

## Оценка радиационного риска, обусловленного проведением медицинских исследований в Российской Федерации с учетом половозрастного состава пациентов

В.Ю. Голиков

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

*Целью исследования являлась разработка методологии, позволяющей с использованием пожизненных коэффициентов риска радиогенного рака и половозрастного распределения пациентов, характерного для различных медицинских исследований, оценивать коллективный радиационный риск, обусловленный как отдельными рентгенорадиологическими исследованиями, так и медицинским облучением в целом в Российской Федерации. Методология основана на использовании коэффициентов пожизненного риска смерти с учётом вреда от снижения качества жизни при облучении органов риска для российской и комбинированной популяции и результатах исследования типичных доз облучения пациентов, характерных для различных медицинских технологий в Российской Федерации. Показано, что оценка коллективного радиационного риска отдельных медицинских исследований, выполненная с использованием пожизненных коэффициентов риска, органных доз и распределений пациентов по возрасту и полу, может до порядка величины отличаться от оценки риска, основанной на эффективной дозе и номинальном коэффициенте риска. Разница же в оценках коллективного радиационного риска за счет медицинского облучения населения в Российской Федерации этими двумя методами в 2018 г. достигала 2,5 раз.*

**Ключевые слова:** медицинские исследования, пациенты, радиационный риск, номинальные коэффициенты риска, эффективная доза.

### Введение

До последнего времени Международная комиссия по радиологической защите<sup>1</sup> (МКРЗ) не рекомендовала использовать эффективную дозу для определения радиационных рисков при медицинском использовании ионизирующего излучения [1]. Применение эффективной дозы при медицинском облучении МКРЗ ограничивала сравнением доз:

- при выполнении различных диагностических исследований;
- при использовании одинаковых медицинских технологий и протоколов в различных медицинских организациях или странах;
- при использовании различных медицинских технологий и протоколов в рамках проведения одного медицинского исследования, так как для этих целей малопригодными являются такие измеряемые дозовые параметры, как произведение дозы на площадь (рентгенография,

рентгеноскопия) или произведение дозы на длину сканирования (компьютерная томография). При таких сравнениях также предполагается, что состав выборок пациентов в отношении их возраста и пола аналогичен.

Однако в своей недавней Публикации 147 МКРЗ признала, что, учитывая неопределенности оценки риска при воздействии малых доз, эффективную дозу с учетом поправок на вариации риска в зависимости от возраста и пола пациентов можно использовать для грубой оценки (approximate indicator of possible risk) возможного радиационного риска [2]. Собственно попытка реализовать на практике этот подход для более корректной оценки коллективного радиационного риска как отдельных медицинских исследований (медицинских технологий), так и всего медицинского облучения в Российской Федерации и являлась предметом настоящего исследования. В случае медицинского облучения это тем более актуально, потому что оно является самым большим управляемым техно-

<sup>1</sup> Официальный сайт Международной комиссии по радиологической защите: <https://www.icrp.org> [Official website of the International Commission on Radiological Protection: <https://www.icrp.org>]

**Голиков Владислав Юрьевич**

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева.

**Адрес для переписки:** 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: sg235@rambler.ru

генным источником радиационного риска для населения Российской Федерации. Так, суммарная коллективная эффективная доза населения Российской Федерации за 1986–2019 гг. вследствие такой техногенной катастрофы, как Чернобыльская авария, оценивалась значением ~15000 чел.-Зв [3], в то время как коллективная доза от медицинского облучения только в одном 2019 г. составляла ~80000 чел.-Зв [4]. Среднее значение годовой эффективной дозы в 2019 г. в населенных пунктах Российской Федерации с поверхностной активностью цезия-137 более 37 кБк·м<sup>-2</sup> составило ~0,09 мЗв. Это меньше, чем эффективная доза, обусловленная рентгенографией легких (2 проекции). Всего лишь 10% снижение годовой коллективной дозы от медицинского облучения будет эквивалентно половине коллективной дозы от облучения радиоактивными выпадениями населения Российской Федерации после Чернобыльской аварии. Также понятно, что любое уточнение коллективной дозы населения от медицинского облучения имеет большое значение в системе управления радиационными рисками.

**Цель исследования** – оценка корректирующих факторов к значениям радиационного риска, получаемым на основе эффективной дозы и номинальных коэффициентов риска, для более адекватного определения коллективных радиационных рисков как за счет отдельных медицинских исследований, так и для всего медицинского облучения населения в Российской Федерации.

### Материалы и методы

Характер возрастной зависимости радиационного риска онкологической заболеваемости различен для разных органов. Так, например, для желудка и щитовидной железы наблюдается достаточно выраженный спад значений радиационного риска онкологической заболеваемости с возрастом, в то время как для красного костного мозга он менее выражен, а для легких и пищевода наблюдается максимум риска в возрасте 45 и 75 лет соответственно [5]. Отсюда следует, что для корректного расчета коллективного риска за счет выполнения тех или иных медицинских исследований нужно знать возрастную состав пациентов.

В настоящее время систематические данные о половозрастном распределении пациентов при прохождении ими медицинских исследований в Российской Федерации труднодоступны. В качестве таких данных в настоящей работе были использованы европейские статистические данные [6]. Европейский половозрастной состав пациентов использовали в соответствии со структурой медицинских исследований в Российской Федерации,

оцененной нами на основании данных статистического наблюдения за дозами облучения граждан<sup>2</sup> (далее форма 3-ДОЗ) и представленной следующими медицинскими технологиями: флюорография, рентгенография, рентгеноскопия, компьютерная томография, специальные рентгенологические исследования. Для флюорографии использовали половозрастной состав пациентов из Европы, соответствующий рентгенографии легких, с поправкой на то, что в РФ флюорографию начинают делать с 14 лет. Рентгенография была представлена исследованиями черепа, органов грудной клетки (ОГК), шейного отдела позвоночника (ШОП), грудного отдела позвоночника (ГОП), поясничного отдела позвоночника (ПОП), брюшной полости (БП) и таза; компьютерная томография – исследованиями черепа, грудной клетки и БП; рентгеноскопия (РС) – исследованиями пищевода, пищевода и желудка, кишечника; специальные исследования – интервенционными исследованиями (ИИ) сосудов сердца. Медицинские исследования указанных отделов организма в рамках каждой из рассматриваемых медицинских технологий, согласно данным формы 3-ДОЗ для РФ за 2018 г., дают вклад в коллективную дозу медицинского облучения от 52% (исследования сосудов сердца) до 96% (рентгеноскопия). На рисунках 1 и 2 в качестве примера представлены возрастные распределения пациентов, усредненные по полу, подвергающихся рентгенографическим и КТ-исследованиям различных отделов организма.

Дозиметрическая модель каждого из исследований была представлена типичным набором физико-технических и геометрических параметров, собранных нами ранее в медицинских организациях РФ [7–10] и, где это было необходимо, заимствованных из литературы [11–14]. Значения органных и эффективных доз для этих исследований были рассчитаны с использованием компьютерных программ РСХМС 2.0 [15] и EDEREX [16] для рентгенографии, рентгеноскопии и интервенционных исследований и NCIST 2.01 [17] для компьютерной томографии. Типичные значения эффективных доз, опубликованные нами ранее<sup>3</sup>, представлены в таблице 1.

Пожизненный радиационный риск смерти с учётом вреда для здоровья от снижения качества жизни по причине онкологического заболевания у пациента пола  $G$  из возрастного интервала  $A$  (лет) и наследственного заболевания его потомков оценивался на основе поглощенных доз в органах и тканях, обусловленных проведением медицинского исследования, и значений коэффициентов пожизненного радиационного риска при облучении отдельных органов и тканей пациента по формуле (1) («золотой стандарт»):

<sup>2</sup> Приказ Росстата от 16.10.2013 г. № 411 «Об утверждении статистического инструментария для организации Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека федерального статистического наблюдения за санитарным состоянием территорий, профессиональными заболеваниями (отравлениями), дозами облучения». [Order of Rosstat from 10/16/2013 № 411 “On approval of statistical instruments for the organization of the Federal Service for Supervision in the Sector of Consumer Rights Protection and the Welfare of the Federal Statistical Observation of the sanitary condition of territories, professional diseases (poisoning), doses of irradiation (In Russ.)]

<sup>3</sup> МР 2.6.1.0215-20 «Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований», утвержденные Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 21.09.2020 г.). [Methodical Recommendation (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). (In Russ.)]

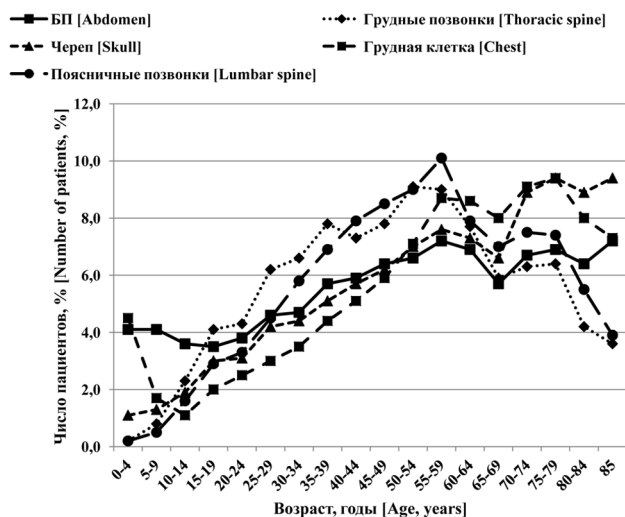


Рис. 1. Возрастные распределения пациентов при выполнении рентгенографии  
[Fig. 1. Age distribution of patients undergoing plain radiography]

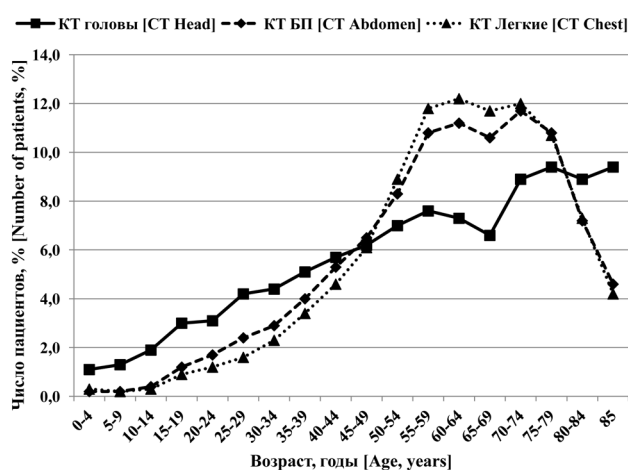


Рис. 2. Возрастные распределения пациентов при выполнении КТ-исследований  
[Fig. 2. Age distribution of patients undergoing CT examinations]

Типичные значения эффективных доз (мЗв) при выполнении медицинских исследований в РФ  
Typical values of effective doses (mSv) for the medical examinations performing in the Russian Federation

Таблица 1

[Table 1]

Исследование [Examination]	Возрастная категория, лет [Age, years]				
	0–4	5–9	10–14	15–19	Взрослые [Adults]
Рентгенография [Plain radiography]					
Череп [Skull]	0,04	0,04	0,03	0,05	0,07
ШОП [Cervical spine]	0,08	0,10	0,10	0,13	0,15
ГОП [Thoracic spine]	0,27	0,40	0,45	0,61	0,84
ОГК [Chest]	0,06	0,08	0,08	0,12	0,17
ПОП [Lumbar spine]	0,33	0,52	0,57	1,12	1,90
БП [Abdomen]	0,22	0,34	0,45	0,78	1,14
Таз [Pelvis]	0,21	0,43	0,52	0,61	0,79
Флюорография [Fluorography]					
Цифровая [Digital]				0,04	0,04
Пленочная [Film]				0,37	0,37
ИИ [Interventional examination]					
Исследование сосудов сердца [Cardiac angiography]	5,25	4,58	6,60	13,00	19,20
Рентгеноскопия [Fluoroscopy]					
РС желудка [Ba meal]			0,98	1,29	1,84
РС пищевода [Ba follow]	0,88	0,74	1,06	3,92	8,00
РС кишечника [Ba enema]			1,00	4,72	10,40
Компьютерная томография [CT]					
КТ Голова [CT Head]	1,59	1,63	1,55	2,08	1,90
КТ ОГК [CT Chest]	2,60	2,77	3,17	4,32	5,16
КТ ОБП [CT Abdomen]	5,72	5,81	6,32	6,90	7,10

$$R_A^G = \sum_O D_A^G(O) \cdot r_A^G(O) \quad (1)$$

где:  $R_A^G$  – пожизненный радиационный риск смерти с учётом вреда для здоровья от снижения качества жизни по причине онкологического заболевания у пациента пола  $G$  из возрастного интервала  $A$  (лет) и наследственного заболевания его потомков вследствие проведения радиологического исследования, отн. ед.;

$D_A^G(O)$  – поглощенная доза в органе  $O$  у пациента пола  $G$  при облучении в возрастном интервале  $A$  (лет) вследствие проведения радиологического исследования, мГр;

$r_A^G(O)$  – коэффициент пожизненного радиационного риска смерти, с учётом вреда от снижения качества жизни при облучении органа  $O$  дозой 1 мГр у лица пола  $G$  из возрастного интервала  $A$  (лет), мГр<sup>-1</sup>.

Для расчета рисков  $R_A^G$  по формуле (1) использовались значения поглощенных доз в органах, которые рассчитывались, как указывалось выше, с использованием компьютерных программ РСХМС 2.0, EDEREX и NCIST 2.01. Коэффициенты пожизненного радиационного риска смерти с учётом вреда от снижения качества жизни по причине онкологического заболевания различных органов и тканей после их облучения дозой 1 мГр для мужчин и женщин из разных возрастных интервалов на момент облучения были заимствованы для российской популяции из МР 2.6.1.0098-15<sup>4</sup>, а для комpositитной популяции из работ [5,18]. Значения рисков  $R_A^G$  для мужчин и женщин для 30 основных медицинских исследований разных категорий приведены в МР 2.6.1.0215-20.

Расчет корректирующих факторов  $K^{иссл}$  к значениям радиационного риска, полученным на основе эффективной дозы и номинальных коэффициентов риска, проводился следующим образом:

Рассчитывали значения возрастных корректирующих факторов  $K_A^{иссл}$ , связанных с проведением рентгенологического исследования, для пациентов из всех возрастных интервалов  $A$ :

$$K_A^{иссл} = \frac{[R_A^M \cdot f_A^M + R_A^F \cdot f_A^F]}{5,7 \cdot 10^{-5} \cdot E_A \cdot [f_A^M + f_A^F]}, \text{ отн. ед.} \quad (2)$$

$$\sum_A [f_A^M + f_A^F] = 1$$

где:  $R_A^M$  – пожизненный радиационный риск смерти с учётом вреда для здоровья от снижения качества жизни по причине онкологического заболевания у пациента мужского пола из возрастного интервала  $A$  (лет) и наследственного заболевания его потомков вследствие проведения радиологического исследования, отн. ед. (МР 2.6.1.0215-20);

$R_A^F$  – пожизненный радиационный риск смерти с учётом вреда для здоровья от снижения качества жизни по причине онкологического заболевания у пациента женского пола из возрастного интервала  $A$  (лет) и наследственного заболевания его потомков вследствие проведения радиологического исследования, отн. ед. (МР

2.6.1.0215-20);

$E_A$  – эффективная доза у пациента из возрастного интервала  $A$  (лет), мЗв;

$5,7 \cdot 10^{-5} \text{ мЗв}^{-1}$  – номинальный коэффициент риска для всего населения;

$f_A^M$  – доля пациентов мужского пола в возрастном интервале  $A$  [6];

$f_A^F$  – доля пациентов женского пола в возрастном интервале  $A$  [6].

Рассчитывали значение корректирующего фактора  $K^{иссл}$  для данного рентгенологического исследования как средневзвешенную по доле пациентов обоих полов в возрастной группе  $A$  сумму возрастных корректирующих факторов  $K_A^{иссл}$ :

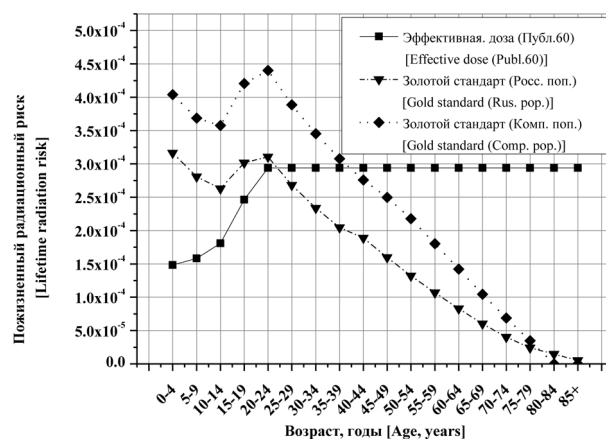
$$K^{иссл} = \sum_A \frac{[R_A^M \cdot f_A^M + R_A^F \cdot f_A^F]}{5,7 \cdot 10^{-5} \cdot E_A \cdot [f_A^M + f_A^F]} \cdot [f_A^M + f_A^F] =$$

$$= \sum_A \frac{[R_A^M \cdot f_A^M + R_A^F \cdot f_A^F]}{5,7 \cdot 10^{-5} \cdot E_A} \quad (3)$$

С использованием вышеописанной методологии, были рассчитаны значения корректирующих факторов, позволяющих, с учетом половозрастных распределений пациентов, оценить радиационный риск, обусловленный выполнением различных рентгенологических исследований.

### Результаты и обсуждение

В качестве примера, иллюстрирующего методику расчета, определим значение корректирующего фактора при проведении КТ органов грудной клетки (ОГК). На рисунке 3 в графическом виде представлены результаты расче-



**Рис. 3.** Зависимость от возраста значения пожизненного радиационного риска, рассчитанного для российской и комpositитной популяции, согласно «золотому стандарту» и эффективной дозе с номинальным коэффициентом риска при проведении КТ ОГК

**[Fig. 3.** Age dependence of the lifetime radiation risk due to the Chest CT calculated for the Russian and Composition population according to the “gold standard” and effective dose]

<sup>4</sup> МР 2.6.1.0098-15 «Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований», утвержденные Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 06.04.2015 г. [Methodical Recommendation (MR) 2.6.1.0098-15 “Assessment of radiation risk of patients during radiological examinations”. Approved by the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation on 06.04.2015). (In Russ.)]

та зависимости от возраста пациента пожизненного радиационного риска, обусловленного проведением КТ ОГК, по формуле (1) для российской и композитной популяции («золотой стандарт») и с помощью эффективной дозы и номинального коэффициента риска. Непосредственно видно, что для российской популяции пожизненный радиационный риск, оцененный с помощью методики «золотого стандарта», превышает аналогичную величину, полученную с помощью эффективной дозы лишь для детей. У всех же взрослых пациентов это соотношение меньше единицы. Для композитной популяции это отношение больше единицы вплоть до возраста 40 лет, и далее с возрастом становится меньше единицы.

Необходимые для расчета корректирующего фактора данные и результат расчета для этого исследования представлены в таблице 2. Использовали распределение пациентов по 5-летним возрастным интервалам [6] и соответствующий каждому возрастному интервалу корректирующий фактор, рассчитанный по формуле (2) (столбцы 2 и 3 таблицы 2) для процедуры КТ ОГК. Общее значение корректирующего фактора для КТ ОГК для российской и композитной популяции рассчитывали по формуле (3).

Таким образом, коллективный радиационный риск от проведения КТ ОГК в Российской Федерации, оцененный

согласно «золотому стандарту» на основе коэффициентов риска, для российской популяции в 3 раза ниже, а на основе коэффициентов риска для композитной популяции – в 2 раза ниже, чем его оценка, выполненная на основе эффективной дозы и номинального коэффициента риска.

Окончательные результаты расчетов значений корректирующих факторов при проведении как отдельных рентгенологических исследований, так и при использовании более широких групп медицинских технологий (флюорография, рентгенография, рентгеноскопия, компьютерная томография) представлены в таблице 3. Переход от значений корректирующих факторов для отдельных рентгенологических исследований к их значениям для более широких групп медицинских технологий осуществлялся путем взвешивания корректирующих факторов отдельных исследований по доле их вклада в коллективную дозу соответствующей медицинской технологии с использованием данных формы 3-ДОЗ для России за 2018 г.

Видно, что абсолютные значения корректирующих факторов практически для всех рентгенологических исследований меньше единицы как для российской, так и для композитной популяции. Это связано, в основном, с тем, что возрастной состав пациентов смещен в сторону пожилых людей, для которых коэффициент риска меньше

Исходные данные и результаты расчета значения корректирующего фактора при проведении КТ ОГК  
 [Initial data and results of the calculation of the correction factor value for the Chest CT]

Возрастная группа (A), годы [Patient age group (A), years]	$K_A^{иссл}$ , (Российская популяция)	$K_A^{иссл}$ , (Композитная популяция)	$f_A^M / f_A^F$
	$[K_A^{exam}$ , Russian population]	$[K_A^{exam}$ , Composite population]	
0–4	1,77	2,38	0,002/0,001
5–9	1,78	2,33	0,001/0,001
10–14	1,26	1,80	0,002/0,001
15–19	1,18	1,66	0,005/0,004
20–24	0,99	1,44	0,007/0,005
25–29	0,87	1,29	0,009/0,007
30–34	0,78	1,16	0,012/0,011
35–39	0,68	1,04	0,018/0,016
40–44	0,64	0,94	0,023/0,023
45–49	0,54	0,84	0,032/0,029
50–54	0,44	0,72	0,050/0,039
55–59	0,35	0,59	0,069/0,049
60–64	0,27	0,46	0,073/0,049
65–69	0,20	0,34	0,068/0,049
70–74	0,13	0,23	0,070/0,050
75–79	0,08	0,12	0,059/0,048
80–84	0,05		0,037/0,036
85+	0,02		0,018/0,024
	$K^{иссл} = 0,32^*$	$K^{иссл} = 0,50^*$	

Таблица 3

Корректирующие факторы к значениям риска, рассчитанным с помощью эффективных доз и номинальных значений коэффициентов риска

[Table 3

Correction factors to the risk values calculated using effective doses and nominal values of risk coefficients]

Исследование [Examination]	Корректирующий фактор (русская популяция) [Correction factor (Russian population)]	Корректирующий фактор (композитная популяция) [Correction factor (Composite population)]
Флюорография [Fluorography]	$K^{Фл}=0,45$ [ $K^{Фл}=0,45$ ]	$K^{Фл}=0,65$ [ $K^{Фл}=0,65$ ]
Рентгенография [Plain radiography]	$K^{РГ}=0,38$ [ $K^{РГ}=0,38$ ]	$K^{РГ}=0,58$ [ $K^{РГ}=0,58$ ]
Чепеп [Skull]	0,71	1,00
ОГК [Chest]	0,50	0,74
ШОП [Cervical spine]	0,35	0,44
ГОП [Thoracic spine]	0,64	0,96
ПОП [Lumbar spine]	0,32	0,50
БП [Abdomen]	0,30	0,48
Таз [Pelvis]	0,19	0,32
Интервенционные исследования [Interventional Examinations]	$K^{ИИ}=0,40$ [ $K^{ИИ}=0,40$ ]	$K^{ИИ}=0,60$ [ $K^{ИИ}=0,60$ ]
Коронарная ангиография [Coronary angiography]	0,40	0,60
КТ [CT]	$K^{КТ}=0,41$ [ $K^{КТ}=0,41$ ]	$K^{КТ}=0,58$ [ $K^{КТ}=0,58$ ]
Головы [Head]	0,77	0,93
Грудной клетки [Chest]	0,33	0,51
Брюшной полости [Abdomen]	0,29	0,46
Рентгеноскопия [Fluoroscopy]	$K^{РС}=0,20$ [ $K^{РС}=0,20$ ]	$K^{РС}=0,31$ [ $K^{РС}=0,31$ ]
Пищевода [Ba follow]	0,31	0,44
Пищевода и желудка [Ba meal]	0,28	0,43
Кишечника [Ba enema]	0,09	0,13

номинального, используемого в концепции эффективной дозы. Кроме того, дозы у детей при проведении многих медицинских исследований значительно ниже, чем у взрослых пациентов.

Таким образом, в отличие от оценки индивидуального риска, когда использование эффективной дозы и номинальных коэффициентов риска для молодых пациентов будет приводить к недооценке риска, при расчете коллективного риска рентгенологического исследования, с учетом половозрастного состава пациентов, использование эффективной дозы будет являться консервативной оценкой радиационного риска.

Расчет коллективного риска  $R$  у населения РФ за счет всего медицинского облучения с коррекцией на половозрастную зависимость коэффициентов риска, используя данные, содержащиеся в форме 3-ДОЗ, можно выполнить с помощью соотношений:

– при использовании коэффициентов риска для российской популяции:

$$R = 0,057 \cdot (0,45 \cdot E_{колл}^{Фл} + 0,38 \cdot E_{колл}^{РГ} + 0,41 \cdot E_{колл}^{КТ} + 0,20 \cdot E_{колл}^{РС} + 0,40 \cdot E_{колл}^{ИИ}) \quad (4)$$

– при использовании коэффициентов риска для композитной популяции:

$$R = 0,057 \cdot (0,65 \cdot E_{колл}^{Фл} + 0,58 \cdot E_{колл}^{РГ} + 0,58 \cdot E_{колл}^{КТ} + 0,31 \cdot E_{колл}^{РС} + 0,60 \cdot E_{колл}^{ИИ}) \quad (5)$$

где:  $R$  – коллективный пожизненный радиационный риск смерти с учетом вреда для здоровья от снижения качества жизни по причине онкологического заболевания и наследственного заболевания потомков;  $E_{колл}^{Фл}$ ,  $E_{колл}^{РГ}$ ,  $E_{колл}^{КТ}$ ,  $E_{колл}^{РС}$ ,  $E_{колл}^{ИИ}$  – коллективные эффективные дозы от использования различных медицинских технологий, чел.-Зв;  $0,057 \text{ Зв}^{-1}$  – номинальный коэффициент риска для всего населения.

Используя формулы (4) и (5) и данные о коллективных эффективных дозах за счет использования отдельных медицинских технологий из формы 3-ДОЗ РФ за 2018 г., легко показать, что коллективный риск за счет выполнения медицинских исследований в РФ в 2018 г. будет в 2,5 раза меньше по сравнению с его оценкой на основании использования эффективной дозы с номинальным коэффициентом риска, если использовать коэффициенты риска для российской популяции, и в 1,7 раза меньше, если использовать коэффициенты риска для композитной популяции.

### Заключение

Разработан подход, позволяющий с учетом зависимости коэффициентов риска радиогенного рака от пола и возраста пациента и половозрастного распределения пациентов для различных медицинских исследований оценивать коллективный риск от проведения как отдельных рентгенорадиологических медицинских исследований, так и медицинского облучения населения в целом в Российской Федерации.

### Литература

1. Рекомендации 2007 года Международной комиссии по радиационной защите. Публикация 103 МКРЗ / пер. с англ. И.А. Гусева ; под общ. ред. М.Ф. Киселева и Н.К. Шандалы. М.: Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009. 344 с.
2. Use of dose quantities in radiological protection. ICRP Publication 147 // Ann. ICRP. 2021. Vol. 50, No 1.
3. Брук Г.Я., Базюкин А.Б., Братилова А.А., и др. Средние накопленные за 1986-2016 годы эффективные дозы облучения жителей населенных пунктов Российской Федерации, отнесенных к зонам радиоактивного загрязнения по постановлению Правительства Российской Федерации от 08.10.2015 № 1074 «Об утверждении Перечня населенных пунктов, находящихся в границах зон радиоактивного загрязнения вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС» // Радиационная гигиена. 2017. Т. 10, № 2. С. 57–105.
4. Барковский А.Н., Ахматдинов Руслан Р., Ахматдинов Рустам Р., и др. Итоги функционирования Единой государственной системы контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан Российской Федерации по данным за 2019 г. // Радиационная гигиена. 2020. Т. 13, № 4. С. 110–119. DOI: 10.21514/1998-426X-2020-13-4-110-119.
5. Wall B.F., Haylock R., Jansen J.T.M., et al. Radiation Risks from Medical X-ray Examinations as a Function of the Age and Sex of the Patient. Report HPA-CRCE-028. Chilton: Health Protection Agency; 2011. 66 p.
6. Medical Radiation Exposure of the European Population. Part 1/2. Radiation protection № 180. European Commission; 2014. 181 p.
7. Голиков В.Ю., Сарычева С.С., Балонов М.И., Кальницкий С.А. Оценка доз облучения пациентов при проведении интервенционных рентгенологических исследований // Радиационная гигиена. 2009. Т. 2, № 3. С. 26–31.
8. Голиков В.Ю., Балонов М.И., Кальницкий С.А., и др. Уровни облучения пациентов при проведении рентгенологических исследований в Санкт-Петербурге и Ленинградской области // Радиационная гигиена. 2011. Т. 4, № 1. С. 5–13.
9. Братилова А.А., Голиков В.Ю., Кальницкий С.А. Уровни облучения пациентов при проведении рентгеновской компьютерной томографии в медицинских организациях Санкт-Петербурга и Ленинградской области // Радиационная гигиена. 2014. Т. 7, № 3. С. 33–38.
10. Балонов М.И., Голиков В.Ю., Звонова И.А., и др. Современные уровни медицинского облучения в России // Радиационная гигиена. 2015. Т. 8, № 3. С. 67–79.
11. Yakoumakis E., Dimitriadis A., Gialousis G., et al. Evaluation of organ and effective doses during paediatric barium meal examinations using PCXMC 2.0 Monte Carlo code // Radiation Protection Dosimetry. 2015. Vol. 163, No 2. P. 202–209. DOI: 10.1093/rpd/ncu174.
12. Damilakis J., Stratakis J., Raissaki M., et al. Normalized dose data for upper gastrointestinal tract contrast studies performed to infants // Medical Physics. 2006. Vol. 33, No 4. P. 1033–1040. DOI: 10.1118/1.2181297.
13. Livingstone R.S., Eapen A., Chiramel G.K. Radiation dose to paediatric patients undergoing fluoroscopic examinations performed using digital imaging system // Radiography. 2008. Vol. 14, No 1. P. 17–23. DOI: 10.1016/j.radi.2006.06.004.
14. Weir K.A., McMahon, S.M., Long G., et al. Radiation doses to children during modified barium swallow studies // Pediatric Radiology Journal. 2007. Vol. 37, No 3. P. 283–290. DOI: 10.1007/s00247-006-0397-6.
15. Tapiovaara M., Siiskonen T. PCXMC. A Monte Carlo program for calculating patient doses in medical x-ray examinations (2<sup>nd</sup> Ed.). STUK-A231 Report. Helsinki: Radiation and Nuclear Safety Authority; 2008. 49 p.
16. Golikov V., Barkovsky A., Wallström E., Cederblad Å. A comparative study of organ doses assessment for patients undergoing conventional X-ray examinations: phantom experiments vs. calculations // Radiation Protection Dosimetry. 2018. Vol. 178, No 2. P. 223–234. DOI: 10.1093/rpd/ncx102.
17. Lee C., Kim K.P., Bolch W.E., et al. NCICT: a computational solution to estimate organ doses for pediatric and adult patients undergoing CT scans // Journal of Radiological Protection. 2015. Vol. 35, No 4. P. 891–909. DOI: 10.1088/0952-4746/35/4/891.
18. Ivanov V.K., Tsyb A.F., Mettler F.A., et al. Methodology for estimating cancer risks of diagnostic medical exposure: with an example of the risks associated with computed tomography // Health Physics. 2012. Vol. 103, No 6. P. 732–739. DOI: 10.1097/HP.0b013e31825c179f.

Поступила: 28.07.2021 г.

**Голиков Владислав Юрьевич** – старший 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. **Адрес для переписки:** 197101, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: sg235@rambler.ru

**Для цитирования:** 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

## Evaluation of the radiation risk of medical examinations in the Russian Federation taking into account the age and sex distribution of the patients

Vladislav Yu. Golikov

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

*The aim of the study was to develop a methodology that allows taking into account the age and sex dependencies of the risk of radiogenic cancer and the age and sex distribution of the patients to evaluate the collective risk due to separate X-ray examinations and medical exposure in the Russian Federation as a whole. Methodology is based on the use of lifetime risk coefficients estimated for the Russian and Composite population and the results of the study of typical doses of patients for various X-ray examinations in the Russian Federation. It is shown that the assessment of the radiation risk of separate X-ray examinations calculated using lifetime age and sex risk coefficients, organ doses and age distributions of patients may differ up to order of magnitude from the risk assessment based on effective dose and nominal risk coefficients. The difference in estimating of the collective risk of total medical exposure in the Russian Federation by these two methods reached 2.5 times in 2018.*

**Key words:** medical examinations, patients, radiation risk, nominal risk coefficients, effective dose.

### References

- ICRP Publication 103. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection: translation from English. Edited by M.F. Kiselev, N.K. Shandala. Moscow: «Alana»; 2009. 312 p. (In Russian).
- Use of dose quantities in radiological protection. ICRP Publication 147. *Ann. ICRP*; 50(1).
- Bruk GYa, Bazuykin AB, Bratilova AA, Vlasov AYu, Gromov AV, Zhesko TV, et al. The average accumulated effective doses (1986-2016) for the population of the settlements of the Russian Federation attributed to the zones of radioactive contamination according to the Russian Federation government resolution «On the approval of the list of the settlements being in the borders of the zones of radioactive contamination due to the disaster on the Chernobyl NPP» № 1074 from 08.10.2015. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2017;10(2): 57–105. (In Russian).
- Barkovsky AN, Akhmatdinov Ruslan R, Akhmatdinov Rustam R, Biblin AM, Bratilova AA, Zhuravleva VE, et al. The outcomes of functioning of the Unified System of Individual Dose Control of the Russian Federation citizens based on the 2019 data. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2020;13(4): 110–9. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2020-13-4-110-119.
- Wall BF, Haylock R, Jansen JTM, Hillier MC, Hart D, Shrimpton PC. Radiation Risks from Medical X-ray Examinations as a Function of the Age and Sex of the Patient. Report HPA-CRCE-028. Chilton: Health Protection Agency; 2011. 66 p.
- Medical Radiation Exposure of the European Population. Part 1/2. Radiation protection № 180. European Commission; 2014. 181 p.
- Golikov VYu, Sarycheva SS, Balonov MI, Kalnitsky SA. Estimation of patients exposure under intervention radiological examinations. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2009;2(3): 26–31. (In Russian).
- Golikov VYu, Balonov MI, Kalnitsky SA, Bratilova AA, Sarycheva SS, Shatsky IG, et al. Exposure levels of patients during radiological examinations in St. Petersburg and the Leningrad region. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2011;4(1): 5–13. (In Russian).
- Bratilova AA, Golikov VYu, Kalnitsky SA. Exposure levels of patients during computed tomography in medical organizations of Saint-Petersburg and Leningrad region. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2014;7(3): 33–8. (In Russian).
- Balonov MI, Golikov VYu, Zvonova IA, Kalnitsky SA, Repin VS, Sarycheva SS, et al. Current levels of medical exposure in Russia. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2015;8(3): 67–79. (In Russian).
- Yakoumakis E, Dimitriadis A, Gialousis G, Makri T, Karavasilis E, Yakoumakis N, et al. Evaluation of organ and effective doses during paediatric barium meal examinations using PCXMC 2.0 Monte Carlo code. *Radiation Protection Dosimetry*. 2015;163(2): 202–9. DOI: 10.1093/rpd/ncu174.
- Damilakis J, Stratakis J, Raissaki M, Perisinakis K, Kourbetis N, Gourtsoyiannis N, et al. Normalized dose data for upper gastrointestinal tract contrast studies performed to infants. *Medical Physics*. 2006;33(4): 1033–40. DOI: 10.1118/1.2181297.
- Livingstone RS, Eapen A, Chiramel GK. Radiation dose to pediatric patients undergoing fluoroscopic examinations performed using digital imaging system. *Radiography*. 2008;14(1): 17–23. DOI: 10.1016/j.radi.2006.06.004.
- Weir KA, McMahon, SM, Long G, Bunch JA, Pandeya N, Coakley KS, et al. Radiation doses to children during modified barium swallow studies. *Pediatric Radiology Journal*. 2007;37(2): 283–90. DOI: 10.1007/s00247-006-0397-6.
- Tapiovaara M, Siiskonen T. PCXMC. A Monte Carlo program for calculating patient doses in medical x-ray examinations (2<sup>nd</sup> Ed.). STUK-A231 Report. Helsinki: Radiation and Nuclear Safety Authority; 2008. 49 p.
- Golikov V, Barkovsky A, Wallström E, Cederblad Å. A comparative study of organ doses assessment for patients undergoing conventional X-ray examinations: phantom ex-

Vladislav Yu. Golikov

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

Address for correspondence: Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: sg235@rambler.ru



- periments vs. calculations. *Radiation Protection Dosimetry*. 2018;178(2): 223–34. DOI: 10.1093/rpd/ncx102.
17. Lee C, Kim KP, Bolch WE, Moroz BE, Folio L. NCICT: a computational solution to estimate organ doses for pediatric and adult patients undergoing CT scans. *Journal of Radiological Protection*. 2015;35(4): 891–909. DOI: 10.1088/0952-4746/35/4/891.
18. Ivanov VK, Tsyb AF, Mettler FA, Menyaylo AN, Kashcheev VV. Methodology for estimating cancer risks of diagnostic medical exposure: with an example of the risks associated with computed tomography. *Health Physics*. 2012;103(6): 732–9. DOI: 10.1097/HP.0b013e31825c179f.

Received: July 28, 2021

**For correspondence: Vladislav Yu. Golikov** – Senior Researcher of the Medical Protection Laboratory, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being (Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: sg235@rambler.ru)

**For citation: Golikov V.Yu. 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. Vol. 15, No. 1. P. 59-67. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-1-59-67**