1

Значения риска с учетом вреда от снижения качества жизни при лучевой диагностике у мужчин российской популяции, рассчитанные по трем различным методикам

[Table 1

Risk values, taking into account the harm from reduced quality of life from radiation diagnostics in the Russian male population, calculated according to three different methods]

Исследование [Examination]	МВ [CM]	Возрастная категория, лет [Age category, years]							
			0-4	5-9	10-14	20-24	50-54	70-74	80-84
		0	1	5	10	20	50	70	80
РГ ОГК [Chest X-ray]	МР [MR]		3,50E-06	3,70E-06	3,00E-06	6,90E-06	4,60E-06	1,70E-06	8,00E-07
	ЭД [ED]	3,41E-06	3,17E-06	5,59E-06	5,57E-06	8,01E-06			
	НИ [ICRP]	2,96E-06	2,20E-06	3,25E-06	2,37E-06	5,08E-06	4,04E-06	1,89E-06	6,31E-07
РГ ГОП [Tho- racic spine X- ray]	МР [MR]		1,60E-05	2,00E-05	1,90E-05	3,10E-05	2,00E-05	7,00E-06	3,00E-06
	ЭД [ED]	8,66E-06	1,72E-05	2,69E-05	3,16E-05	3,83E-05			
	НИ [ICRP]	6,88E-06	1,19E-05	1,59E-05	1,52E-05	2,39E-05	1,92E-05	9,01E-06	3,00E-06
ИРЛИ (сосу- ды сердца) [Interventional cardiac vascular examina- tions]	МР [MR]	Н/Д	2,70E-04	2,20E-04	3,50E-04	8,90E-04	6,20E-04	2,60E-04	1,20E-04
	ЭД [ED]	5,06E-04	3,35E-04	2,66E-04	3,23E-04	8,35E-04			
	НИ [ICRP]	3,14E-04	2,06E-04	1,33E-04	1,72E-04	5,87E-04	4,56E-04	2,20E-04	7,80E-05
РС желудка [Stomach fluoroscopy]	МР [MR]		5,70E-05	4,00E-05	5,10E-05	3,30E-04	1,30E-04	3,60E-05	1,50E-05
	ЭД [ED]	6,93E-05	6,56E-05	4,05E-05	6,37E-05	3,09E-04			
	НИ [ICRP]	6,38E-05	6,37E-05	2,58E-05	3,95E-05	2,85E-04	1,26E-04	4,28E-05	1,23E-05
КТ ОБП (кон- траст) [Contrast Ab- dominal CT]	МР [MR]		7,20E-04	7,80E-04	8,20E-04	1,00E-03	4,20E-04	1,20E-04	5,00E-05
	ЭД [ED]	4,43E-04	5,38E-04	6,63E-04	7,55E-04	1,01E-03			
	НИ [ICRP]	5,62E-04	6,33E-04	6,32E-04	6,94E-04	9,50E-04	4,14E-04	1,36E-04	3,66E-05
СЦГ почек ^{99m} Tc-пентатех [Kidney ^{99m} Tc- DPTA scintig- raphy]	МР [MR]		1,80E-05	1,60E-05	1,70E-05	1,90E-05	9,30E-06	2,80E-06	1,10E-06
	ЭД [ED]	2,64E-05	2,64E-05	2,31E-05	2,59E-05	3,01E-05			
	НИ [ICRP]	1,67E-05	1,62E-05	1,62E-05	1,53E-05	2,20E-05	1,43E-05	5,92E-06	1,73E-06
СЦГ тела ¹²³ I- МИБГ [WB ¹²³ I- MIBG scintig- raphy]	МР [MR]		2,80E-04	2,00E-04	1,50E-04	1,30E-04	5,80E-05	1,80E-05	7,10E-06
	ЭД [ED]	2,62E-04	2,62E-04	2,04E-04	1,79E-04	1,33E-04			
	НИ [ICRP]	2,89E-04	2,77E-04	1,91E-04	1,49E-04	1,28E-04	6,66E-05	2,53E-05	7,51E-06
СЦГ печени ^{99m} Tc- технефит [Liver ^{99m} Tc- labelled large colloids scin- tigraphy]	МР [MR]	Н/Д	1,20E-04	6,80E-05	6,50E-05	6,60E-05	2,90E-05	9,90E-06	4,60E-06
	ЭД [ED]	1,10E-04	1,10E-04	5,28E-05	6,93E-05	6,77E-05			
	НИ [ICRP]	1,30E-04	1,22E-04	4,98E-05	5,62E-05	5,72E-05	2,23E-05	6,90E-06	1,88E-06
СЦГ ЩЖ ^{99m} Tc- пертехнетат [Thyroid ^{99m} Tc- pertechnetate scintigraphy]	МР [MR]		1,30E-04	7,40E-05	4,80E-05	6,00E-05	2,50E-05	7,40E-06	3,10E-06
	ЭД [ED]	2,61E-04	2,61E-04	1,73E-04	1,22E-04	1,33E-04			
	НИ [ICRP]	1,41E-04	1,35E-04	7,67E-05	4,47E-05	5,23E-05	2,31E-05	7,91E-06	2,24E-06
ПЭТ/КТ тела ¹⁸ F-ФДГ [WB ¹⁸ F-FDG PET/CT]	МР [MR]		1,30E-03	1,00E-03	9,00E-04	7,10E-04	3,50E-04	1,20E-04	5,10E-05
	ЭД [ED]	5,23E-04	5,23E-04	4,62E-04	4,07E-04	2,34E-04			
	НИ [ICRP]	4,76E-04	4,55E-04	3,47E-04	2,76E-04	1,81E-04	1,11E-04	4,56E-05	1,38E-05
ПЭТ/КТ ГМ ¹¹ C-метинин [Brain ¹¹ C- methionine PET/CT]	МР [MR]	Н/Д	5,20E-04	4,40E-04	4,20E-04	3,30E-04	1,70E-04	6,50E-05	3,20E-05
	ЭД [ED]	2,59E-04	2,59E-04	2,75E-04	2,64E-04	2,02E-04			
	НИ [ICRP]	3,29E-04	3,12E-04	2,66E-04	2,26E-04	1,94E-04	1,12E-04	4,42E-05	1,28E-05

В таблице использованы следующие сокращения:

МВ – методика вычисления; МР – значения получены с использованием МР 2.6.1.0215-20; ЭД – значения получены с использованием эффективной дозы и коэффициентов номинального риска развития ЗНО; НИ – значения получены с использованием модели Публикации 152 МКРЗ; РГ – Рентгенография; ГОП – грудной отдел позвоночника; ОГК – органы грудной клетки; ИРЛИ – интервенционные рентгенологические исследования; РС – рентгеноскопия; КТ – компьютерная томография; ОБП – органы брюшной полости; СЦГ – скintiграфия; МИБГ – метайодбензилгуанидинин; ЩЖ – щитовидная железа; ФДГ – фтордезоксиглюкоза; ГМ – головной мозг.

[The following abbreviations are used in the table:

CM – calculation methodology; MR – values obtained using MR 2.6.1.0215-20; ED – values obtained using effective dose and nominal risk coefficients for malignant neoplasms; ICRP – values obtained using the ICRP Publication 152 model; CT – computed tomography; WB – whole body.]

Значения показателя REIC² рассчитывались отдельно для пациентов мужского и женского пола следующих возрастов на момент проведения исследований: 0 лет, 1 год, а также от 5 до 80 лет включительно с шагом в 5 лет. В результате выполнения расчетов были получены значения REIC для 36 половозрастных групп пациентов (по 18 возрастных групп пациентов мужского и женского пола).

Значения риска с учетом вреда от снижения качества жизни по причине рака рассчитаны по модели МКРЗ [8] на основании полученных значений REIC с использованием российских данных об уровнях пятилетней онкологической выживаемости [13].

Для оценки риска с использованием эффективной дозы применялись коэффициенты риска из Норм радиационной безопасности НРБ-99/2009³ для группы «все население» применительно к пациентам моложе 20 лет и для группы «персонал» применительно к лицам 20 лет и старше. Подобный подход используется исключительно в справочных целях и позволяет избежать существенной переоценки рисков у взрослого населения, т.к. значения коэффициентов номинального риска для группы «персонал» рассчитаны только для взрослого населения, тогда как коэффициенты риска для группы «все население» включают и оценки рисков у детей. При наличии только двух коэффициентов номинального риска подобная упрощенная методика представляется вполне оправданной для целей настоящей работы, т.к. предоставляет дополнительную информацию для анализа.

Расчеты выполнены с использованием специально разработанной программы на языке Wolfram [20].

Результаты и обсуждение

В результате выполнения расчетов были получены значения риска с учетом вреда от снижения качества жизни при лучевой диагностике у пациентов российской популяции, частично представленные в таблице 1 для пациентов мужского пола. В рамках настоящей статьи данные приведены выборочно, т.к. объем сводной таблицы достаточно велик.

Для удобства сопоставления значений риска использована цветовая шкала из МР 2.6.1.0215-20, соответствующая аналогичным группам риска.

В таблице 1 частично представлены результаты расчета и классификации значений риска с учетом вреда от снижения качества жизни при проведении лучевой диагностики у мужчин российской популяции. Для каждого вида рентгенодиагностических исследований значения риска рассчитаны тремя различными способами и представлены в трех строках, обозначенных «МР» (значения риска взяты из МР 2.6.1.0215-20 «Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенодиагностических исследований»), «ЭД» (значения получены с использованием эффективной дозы и коэффициентов номинального риска развития ЗНО) и «НИ» (методика настоящего исследования).

При анализе результатов расчета принимались во внимание следующие соображения:

1. оценка риска с помощью эффективной дозы не учитывает снижения риска у взрослых с возрастом;

2. более низкие значения риска в самых старших возрастных группах в значительной степени связаны с методикой расчета (т.к. большинство медико-демографических данных приводятся для категории «старше 85 лет» без детализации), с меньшим сроком реализации риска и с тем, что реализация радиогенных ЗНО возможна лишь по прошествии минимального латентного периода, что в старших возрастных группах превышает и ожидаемую продолжительность жизни, и максимальный возраст для расчета показателей.

С учетом указанных оговорок, в результате анализа результатов расчета, были сделаны следующие выводы:

1. для подавляющего большинства исследований различные методики расчета не демонстрируют существенных для целей оценки различий в классификации риска по качественным шкалам;

2. в отдельных случаях значение риска, оцененное по одной из методик, может попадать в иную категорию по сравнению с оценками по другим методикам, однако за рядом исключений это связано с близостью полученных значений к границам диапазона риска;

3. при оценке риска по методикам МР и НИ использование медико-демографических данных, а также данных об уровнях летальности онкологических заболеваний за различные календарные годы может приводить к некоторым отличиям в оценках, поэтому буквальное восприятие численных оценок риска с учетом неопределенностей, присущих указанным методикам, не способствует повышению качества принимаемых на основе этих оценок решений и может игнорироваться при решении практических задач.

В связи с вышесказанным авторами был разработан альтернативный подход к представлению результатов оценки рисков на основании сделанных расчетов. Предлагаемый способ представления разработан с учетом консервативного подхода, т.е. округления рисков в большую сторону, и представляется существенно более практичным.

Для качественной классификации рисков использованы обозначения, представленные в таблице 2.

Таблица 2

Классификация и обозначение диапазонов риска

[Table 2]

Classification and labeling of risk ranges

Категория риска [Risk category]	Диапазон рисков [Risks range]	Обозначение диапазона [Range designation]
Пренебрежимый [Negligible]	$<10^{-6}$	
Минимальный [Minimal]	$10^{-6}-10^{-5}$	
Очень низкий [Very low]	$10^{-5}-10^{-4}$	 
Низкий [Low]	$10^{-4}-10^{-3}$	  
Умеренный [Moderate]	$10^{-3}-3 \times 10^{-3}$	  

Пример представления результатов оценки риска см. в таблице 3. В указанной таблице представлены оценки

² Risk of Exposure-Induced Cancer (риск развития рака, вызванного облучением – англ.). Данный показатель пожизненного риска используется МКРЗ в качестве основы для расчета показателей популяционного риска и показателя радиационного ущерба.

³ Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09. Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 07.07.2009 № 47 (зарегистрировано в Министерстве юстиции Российской Федерации 14.08.2009, регистрационный № 14534). [Norms of radiation safety (NRB-99/2009). Sanitary rules and norms SanPiN 2.6.1.2523-09. Approved by the resolution of the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation of 07.07.2009 No. 47 (registered with the Ministry of Justice of the Russian Federation on 14.08.2009, registration No. 14534). (In Russ.)]

Представление радиационных рисков, связанных с проведением медицинских рентгенорадиологических исследований

[Table 3]

Presentation of radiation risks associated with medical X-ray examinations]

Исследование [Examination]		Возраст перехода в категорию риска, лет [Risk category change, years]																																															
		Мужчины [Males]																								Женщины [Females]																							
		Дети [Children]					Взрослые [Adults]																			Дети [Children]					Взрослые [Adults]																		
Возраст пациента [Patient's age]:		0	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	0	1	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80												
РЕНТГЕНОГРАФИЯ [X-RAY EXAMINATIONS]	РГ Череп [Head]					☢						45									☢☢☢				18		☢			55																			
	РГ ОГК [Chest]										☢										☢☢☢						35																						
	РГ ШОП [Cervical spine]					☢						45									☢☢☢					30		☢			60																		
	РГ ГОП [Thoracic spine]								☢☢☢								70		☢									☢☢																					
	РГ ПОП [Lumbar]								☢☢☢								70		☢									☢☢						75		☢													
	РГ БП [Abdominal]								☢☢☢								65		☢										☢☢☢				65		☢														
	РГ таза [Pelvis]						☢☢☢							55					☢							☢☢☢					55			☢															
ФЛГ [FLG]	ФЛГ цифровая [Digital]			—					18		☢☢☢			55				☢			—							☢					70																
	ФЛГ пленочная [Screen-film]			—					18		☢☢			25				☢			—							☢☢☢					70		☢														
ИРЛ [IR]	Сосуды сердца [Cardiac vessels]										☢☢☢☢										☢☢☢							☢☢☢☢																					
РС [FS]	РС Желудка [Stomach]				☢☢☢			18			☢☢☢☢☢			60				☢☢☢			☢☢☢☢						☢☢☢☢					65		☢☢☢☢															
	РС Пищевода [Oesophagus]	—		5							☢☢☢						75		☢		—		5	☢☢☢☢☢			35						☢☢☢																
	Ирригоскопия [Irrigoscopy]	—		5		☢☢		18		☢☢☢☢☢			50				☢☢☢☢			—		5	☢☢☢☢☢			18		☢☢☢☢☢			50			☢☢☢☢															
КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ [COMPUTED TOMOGRAPHY]	КТ Головы [Head CT]																70		☢					☢☢☢☢☢			18						75		☢☢☢☢														
	КТ ОГК [Chest CT]							☢☢☢☢☢					50				☢☢☢☢								☢☢☢☢☢							65		☢☢☢☢☢															
	КТ ОБП [Abdominal CT]							☢☢☢☢☢						60			☢☢☢☢								☢☢☢☢☢							65		☢☢☢☢☢															
	КТ ОГК (с контрастом) [Chest CT (with contrast)]							☢☢☢☢☢									70		☢☢					☢☢☢☢☢☢☢			☢☢☢☢☢☢☢					25		☢☢☢☢☢☢☢															
	КТ ОБП (с контрастом) [Contrast Abdominal CT]							☢☢☢☢☢									75		☢☢					☢☢☢☢☢☢☢			☢☢☢☢☢☢☢			35			☢☢☢☢☢☢☢																
	КТ всего тела [WB CT]							☢☢☢☢☢									70		☢☢					☢☢☢☢☢☢☢			☢☢☢☢☢☢☢			18		☢☢☢☢☢☢☢		75	☢☢☢☢☢☢☢														
СЦИНТИГРАФИЯ [SCINTIGRAPHY]	СЦГ почек ^{99m} Tc-пентатех [Kidney ^{99m} Tc-DPTA]							☢☢☢								65		☢									☢☢☢					65		☢															
	СЦГ почек ^{99m} Tc-технемар [Kidney ^{99m} Tc-MAG3]							☢☢☢									70		☢								☢☢☢					75		☢															
	СЦГ почек ¹²³ I-гиппуран [Kidney ¹²³ I-hippuran]				☢☢☢								30				☢										☢☢☢					25			☢														
	СЦГ тела ¹²³ I-МИБГ [WB ¹²³ I-MIBG]				☢☢☢☢☢												35									☢☢☢☢☢					40			☢☢☢☢☢															
	СЦГ тела ⁶⁷ Ga-цитрат [WB ⁶⁷ Ga-citrate]	—		5					☢☢☢☢☢									75		☢☢							☢☢☢☢☢☢☢					25		☢☢☢☢☢☢☢															
	СЦГ скелета ^{99m} Tc-фосфаты [Skeleton ^{99m} Tc-phosphates]			☢☢☢☢☢				18						☢☢☢													☢☢☢☢☢					18			☢☢☢☢☢														
	СЦГ печени ^{99m} Tc-бромезида [Liver ^{99m} Tc-IDA]			☢☢☢☢☢				18						☢☢☢				75		☢☢							☢☢☢☢☢					18		☢☢☢☢☢		70	☢☢☢☢☢												
	СЦГ печени ^{99m} Tc-технефит [Liver ^{99m} Tc-labelled large colloids]			☢☢☢														70		☢☢							☢☢☢☢☢					70		☢☢☢☢☢															
	СЦГ легких ^{99m} Tc-макротех [Lung ^{99m} Tc-MAA scintigraphy]																											☢☢☢☢☢																					
	СЦГ ЩЖ ^{99m} Tc-пертехнетат [Thyroid ^{99m} Tc-pertechnetate]			☢☢☢					5										70		☢☢							☢☢☢☢☢					15		☢☢☢☢☢☢☢		18	☢☢☢☢☢☢☢											
	СЦГ ЩЖ ¹²³ I-NaI [Thyroid ¹²³ I-NaI]			☢☢☢					10					☢☢☢☢				35		☢☢☢								☢☢☢☢☢					10		☢☢☢☢☢☢☢		30	☢☢☢☢☢☢☢											
ПЭТ/КТ [PET/CT]	ПЭТ/КТ всего тела ¹⁸ F-ФДГ [WB PET/CT with ¹⁸ F-FDG]																	55		☢☢☢☢													65		☢☢☢☢☢☢☢														
	ПЭТ/КТ ГМ ¹¹ C-метионин [Brain PET/CT with ¹¹ C-]																	55																60		☢☢☢☢☢☢☢													
	ПЭТ/КТ ГМ ¹⁸ F-ФДГ [Brain PET/CT with ¹⁸ F-FDG]																											☢☢☢☢☢☢☢					35			☢☢☢☢☢☢☢													

рисков отдельно для мужчин и женщин двух возрастных категорий: «дети» и «взрослые». Оценки представлены для 33 видов рентгенорадиологических исследований. Поскольку для большинства исследований с возрастом оценки риска смещаются в диапазон более низкого риска, в ячейках указывается возраст, после которого риск переходит в такую категорию. При этом для нескольких видов исследований категория риска не меняется с возрастом или меняется более одного раза. Следует отметить, что переход из одной категории риска в другую зависит от множества индивидуальных факторов, таких, как состояние здоровья, наследственность и т.п., поэтому переходный диапазон возрастов выделен градиентом на фоне. Однако во многих случаях указана строгая граница между детьми и взрослыми, т.к. разница в рисках обусловлена различием параметров проведения исследований у детей и взрослых.

Пример работы с таблицей: при выполнении сцинтиграфии легких с использованием ^{99m}Tc -макротех оценка риска для всех четырех половозрастных групп на всем диапазоне возрастов относится к категории очень низкого риска, тогда как при выполнении сцинтиграфии щитовидной железы с препаратом ^{123}I -NaI и у мужчин, и у женщин изменение категории риска в зависимости от возраста происходит по 3 раза. Так, у девочек в возрасте 10 лет категория риска меняется с умеренного на низкий, а у взрослых женщин в возрасте 30 лет категория риска меняется с низкого на минимальный, а в возрасте 55 лет на пренебрежимый.

Предлагаемый подход к представлению риска не создает обманчивого впечатления о точности количественной оценки радиационных рисков и при этом дает практический инструмент оценки риска, объем которого в несколько раз меньше использованного в МР2.6.1.0215-20. Разработанный способ представления данных, с одной стороны, позволяет адекватно оценить половозрастные различия в рисках, связанных с проведением медицинских рентгенорадиологических диагностических исследований, а с другой стороны, не перегружен лишней информацией, препятствующей ее адекватному восприятию, и представляется более удобным для практического использования.

Заключение

В рамках настоящего исследования были получены и проанализированы оценки радиационных рисков, связанных с проведением медицинских рентгенорадиологических исследований. В результате анализа результатов оценки риска по трем различным методикам с использованием органных доз российских пациентов и новейшей модели радиационного риска, опубликованной Международной комиссией по радиологической защите, был разработан способ компактного представления результатов оценки радиационных рисков, и сформирована таблица с результатами качественной оценки рисков для пациентов различного пола и возраста на момент проведения исследований. Разработанный метод представления результатов оценки риска предоставляет широкие возможности для использования медицинскими специалистами при назначении исследований и информировании пациентов и/или их законных представителей о риске для здоровья, связанном с рекомендуемым методом исследования.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Репин Л.В. – разработал дизайн исследования, определил цели и задачи, осуществлял расчеты значений показателя радиационного ущерба, подготовил черновики рукописи.

Ахматдинов Р.Р. – провел поиск и анализ литературных данных, создал иллюстрации, редактировал промежуточный вариант рукописи.

Библин А.М. – провел поиск и анализ литературных данных, редактировал промежуточный вариант рукописи, подготовил окончательный вариант рукописи.

Вишнякова Н.М. – провела анализ литературных данных, редактировала промежуточный вариант рукописи.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об источнике финансирования

Статья подготовлена в рамках выполнения НИР «Разработка и научное обоснование прикладных методов оценки радиационных рисков для здоровья населения при различных ситуациях и сценариях облучения на основе современных подходов к оценке радиационного ущерба».

Литература

1. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103 // Annals of the ICRP. 2007. Vol. 37, No 2-4. P. 332.
2. Репин Л.В., Ахматдинов Р.Р., Библин А.М. и др. Характеристика радиационного риска от рентгеноскопических исследований путем оценки числа потерянных лет здоровой жизни // Радиационная гигиена. 2024. Т. 17, № 1. С. 7–17. DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-1-7-17.
3. Голиков В.Ю. Оценка радиационного риска, обусловленного проведением медицинских исследований в Российской Федерации с учетом половозрастного состава пациентов // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 1. С. 59-67. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-1-59-67.
4. Иванов В.К., Цыб А.Ф., Панфилов А.П. и др. Оптимизация радиационной защиты: «дозовая матрица». М.: Медицина, 2006. 304 с.
5. Репин Л.В., Ахматдинов Р.Р., Библин А.М. и др. Характеристика радиационного риска, связанного с проведением компьютерной томографии, для российских пациентов, путем оценки числа потерянных лет здоровой жизни // Радиационная гигиена. 2023. Т. 16, № 3. С. 37-45 DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-3-37-45.
6. Горский А.И., Чекин С.Ю., Максюттов М.А. и др. Эффект переноса моделей радиационного риска МКРЗ на популяцию РФ // Радиация и риск. 2019. Т. 28, № 4. С. 5-15. DOI: 10.21870/0131-3878-2019-28-4-5-15.
7. Голиков В.Ю., Водоватов А.В., Чипига Л.А. и др. Оценка радиационного риска у пациентов при проведении медицинских исследований в Российской Федерации // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 3. С. 56-68. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-3-56-68.
8. Radiation detriment calculation methodology. ICRP Publication 152 // Annals of the ICRP. 2022. Vol. 51, No 3. P. 103.
9. Tapiovaara M., Siiskonen T. PCXMC: A Monte Carlo program for calculating patient doses in medical X-ray examinations. 2nd Ed. STUK: FinalInd, 2008.
10. Водоватов А.В., Голиков В.Ю., Камышанская И.Г. и др. Определение коэффициентов перехода от произведения дозы на площадь к эффективной дозе для рентгеноскопических исследований желудка с бариевым контрастом для взрослых пациентов // Радиационная гигиена. 2018. Т. 11, № 1. С. 93-100. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-1-93-100.
11. Vodovatov A., Golikov V., Kamyschanskaya I. et al. Estimation of the effective doses from typical fluoroscopic examinations with barium contrast // Radiation Protection Dosimetry. 2021. Vol. 195, No 3-4. P. 264-272. DOI: 10.1093/rpd/ncab059.

12. Злокачественные новообразования в России в 2018 году (заболеваемость и смертность) / под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, Г.В. Петровой. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2019. 250 с.

13. Состояние онкологической помощи населению России в 2018 году / под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, Г.В. Петровой. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2019. 236 с.

Поступила: 18.07.2024

Репин Леонид Викторович – младший научный сотрудник информационно-аналитического центра Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: l.repin@niirg.ru

ORCID: 0000-0002-4857-6792

Ахматдинов Рустам Расимович - ведущий инженер-исследователь информационно-аналитического центра Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

ORCID: 0000-0002-4151-5380

Библин Артем Михайлович – старший научный сотрудник, руководитель информационно-аналитического центра Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

ORCID: 0000-0002-3139-2479

Вишнякова Надежда Михайловна - заместитель директора по научной работе Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Для цитирования: Репин Л.В., Ахматдинов Р.Р., Библин А.М., Вишнякова Н.М. Разработка и обоснование метода представления радиационных рисков, связанных с медицинским облучением пациентов // Радиационная гигиена. 2024. Т. 17, № 3. С. 49–56. DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-3-49-56

Development and justification of a method for presenting radiation risks associated with medical exposure of patients

Leonid V. Repin, Rustam R. Akhmatdinov, Artem M. Biblin, Nadezhda M. Vishnyakova

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

The practical implementation of radiation protection principles in the medical exposure of patients often tends to fall into one of two extremes: either excessive simplification of the methodology for assessing radiation health detriment, or its excessive complexity. An example of an excessively simplified approach is the assessment of radiation risk to patients using effective dose and radiation damage coefficients (nominal risk coefficients) as presented in Norms of the Radiation Safety NRB-99/2009. An example of an unjustifiably complex approach can be considered Tables 1-2 in MR 2.6.1.0215-20 "Assessment of radiation risk to patients during X-ray diagnostic radiological examinations," which indicate "lifetime risk values of death taking into account harm from reduced quality of life due to cancer of various organs and tissues and genetic effects from medical examinations" for a wide range of medical diagnostic X-ray radiological examinations in five-year age groups of patients. The main shortcomings of the simplified approach can be considered the lack of differences in risk assessment between individuals of different sexes and ages, although the fact of higher radiosensitivity in children compared to adults and in women compared to men can be considered universally recognized. The risk assessment approach proposed in MR 2.6.1.0215-20 addresses these shortcomings. However, in the view of the authors of this study, it offers an unnecessarily detailed picture considering uncertainties inherent in risk assessments at low doses, as well as uncertainties in the method of interpopulation transfer of radiation risk proposed by the International Commission on Radiological Protection. The aim of this study was to develop and justify a simpler and more straightforward method of presenting information on radiation risks associated with medical X-ray radiological examinations, free from the main drawbacks of the two aforementioned methods. To achieve this goal, radiation risks were calculated using two methods (using effective dose and using the risk model of the International Commission on Radiological Protection). A comparative analysis of the calculation results was conducted with estimates presented in Tables 1-2 of MR 2.6.1.0215-20. As a result of the analysis, an original applied method for presenting qualitative characteristics of radiation risks was developed for use in

Leonid V. Repin

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

Address for correspondence: Mira str., 8, Saint Petersburg, 197101, Russia; E-mail: l.repin@niirg.ru

prescribing X-ray radiological examinations and informing patients about potential health risks. The practical outcome of the study is the formation of a table of radiation risks associated with conducting studies on patients from the Russian population, using the developed method of presenting information on radiation risks.

Key words: radiation risk, effective dose, medical exposure, radiation detriment, X-ray examinations, patient information.

Authors' personal contribution

Repin L.V. developed design of the study, determined aims and objectives, performed calculations of radiation detriment indicator values, prepared draft of the manuscript.

Akhmatdinov R.R. searched and analyzed literature data, created figures, edited the draft of the manuscript

Biblin A.M. searched and analyzed literature data, edited the draft versions of the manuscript, presented the final version of manuscript for submission.

Vishnyakova N.M. analyzed literature data, edited the draft versions of the manuscript.

Conflict of interests

The authors declare no conflicts of interest.

Sources of funding

The study was performed within framework of research project "Development and scientific justification of applied methods for assessment of radiation risks to public health under different situations and exposure scenarios based on modern approaches to radiation detriment assessment".

References

1. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Annals of the ICRP*. 2007;37(2-4): 332.
2. Repin LV, Akhmatdinov RR, Biblin AM, Vodovatov AV, Shatskiy IG. Using disability-adjusted life years measure for characterization of radiation risk from fluoroscopy. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2024;17(1): 7–17. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-1-7-17.
3. Golikov VYu. Evaluation of the radiation risk of medical examinations in the Russian Federation taking into account the age and sex distribution of the patients. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022;15(1): 59–67. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-1-59-67.
4. Ivanov VK, Tsyb AF, Panfilov AP, Agapov AM. Optimization of radiation protection: "Dose matrix". Moscow: Medicine; 2006. 304 p. (In Russian).
5. Repin LV, Akhmatdinov RR, Biblin AM, Vodovatov AV, Chipiga LA, Shatskiy IG. Characterization of radiation risk associated with computed tomography for the Russian patients using disability-adjusted life years measure. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023;16(3): 37–45. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-3-37-45.
6. Gorski AI, Chekin SYu, Maksyutov MA, Menyaylo AN, Korelo AM, Tumanov KA, et al. Transfer of ICRP models of radiation risk to the population of the Russian Federation. *Radiatsiya i risk = Radiation and Risk*. 2019; 28(4): 5–15 (In Russian) DOI: 10.21870/0131-3878-2019-28-4-5-15.
7. Golikov VYu, Vodovatov AV, Chipiga LA, Shatskiy IG. Evaluation of radiation risk for patients undergoing medical examinations in the Russian Federation. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021;14(3): 56–68 (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-3-56-68.
8. Radiation detriment calculation methodology. ICRP Publication 152. *Annals of the ICRP*. 2022;51(3): 103.
9. Tapiovaara M, Siiskonen T. PCXMC: A Monte Carlo program for calculating patient doses in medical X-ray examinations. 2nd Ed. STUK, Finland; 2008.
10. Vodovatov AV, Golikov VYu, Kamyshanskaya IG, Zinkevich KV, Bernhardsson Ch. Estimation of the conversion coefficients from dose-area product to effective dose for barium meal examinations for adult patients. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2018;11(1): 93–100 (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-1-93-100.
11. Vodovatov A, Golikov V, Kamyshanskaya I, Cheremysyn V, Zinkevich K, Bernhardsson K. Estimation of the effective doses from typical fluoroscopic examinations with barium contrast. *Radiation Protection Dosimetry*. 2021;195(3-4): 264–272. DOI: 10.1093/rpd/ncab059.
12. Malignant tumors in Russia in 2018 (morbidity and mortality). Moscow; 2019. 250 p. (In Russian).
13. The state of oncological care for the population of Russia in 2018. Moscow; 2019. 236 p. (In Russian).

Received: July 18, 2024

For correspondence: Leonid V. Repin – Junior Researcher, Information Analytical Center, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing (Mira Str., 8, Saint Petersburg, 197101, Russia; E-mail: l.repin@niirg.ru)

ORCID: 0000-0002-4857-6792

Rustam R. Akhmatdinov – engineer-researcher, information-analytical center, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint Petersburg, Russia

ORCID: 0000-0002-4151-5380

Artem M. Biblin – senior research fellow, head of Information-analytical center, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint Petersburg, Russia

ORCID: 0000-0002-3139-2479

Nadezhda M. Vishnyakova – Deputy Director for Scientific Work, 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

For citation: Repin L.V., Akhmatdinov R.R., Biblin A.M., Vishnyakova N.M. Development and justification of a method for presenting radiation risks associated with medical exposure of patients. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2024. Vol. 17, No. 3. P. 49–56 (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-3-49-56