

# Характеристика радиационного риска от рентгеноскопических исследований путем оценки числа потерянных лет здоровой жизни

Л.В. Репин<sup>1</sup>, Р.Р. Ахматдинов<sup>1</sup>, А.М. Библин<sup>1</sup>, А.В. Водоватов<sup>1,2</sup>, И.Г. Шацкий<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

*Проведение медицинских диагностических исследований, связанных с использованием ионизирующего излучения, является одним из наиболее интенсивно развивающихся направлений в медицинской диагностике. При этом медицинское облучение пациентов имеет ряд принципиальных отличий от других повседневных ситуаций планируемого облучения. Медицинское облучение, как правило, носит острый характер, а дозы облучения для большинства рентгенодиагностических исследований превосходят уровень природного и техногенного облучения, связанного с нормальной эксплуатацией радиационных объектов. В такой ситуации важное значение приобретает дифференциация рисков с учетом различной радиочувствительности отдельных половозрастных групп пациентов. Радиационные риски должны учитываться как при назначении исследований, связанных с использованием ионизирующего излучения, так и при анализе соотношения польза — вред в связи с их проведением конкретным пациентам. Еще одна причина, по которой оценка рисков является актуальной задачей, — необходимость информирования пациентов и/или их законных представителей о рисках для здоровья, связанных с проведением исследования, в том числе рисках радиационных. В рамках настоящей работы были оценены риски, связанные с проведением 3 видов рентгеноскопических исследований: рентгеноскопия пищевода, рентгеноскопия желудка, ирригоскопия. При этом для характеристики риска использовался все более часто применяемый при оценке рисков показатель DALY, отражающий возможное число потерянных лет здоровой жизни вследствие радиационного воздействия при проведении исследования. Цель работы заключалась в расчете значений показателя DALY для различных половозрастных групп пациентов из российской популяции при проведении рентгеноскопических исследований. Для достижения указанной цели применялся метод оценки числа потерянных вследствие воздействия ионизирующих излучений лет здоровой жизни. В статье представлены результаты расчета значений показателя DALY для 3 видов рентгеноскопических исследований. Анализ полученных результатов показал, что вклад онкологических заболеваний в суммарный радиационный вред у мужчин старших возрастов существенно выше, чем у женщин, а вклад несмертельных заболеваний в DALY у женщин составляет около 10%, незначительно увеличиваясь с возрастом. Данная работа представляет собой очередной шаг в направлении гармонизации методологии оценки радиационного риска с методологиями оценки рисков иной природы. Одним из направлений использования результатов расчета является разработка методических подходов к расчету поло- и возраст-зависимых показателей риска, связанного с медицинским облучением пациентов.*

**Ключевые слова:** радиационный риск, эффективная доза, DALY, медицинское облучение, рентгеноскопия, потерянные годы здоровой жизни.

## Введение

Характеристика рисков — завершающий этап в классической схеме оценки рисков для здоровья, связанного с воздействием вредных факторов среды обитания, на-

ряду с идентификацией опасности, оценкой зависимости доза/эффект и оценкой экспозиции воздействия вредного фактора. На этом этапе «синтезируются данные, полученные на предшествующих этапах исследований,

**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: leonid\_repin@mail.ru

проводится расчет и ранжирование рисков, источников их образования, воздействующих сред и путей поступления»<sup>1</sup>. Применительно к радиационным рискам для здоровья зачастую под оценкой рисков подразумевают именно характеристику риска. При этом для решения задач по управлению риском в области воздействия малых доз ионизирующего излучения (далее — ИИ) в качестве единицы количественной оценки риска чаще всего используют величину радиационного ущерба, а в качестве меры риска — величины эффективной и/или эквивалентной доз облучения. Подобный подход, несомненно, оправдан при управлении рисками в диапазоне очень малых доз<sup>2</sup> для населения в целом или даже несколько более высоких доз для взрослого населения, особенно при условии сравнительно равномерного распределения облучения во времени, т.е. в ситуациях пролонгированного и/или фракционированного облучения. К таким ситуациям относятся природное облучение, техногенное облучение за счет нормальной эксплуатации радиационных объектов, профессиональное облучение персонала радиационных объектов и некоторые другие. Несколько иначе обстоит дело в ситуации с медицинским облучением пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований (далее — РРИ). В этом случае облучение, как правило, носит острый характер, а облучение при некоторых видах РРИ выходит за рамки диапазона очень малых доз.

Дискуссия о границах применимости эффективной дозы в качестве меры риска при медицинском облучении пациентов ведется не один год, и всё большее число авторов склоняются к тому, что для управления радиационными рисками при медицинском облучении пациентов лучше пользоваться измеримыми величинами и/или значениями органных доз [2–5]. Однако указанные величины не позволяют в сопоставимых единицах оценить ожидаемую пользу от проведения исследования или сопоставить пользу и вред от него.

Поскольку радиационные риски, связанные с некоторыми видами РРИ, для ряда половозрастных групп пациентов превышают уровень пренебрежимо малого риска<sup>3</sup>, методы половозрастной дифференциации рисков, т.е. оценки рисков для различных по половозрастному составу групп пациентов, заслуживают особого внимания. Различие в уровне рисков при проведении одинаковых

исследований связано с существенно большей радиочувствительностью детей по сравнению со взрослыми и женщин по сравнению с мужчинами во множестве ситуаций облучения [6].

Основными отдаленными негативными последствиями воздействия ИИ на здоровье человека считаются злокачественные новообразования (ЗНО), поэтому в качестве единицы измерения ущерба для здоровья при характеристике радиационных рисков используются показатели, характеризующие онкологическую смертность. Для более полной характеристики в состав таких показателей могут включаться также онкологические заболевания, не приводящие к смерти, наследственные эффекты и другие заболевания. При этом все остальные виды негативных последствий (помимо смертельных ЗНО) приравниваются к показателям онкологической смертности путем присваивания соответствующих взвешивающих множителей (весовых коэффициентов).

Примерами таких показателей являются радиационный ущерб [7] или «пожизненный риск смерти с учетом вреда для здоровья от снижения качества жизни по причине онкологического заболевания», используемый в МР 2.6.1.0215–20<sup>4</sup>. Платой за практическое удобство и простоту обобщенных показателей вреда является неопределенность оценки, при которой равными считаются риски, отличающиеся не только кратно, но иногда даже более чем на порядок величины [8].

По мере развития методологии оценки радиационных рисков вопрос о недостаточной информативности и сложности для понимания используемых показателей радиационного риска вновь приобрел актуальность. Альтернативный подход к выбору показателя популяционного здоровья, пригодного для использования в качестве меры риска, стал возможен благодаря развитию проекта ВОЗ «Глобальное бремя болезней» [9], стартовавшего более 30 лет назад. Указанный подход уже был использован нами при оценке радиационных рисков, связанных с медицинским облучением. В качестве показателя радиационного вреда, связанного с проведением компьютерно-томографических исследований пациентам различного пола и возраста, в [10] нами был использован показатель DALY<sup>5</sup>, т.е. число потерянных вследствие облучения лет здоровой полноценной жизни. Показатель DALY широко

<sup>1</sup> Руководство Р 2.1.10.3968-23 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду». Утверждено Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 06.09.2023 г. [Guidelines R 2.1.10.3968-23 “Guidelines for assessment of public health risk from exposure to chemicals polluting the environment”. Approved by the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation on 06.09.2023. (In Russ.)]

<sup>2</sup> НКДАР ООН определяет дозы облучения с низкой ЛПЭ в диапазоне 10–100 мГр как малые, а дозы менее 10 мГр как очень малые (very low doses – англ.) [UNSCEAR defines doses with low LET in the range 10–100 mGy as low and doses less than 10 mGy as very low] [1].

<sup>3</sup> В соответствии с классификацией рисков, приведенной в МР 2.6.1.0215–20 «Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований», радиационные риски, не превышающие  $1 \times 10^{-6}$  (т.е. менее 1 случая на 1 млн человек), относятся к категории «Пренебрежимо малый риск». [According to the classification of risks given in Guidelines MR 2.6.1.0215–20 “Assessment of radiation risk of patients during radiological examinations”, radiation risks not exceeding  $1 \times 10^{-6}$  (i.e., less than one case per million people) are categorised as “negligibly risk”.]

<sup>4</sup> МР 2.6.1.0215–20 «Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований». Утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 21.09.2020 г. (далее – МР 2.6.1.0215–20). [Guidelines MR 2.6.1.0215–20 “Assessment of radiation risk of patients during radiological examinations”. Approved by the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation on 21.09.2020 (hereinafter – MR 2.6.1.0215–20). (In Russ.)]

<sup>5</sup> Disability-adjusted life years – годы жизни с поправкой на нетрудоспособность (англ.)

используется в области организации здравоохранения и находит все более широкое применение в оценке рисков<sup>6</sup> [11–13] в качестве меры вреда от воздействия вредных или опасных факторов среды обитания на здоровье населения, в том числе в Российской Федерации<sup>6</sup>. Сфера применения данного показателя простирается от оценки влияния на систему здравоохранения онкологических и инфекционных заболеваний до оценки статистики дорожно-транспортных происшествий [21–23].

К основным преимуществам использования показателя DALY в качестве интегрального показателя популяционного здоровья по сравнению с более привычными показателями заболеваемости и смертности можно отнести то, что единицей измерения DALY является год здоровой жизни человека, т.е. время, что является более универсальной единицей, чем потерянная человеческая жизнь. Использование времени в качестве меры вреда для популяционного здоровья позволяет напрямую сопоставлять риски, по-разному распределенные во времени. Например, риск возникновения хронических заболеваний и риск мгновенной смерти от производственного травматизма.

**Цель исследования** – расчет значений показателя радиогенного<sup>7</sup> DALY, связанного с проведением рентгеноскопических (далее – РС) исследований для различных половозрастных групп пациентов из российской популяции.

#### Задачи исследования

1. Определить виды РС исследований и соответствующие половозрастные группы для расчета показателей радиационного риска.
2. Рассчитать значения радиогенного DALY на основании органных доз, получаемых пациентами при проведении РС исследований.
3. Провести анализ структуры радиогенного DALY пациентов различного пола и возраста с учетом вклада числа лет, потерянных вследствие преждевременной смерти от вызванного облучением ЗНО, и взвешенного по степени тяжести заболевания числа лет, прожитых в состоянии неполного здоровья.

#### Материалы и методы

Для расчета значений показателей радиационного риска использовалась модель, описанная в Публикации 152 МКРЗ [7]. Расчеты осуществлялись с использованием органных доз для 3 видов рентгеноскопических

исследований: рентгеноскопия пищевода, рентгеноскопия желудка, ирригоскопия. Органные дозы были рассчитаны с использованием программного обеспечения РСХМС 2.0 [14] на основе протоколов рентгеноскопических исследований, собранных специалистами ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева в больницах Санкт-Петербурга в 2015–2018 гг. [15, 16]. Риски возникновения радиогенных 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» путем усреднения органных доз на 13 органов в соответствии с рекомендациями Публикации 103 МКРЗ [6].

Средние значения органных доз, использованные при оценке радиационных рисков при проведении РС пищевода и ирригоскопии, были рассчитаны для 4 возрастных групп пациентов: 0–4 года, 5–9 лет, 10–14 лет и «Взрослые». Для РС желудка младшая возрастная группа была разбита на 3 диапазона: до 1 года, от 1 до 2 лет и от 2 до 5 лет. Выделение в младшей возрастной группе аналогичных диапазонов для двух других видов исследований не проводилось в связи с тем, что рентгеноскопии пищевода и ирригоскопии крайне редко проводились в качестве самостоятельных исследований.

Межпопуляционный перенос риска на российскую популяцию осуществлялся с использованием медико-демографических данных за 2018 г. [17].

Расчет значений DALY был выполнен в соответствии с методикой, описанной в работе Shimada и Kai [11], однако в расчете использованы значения наблюдаемой и относительной пятилетней выживаемости для российской популяции [18] вместо приведенных в статье данных по японской популяции. Показатель DALY представляет собой сумму числа лет, потерянных вследствие преждевременной смерти по причине конкретного заболевания и числа лет, прожитых в состоянии ухудшившегося по причине заболевания здоровья (формула 1).

$$DALY=YLL+YLD, \quad (1)$$

где YLL<sup>8</sup> – число лет, потерянных вследствие преждевременной смерти;

YLD<sup>9</sup> – взвешенное число лет, прожитых в состоянии неполного здоровья. При этом годам жизни, прожитым

<sup>6</sup> Руководство Р 2.2.3969-23 «Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки». Утверждено Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 07.09.2023 г. [Guidelines R 2.1.10.3968-23 “Guidelines on occupational risk assessment for workers’ health. Organizational and methodological aspects, principles and criteria”. Approved by the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation on 07.09.2023. (In Russ.)]

<sup>7</sup> Проведение медицинских РПИ сопряжено с риском не только радиационной природы, но и с иными видами риска, включая ошибки персонала, реакцию на препараты и т.п. В настоящей статье под радиогенным DALY подразумеваются значения показателя DALY, рассчитанные только для радиационного риска, возникающего при штатном проведении РПИ. [Performing X-ray examinations involves risks not only of a radiological nature, but also other types of risk, including personnel errors, drug reactions, etc. In this article, “radiogenic DALY” refers to DALY values calculated only for radiation risk arising from routine X-ray examinations.]

<sup>8</sup> Years of Life Lost – потерянные годы жизни (англ.)

<sup>9</sup> Years Lived with Disability – годы, прожитые с нетрудоспособностью (заболеванием) (англ.)

в состоянии неполного здоровья, присваиваются различные веса от 0 до 1 в зависимости от тяжести заболевания.

Для расчета значений DALY применялась методика, включающая в себя следующие основные этапы (более подробно методика описана в [10, 19]):

1. Расчет значений избыточной заболеваемости радиоогенными ЗНО различной локализации в разных достигнутых возрастах в зависимости от органных доз, пола и возраста на момент проведения РС исследования по моделям абсолютного и относительного риска.

2. Расчет значений показателя DALY для лиц различного пола и возраста при проведении РС исследований на основании полученных оценок избыточной онкологической заболеваемости.

3. Расчет групповых (популяционных) рисков, взвешенных с учетом вклада отдельных половозрастных групп в структуру населения Российской Федерации.

4. Взвешивание оценок DALY, полученных по моделям абсолютного и относительного риска, с использованием взвешивающих коэффициентов, рекомендованных МКРЗ [6].

Расчеты были выполнены с использованием специально разработанной программы на языке Wolfram [17].

Значения DALY рассчитывались отдельно для пациентов из различных половозрастных групп на момент проведения исследований. В результате выполнения расчетов были получены значения радиоогенных DALY для 32 половозрастных групп пациентов (по 16 возрастным группам пациентов мужского и женского пола) при выполнении РС пищевода и ирригоскопии, а также для 36 половозрастных групп пациентов (по 18 возрастным группам пациентов мужского и женского пола) при выполнении РС желудка.

### Результаты и обсуждение

В таблице представлены округленные до целого числа лет значения DALY, связанные с воздействием ИИ, при выполнении рентгеноскопических исследований для мужчин и женщин российской популяции в расчете на 10 000 пациентов. Для справки приводятся соответствующие средние значения эффективной дозы для гермафродитного фантома, соответствующего возрастной группе, приведенные в МР 2.6.1.0215–20. Для взрослых пациен-

Таблица

**Значения DALY от воздействия ИИ на 10 000 пациентов при выполнении рентгеноскопических исследований**  
[Table]

**DALY values from exposure to ionizing radiation per 10,000 patients for fluoroscopic examinations]**

Возраст при облучении, лет [Age at exposure, years]	Вид рентгеноскопического исследования [Type of fluoroscopic examination]								
	Рентгеноскопия пищевода [Esophageal fluoroscopy]			Рентгеноскопия желудка [Stomach fluoroscopy]			Ирригоскопия [Irrigoscopy]		
	Эффективная доза, мЗв [Effective dose, mSv]	DALY на 10 000 пациентов, лет [DALY per 10 000 patients, year]		Эффективная доза, мЗв [Effective dose, mSv]	DALY на 10 000 пациентов, лет [DALY per 10 000 patients, year]		Эффективная доза, мЗв [Effective dose, mSv]	DALY на 10 000 пациентов, лет [DALY per 10 000 pa- tients, year]	
		Мужчины [Males]	Женщины [Females]		Мужчины [Males]	Женщины [Females]		Мужчины [Males]	Женщины [Females]
0		—		1,3	9	23		—	
1				1,2	10	21			
5	0,7	3	11	0,7	4	13	0,8	6	7
10	1,3	6	19	1,2	6	16	0,8	5	6
15	1,1	5	13	1,4	7	18	0,7	3	4
20		10	20		46	73		21	22
25		8	17		39	63		18	20
30		8	15		34	54		16	18
35		7	12		29	46		14	16
40		6	10		25	38		13	13
45		5	9		21	31		11	11
50	2,1	4	7	7,5	17	25	6,9	9	9
55		4	6		13	19		7	8
60		3	4		9	15		6	6
65		2	3		6	10		4	4
70		1	2		3	6		2	3
75		0	1		1	3		1	2
80		0	0		0	1		0	1



тов приведено одно значение эффективной дозы для всех возрастных групп.

Из представленных в таблице данных видно, что, начиная с возраста 20 лет, значение DALY для всех исследований убывает. Это связано с убыванием функции дожития с возрастом. В детском и подростковом возрасте значения DALY зависят в первую очередь от параметров проведения исследований и от анатомических параметров организма детей и подростков, что приводит к существенному различию получаемых в ходе проведения исследований органных доз и, как следствие, может приводить к колебаниям значений DALY при различных видах исследований (рис. 1).

Следует отметить, что, хотя на рисунке 1 графики выглядят как графики непрерывных функций, это не свидетельствует о плавном и непрерывном повышении риска между возрастными 15 и 20 лет. Данный «скачок» отражает только факт изменения параметров проведения исследований у взрослых пациентов, начиная с возраста 18 лет, по сравнению с аналогичными исследованиями у детей и подростков. Колебания же оценок в детских возрастах связаны, по-видимому, с небольшим объемом выборки и, как следствие, с существенными неопределенностями в оценке органных доз. Анализ неопределенностей оценки полученных значений DALY на данном этапе исследований не производился.

В [10] была отмечена высокая степень согласованности половозрастного распределения рисков при использовании DALY и риска смерти с учетом вреда от снижения качества жизни, приведенного в МР 2.6.1.0215–20. В настоящей работе было изучено изменение вклада несмертельных ЗНО в суммарное значение DALY в зависимости от пола и возраста пациентов. При расчете радиационного ущерба по методике МКРЗ [7] степень тяжести несмертельных онкологических заболеваний принимается не зависящей от возраста, а суммарный вклад несмертельных заболеваний в радиационный ущерб составляет порядка 10%. Несмотря на существенное отличие в методиках оценки тяжести несмертельных заболеваний, используемых при расчете радиационного ущерба и показателя DALY (а конкретно показателя YLD, отражающего число лет, прожитых в состоянии неполного здоровья, взвешенных по степени тяжести заболеваний), вклад несмертель-

ных заболеваний в DALY у женщин составляет около 10%, незначительно увеличиваясь к старшим возрастам. На рисунке 2 показано соотношение абсолютного и относительного вклада YLL и YLD в значение радиогенного DALY при выполнении рентгеноскопических исследований у женщин различного возраста.

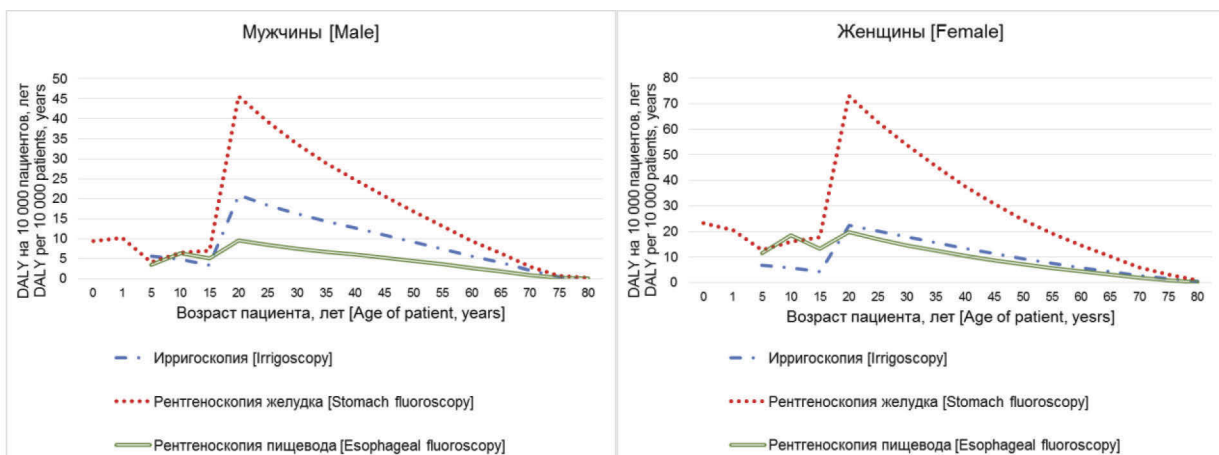
Для мужчин пожилого возраста в российской популяции ситуация несколько отличается. Как показано на рисунке 3, для мужчин старше 70 лет вклад несмертельных ЗНО в суммарный вред для здоровья резко возрастает. Это связано с более короткой продолжительностью жизни мужчин российской популяции по сравнению с женщинами.

Полученные в ходе выполнения исследования результаты показывают, что не только возрастное распределение рисков, оцененное с помощью показателя DALY, но и соотношение вклада смертельных и несмертельных онкологических заболеваний в суммарный вред для здоровья хорошо согласуются с оценками на основе показателей смертности с учетом вреда от снижения качества жизни. При этом использование DALY дает важную дополнительную информацию о структуре радиационных рисков, связанных с медицинским облучением, особенно в старших возрастах.

## Заключение

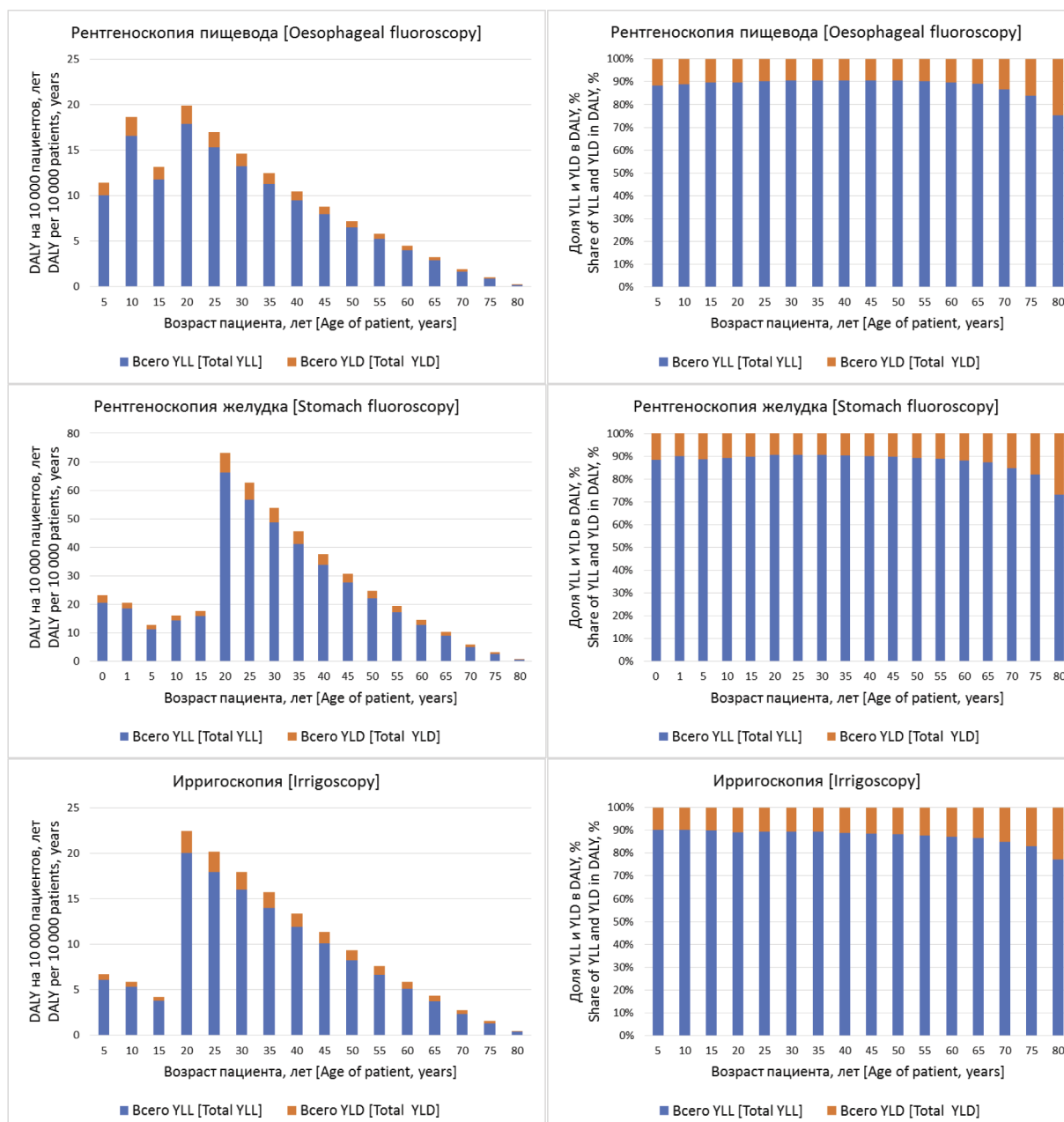
Необходимость гармонизации методологии оценки радиационных рисков с методологиями оценки рисков иной природы является актуальной прикладной задачей последних десятилетий, и представленная работа является одной из попыток практического применения показателя DALY в оценке радиационных рисков, связанных с медицинским облучением пациентов. При выполнении настоящей работы были рассчитаны значения радиогенного DALY, связанного с проведением 3 видов РС-исследований, для нескольких половозрастных групп пациентов российской популяции.

Было установлено, что вклад несмертельных онкологических заболеваний в значение DALY составляет порядка 10–15% при возрасте пациентов не старше 65 лет, увеличиваясь до 20% к 80 годам у женщин и до 100% у мужчин.

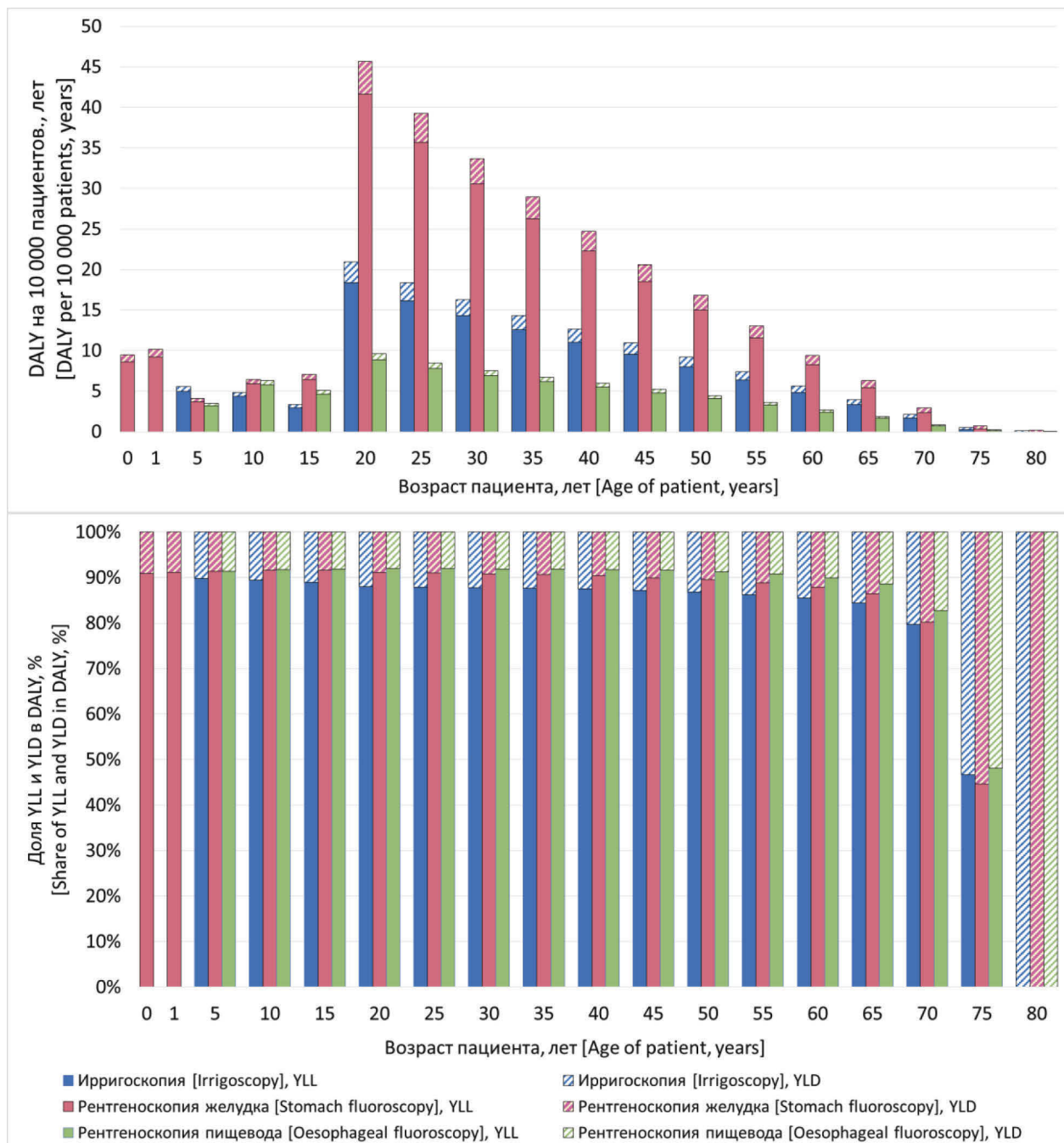


**Рис. 1.** Зависимость значений радиогенного DALY от возраста пациентов при проведении рентгеноскопических исследований в Российской Федерации

[Fig. 1. Dependence of radiogenic DALY values on the age of patients during fluoroscopic examinations in the Russian Federation]



**Рис. 2.** Абсолютный (левый столбец) и относительный (правый столбец) вклад YLL и YLD в значение радиогенных DALY у женщин российской популяции при проведении рентгеноскопических исследований в различных возрастах  
**[Fig. 2.** Absolute (left column) and relative (right column) contribution of YLL and YLD to the value of radiogenic DALY in women of the Russian population during fluoroscopic examinations at different ages]



**Рис. 3.** Соотношение абсолютного (сверху) и относительного (снизу) вклада YLL и YLD в суммарное значение DALY у мужчин российской популяции при проведении рентгеноскопии в различных возрастах  
**[Fig 3.** Ratio of absolute (top) and relative (bottom) contribution of YLL and YLD to the total DALY value in the Russian male population during fluoroscopy at different ages]

Дальнейшее развитие методологии предполагает анализ возможности использования показателя DALY в качестве меры сопоставления пользы и вреда при медицинской лучевой и радионуклидной диагностике. Практическое применение показателя радиогенного DALY целесообразно при сравнительном анализе радиационных и нерадиационных рисков, связанных с проведением медицинских РРП.

#### 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, написал черновик 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.

Водоватов А.В. – провел анализ доз облучения при рентгеноскопических исследованиях, редактировал промежуточный вариант рукописи.

Шацкий И.Г. – провел анализ доз облучения при рентгеноскопических исследованиях.

### Информация о конфликте интересов

Авторы статьи 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. Sources, effects and risks of ionizing radiation. UNSCEAR 2020/2021 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Volume III. Scientific Annex C. Biological Mechanisms Relevant for the Inference of Cancer Risks from Low-Dose And Low-Dose-Rate Radiation. New York: United Nations, 2021. 238 p.
2. Use of dose quantities in radiological protection. ICRP Publication 147 // *Annals of the ICRP*. 2021. Vol. 50, No 1. P. 103.
3. Harrison J., Haylock R., Jansen J.T.M., et al. Effective doses and risks from medical diagnostic x-ray examinations for male and female patients from childhood to old age // *Journal of Radiological Protection*. 2023. Vol. 43, № 1. P. 011518. <https://doi.org/10.1088/1361-6498/acbda7>.
4. Андерссон М., Эккерман К., Павел Д. и др. Улучшенные модели оценки радиационного риска для отдельных когорт пациентов в Швеции. // *Радиационная гигиена*. 2019. Т. 12, № 2. С. 44–54. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-12-2-44-54>.
5. Mattsson S. Need for individual cancer risk estimates in x-ray and nuclear medicine imaging // *Radiation Protection Dosimetry*. 2016. Vol. 169, № 1-4. P. 11–16. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncw034>.
6. 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.
7. Radiation detriment calculation methodology. ICRP Publication 152 // *Annals of the ICRP*. 2022. Vol. 51, No 3. P. 103.
8. Репин Л.В. Об использовании коэффициентов ущерба для количественной оценки последствий воздействия ионизирующего излучения // *Радиационная гигиена*. 2011. Т. 4, № 1. С. 35–37.
9. Lopez A., Mathers C., Ezzati M., et al. Measuring the global burden of disease and risk factors, 1990–2001. In: *Global burden of disease and risk factors*. Oxford University Press, 2006. 476 p.
10. 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 <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-3-37-45>.
11. Shimada K., Kai M. Calculating disability-adjusted life years (DALY) as a measure of excess cancer risk following radiation exposure // *Journal of Radiological Protection*. 2015. Vol. 35, № 4. P. 763–775. <https://doi.org/10.1088/0952-4746/35/4/763>.
12. Kotre C.J. Comparing benefit and detriment from medical diagnostic radiation exposure using disability-adjusted life years: towards quantitative justification // *Journal of Radiological Protection*. 2023. Vol. 43, № 4. P. 041512. <https://doi.org/10.1088/1361-6498/ad1159>.
13. Vaillant L., Maitre M., Lafranque E., et al. Proposal of a quantitative approach integrating radioactive and chemical risks // *Radioprotection*. 2023. Vol. 58, №. 2. P. 147–155. <https://doi.org/10.1051/radiopro/2023012>.
14. Tapiovaara M., Siiskonen T. PCXMC: A Monte Carlo program for calculating patient doses in medical x-ray examinations. 2nd Ed. STUK: Finalnd, 2008.
15. 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. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2018-11-1-93-100>.
16. Vodovатов A., Golikov V., Kamyshanskaya 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. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncab059>.
17. 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.
18. Состояние онкологической помощи населению России в 2019 году / под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, А.О. Шахзадовой – М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2020. 239 с.
19. Репин Л.В. Оценка радиационного ущерба для здоровья: о возможности использования эффективной дозы для расчета числа потерянных лет здоровой жизни // *Радиационная гигиена*. 2023. Т. 16, № 1. С. 52–65. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-1-52-65>.
20. Репин Л.В., Ахматдинов Р.Р., Библин А.М., Репин В.С. Разработка автоматизированной системы анализа радиационных рисков: цели, задачи и перспективы развития // *Радиационная гигиена*. 2023. Т. 16, № 4. С. 22–31. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-4-22-31>.
21. Хайлова Ж.В., Каприн А.Д., Омеляновский В.В. и др. Анализ потерянных лет жизни в результате преждевременной смертности от злокачественных новообразований в Российской Федерации // *Сибирский онкологический журнал*. 2023. Т. 22, № 5. С. 14–27. DOI 10.21294/1814-4861-2023-22-5-14-2.
22. Соколова О.В., Ушакова Т.Н., Зыкова Н.В. и др. Оценка экономического ущерба от клещевого вирусного энцефалита в Архангельской области с использованием показателя «Потерянные годы потенциальной жизни» // *Социальные аспекты здоровья населения*. 2023. Т. 69, № 3. С. 12. DOI: 10.21045/2071-5021-2023-69-3-12.
23. Фаттахов Т.А., Пьянкова А.И. Потерянные годы жизни в результате дорожно-транспортных происшествий в России в 2000–2012 гг. // *Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины*. 2018. Т. 26, № 5. С. 271–275. DOI: <http://dx.doi.org/10.32687/0869-866X-2018-26-5-271-275>.

Поступила: 25.01.2024 г.



**Репин Леонид Викторович** – младший научный сотрудник информационно-аналитического центра, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт 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: leonid\_repin@mail.ru

**Ахматдинов Рустам Расимович** – ведущий инженер-исследователь информационно-аналитического центра, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия  
ORCID: 0000-0002-4151-5380

**Библин Артем Михайлович** – старший научный сотрудник, руководитель информационно-аналитического центра, Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия  
ORCID: 0000-0002-3139-2479

**Водоватов Александр Валерьевич** – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией радиационной гигиены медицинских организаций, 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  
ORCID: 0000-0002-5191-7535

**Шацкий Илья Геннадьевич** – научный сотрудник, лаборатория радиационной гигиены медицинских организаций, 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  
ORCID: 0000-0003-2809-0223

**Для цитирования:** Репин Л.В., Ахматдинов Р.Р., Библин А.М., Водоватов А.В., Шацкий И.Г. 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

## Using disability-adjusted life years measure for characterization of radiation risk from fluoroscopy

Leonid V. Repin<sup>1</sup>, Rustam R. Akhmatdinov<sup>1</sup>, Artem M. Biblin<sup>1</sup>, Aleksandr V. Vodovatov<sup>1,2</sup>, Ilya G. Shatskiy<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup> Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, Saint-Petersburg, Russia

*Medical diagnostics procedures involving the use of ionising radiation is one of the most intensively developing areas in medical diagnostics. At the same time, medical exposure of patients has a number of fundamental differences from other routine situations of planned exposure. As a rule, medical exposure is acute, and radiation doses in some types of examinations exceed the level of natural and man-made exposure associated with normal operation of radiation facilities. In such a situation, risk differentiation is of great importance, taking into account the different radiosensitivity of individual sex and age groups of patients. Radiation risks should be taken into account both when prescribing examinations involving the use of ionising radiation and when analysing the benefit-harm ratio associated with their application to specific patients. Another reason why risk assessment is an urgent task is the need to inform patients and/or their legal representatives about the health risks associated with the carrying out of examinations, including radiation risks. Within the framework of the present work, the risks associated with fluoroscopic examinations were assessed. To characterise the risk we used the DALY indicator, which is more and more frequently used in risk assessment, reflecting the possible number of lost years of healthy life as a result of radiation exposure during the study. The aim of the work was to calculate DALY values for different sex and age groups of patients from the Russian population*

**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: leonid\_repin@mail.ru

during fluoroscopic examinations. To achieve this aim, the method of estimating the number of healthy life years lost due to exposure to ionising radiation, which was developed in the course of the research work, was used. The paper presents the results of calculating DALY values for three types of fluoroscopic examinations. This work represents the next step in the direction of harmonisation of radiation risk assessment methodology with the methodologies of risk assessment of other nature. One of the directions of using the calculation results is the development of methodological approaches to the calculation of sex- and age-dependent risk coefficients associated with medical exposure of patients. The analysis of the obtained results showed that the contribution of oncological diseases to the total radiation harm in older men was significantly higher than in women.

**Key words:** radiation risk, effective dose, DALY, medical exposure, fluoroscopy, disability-adjusted life year.

### Personal contribution of authors

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.

Vodovatov A.V. analyzed radiation doses from fluoroscopy, edited the draft versions of the manuscript.

Shatskiy I.G. analyzed radiation doses from fluoroscopy

### Conflict of interests

Authors declare the absence of conflict of interest.

### Funding

The study was not supported by sponsorship. 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

- Sources, effects and risks of ionizing radiation. UNSCEAR 2020/2021 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Volume III. Scientific Annex C. Biological Mechanisms Relevant for the Inference of Cancer Risks from Low-Dose And Low-Dose-Rate Radiation. New York: United Nations; 2021. 238 p.
- Use of dose quantities in radiological protection. ICRP Publication 147. *Annals of the ICRP*. 2021;50(1). 103.
- Harrison J, Haylock R, Jansen JTM, Zhang W, Wakeford R. Effective doses and risks from medical diagnostic x-ray examinations for male and female patients from childhood to old age. *Journal of Radiological Protection*. 2023;43(1): 011518. <https://doi.org/10.1088/1361-6498/acbda7>.
- Andersson M, Eckerman K, Pawel D, Almen A, Mattsson S. Improved radiation risk models applied to different patient groups in Sweden. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2019;12(2): 44–54. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-12-2-44-54>.
- Mattsson S. Need for individual cancer risk estimates in x-ray and nuclear medicine imaging. *Radiation Protection Dosimetry*. 2016;169(1-4): 11–16. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncw034>.
- The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Annals of the ICRP*. 2007;37(2-4): 332.
- Radiation detriment calculation methodology. ICRP Publication 152. *Annals of the ICRP*. 2022;51(3):103.
- Repin L.V. On the use of detriment parameters for the quantitative evaluation of radiation exposure consequences. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2011;4(1):35-37. (In Russian)
- Lopez A, Mathers C, Ezzati M, Jamison D, Murray C. Measuring the global burden of disease and risk factors, 1990–2001. In: Global burden of disease and risk factors. Oxford University Press; 2006. 476 p.
- 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) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-3-37-45>.
- Shimada K, Kai M. Calculating disability-adjusted life years (DALY) as a measure of excess cancer risk following radiation exposure. *Journal of Radiological Protection*. 2015;35(4): 763–775. DOI: 10.1088/0952-4746/35/4/763.
- Kotre C.J. Comparing benefit and detriment from medical diagnostic radiation exposure using disability-adjusted life years: towards quantitative justification. *Journal of Radiological Protection*. 2023;43(4): 041512. <https://doi.org/10.1088/1361-6498/ad1159>.
- Vaillant L, Maitre M, Lafranque E, Schneider T, Wasselin V. Proposal of a quantitative approach integrating radioactive and chemical risks. *Radioprotection*. 2023;58(2): 147–155 <https://doi.org/10.1051/radiopro/2023012>.
- Tapiovaara M, Siiskonen T. PCXMC: A Monte Carlo program for calculating patient doses in medical x-ray examinations. 2nd Ed. STUK, Finalnd; 2008.
- 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) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2018-11-1-93-100>.
- 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. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncab059>.
- Malignant tumors in Russia in 2018 (morbidity and mortality). Moscow; 2019. 250 p. (In Russian).
- Kaprin AD, Starinsky VV, Shakhzadova AO. The state of oncological care for the population of Russia in 2019. Moscow, 2020. (In Russian).
- Repin LV. Radiation detriment estimation: on the possibility of effective dose usage to assess the number of years of the healthy life lost. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023;16(1): 52-65. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-1-52-65>.
- Repin LV, Akhmatdinov RR, Biblin AM, Repin VS. Development of the Automated System for Radiation Risk Analysis: goals, tasks and the vision for progress. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023;16(4): 22-31. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-4-22-31>.

21. Khailova ZhV, Kaprin AD, Omelyanovsky VV, Pustovalov D, Agafonova YuA, Kusakina VO, et al. Analysis of years of life lost due to premature cancer mortality in the Russian Federation. *Sibirskiy onkologicheskii zhurnal = Siberian journal of oncology*. 2023;22(5):14-27. (In Russian) <https://doi.org/10.21294/1814-4861-2023-22-5-14-27>.
22. Sokolova OV, Ushakova TN, Zykova NV, Buzinov RV, Tokarevich NK. The assessment of economic damage from tick-borne encephalitis in the Arkhangelsk region based on Potential Years of Life Lost. *Social'nye aspekty zdorov'a naselenia [serial online] = Social Aspects of Population Health*. 2023;69(3): 12. (In Russian) <https://doi.org/10.21045/2071-5021-2023-69-3-12>.
23. Fattahov TA, Piankova AI. The years of life lost as a result of road traffic accidents in Russia in 2000—2012. *Problemi sotsialnoy gigieny, zdravookhraneniya i istorii meditsiny = Problems of Social Hygiene, Public Health and History of Medicine*. 2018;26(5): 271—275 (In Russian) <http://dx.doi.org/10.32687/0869-866X-2018-26-5-271-275>.

Received: January 25, 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](mailto: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

**Aleksandr V. Vodovатов** – PhD, lead research fellow, Head of the Laboratory of radiation hygiene of medical facilities, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, docent of the Department of General Hygiene, Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, Saint-Petersburg, Russia

ORCID 0000-0002-5191-7535

**Ilya G. Shatskiy** – research fellow, Laboratory of radiation hygiene of medical facilities, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint-Petersburg, Russia

ORCID 0000-0003-2809-0223

**For citation: Repin L.V., Akhmatdinov R.R., Biblin A.M., Vodovатов A.V., Shatskiy I.G. Using disability-adjusted life years measure for characterization of radiation risk from fluoroscopy. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2024. Vol. 17, No. 31. P. 7-17. (In Russian). DOI: [10.21514/1998-426X-2024-17-1-7-17](https://doi.org/10.21514/1998-426X-2024-17-1-7-17)**