DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-3-56-68
УДК: 614.876:616-073.75(470)

Оценка радиационного риска у пациентов при проведении медицинских исследований в Российской Федерации

В.Ю. Голиков, А.В. Водоватов, Л.А. Чипига, И.Г. Шацкий

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 методики оценки радиационного риска для пациентов, подвергающихся медицинским исследованиям в Российской Федерации. В основе методики лежат модели риска Публикации 103 МКРЗ, коэффициенты пожизненного радиационного риска для российской популяции и собственные результаты оценки типичных доз облучения пациентов, подвергающихся различным медицинским исследованиям в Российской Федерации. Для 30 исследований, определяющих около 80% коллективной дозы населения Российской Федерации от медицинского облучения, радиационный риск был рассчитан с использованием «золотого стандарта», а именно органных доз и соответствующих половозрастных коэффициентов риска для российской популяции. Для остальных медицинских исследований (за исключением маммографии) для оценки радиационного риска использовали значения коэффициентов риска, рассчитанных на 1 мЗв эффективной дозы, представляющей собой ее усредненное значение для 4 выбранных анатомических областей тела: голова, шея, грудная клетка и брюшная полость – таз. Предполагается, что в рамках такого подхода погрешность оценки риска возрастет по отношению к погрешности оценки риска, оцененной для вышеупомянутых 30 исследований, не более чем на ±30%. Показано, что значения пожизненного риска смерти с учётом вреда от снижения качества жизни по причине онкологического заболевания и наследственных эффектов варьируют в зависимости от пола и возраста пациента различным образом в зависимости от того, какие органы подвергаются облучению во время медицинского исследования. Оценки риска для некоторых исследований и значений возраста и пола пациента, рассчитанные с использованием «золотого стандарта», могут отличаться от полученных с помощью эффективной дозы и номинальных коэффициентов риска МКРЗ, усредненных по возрасту и полу, до порядка величины. Продемонстрированы различия в оценках риска у пациентов, связанные с использованием коэффициентов риска для российской и композитной популяции.

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

Введение

При использовании источников ионизирующего излучения в медицине облучение персонала и населения регулируется с использованием всех 3 принципов радиационной защиты: обоснования, оптимизации и ограничения облучения, в то время как облучение пациентов – с помощью только 2 (ограничение доз облучения пациентов не применяется) [1–3]. В связи с этим, учитывая, что использование на практике принципов обоснования и оптимизации основано на сопоставлении пользы и риска для пациента от проведения лечебно-диагностической процедуры, уровни облучения должны быть выражены в терминах дозовых величин, позволяющих оценить радиационный риск от применения данной процедуры. Решение этого вопроса находится в компетенции врача лучевой диагностики и медицинского физика на основе направления/обоснования лечащего врача. То есть медицинский персонал как в рамках своей профессиональной деятельности, так и при общении с пациентами должен обладать доступной информацией об уровнях радиационного риска при проведении рентгенорадиологических исследований.

До последнего времени МКРЗ не рекомендовала использовать эффективную дозу и номинальные коэффициенты риска для определения радиационных рисков медицинского облучения пациентов. Однако на практике это широко использовалось. Для целей оценки радиационного пожизненного атрибутивного риска возникновения стохастических эффектов «золотым стандартом» считается использование поглощенных доз в органах и соответствующих индивидуальных коэффициентов риска для этих органов с учетом их зависимости от возраста и пола пациента, подвергающегося медицинской процедуре [1]. Применение же эффективной дозы в отношении пациентов МКРЗ ограничивала сравнением доз:

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

– 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, например, произведение дозы на площадь. При этом при таких сравнениях 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 можно использовать для грубой оценки (approximate indicator of possible risk) радиационного риска у пациентов [4]. Собственно попытка реализовать на практике этот подход для более корректной оценки риска медицинского облучения, т.е. использовать вместо номинальных значений коэффициентов риска коэффициенты риска, зависящие от возраста и пола пациентов, и являлась предметом настоящего исследования.

Предыдущая методика оценки радиационного риска у пациентов в РФ МР 2.6.1.0098-15[1], опирающаяся на соответствующие исследования, посвященные использованию коэффициентов риска, зависящих от возраста и пола пациентов [5–8], имеет ряд недостатков:

1) не учитывается различный вид зависимости органных коэффициентов риска от возраста пациента (эта зависимость полагается одинаковой и соответствующей однородному облучению тела);

2) дети всех возрастов объединены в одну группу, а взрослые представлены двумя возрастными группами, что является, на наш взгляд, слишком грубым приближением;

3) используются значения пожизненных атрибутивных рисков, усреднённых по композитной (европейско-американской и азиатской) популяции (т.е. не используются данные российского ракового регистра).

Цель исследования – разработка методики оценки радиационного риска для пациентов, подвергающихся медицинским исследованиям в РФ, с использованием коэффициентов риска, зависящих от возраста и пола пациентов.

Модель медицинского облучения для расчета радиационных рисков пациентов в РФ

Для расчетов радиационного риска у пациентов медицинские исследования в РФ были разделены на несколько групп:

1. *Тридцать наиболее часто встречающихся на практике медицинских исследований (Список «тридцати»), относящихся к разным технологиям получения медицинского изображения (рентгенография, рентгеноскопия, компьютерная томография, интервенционные исследования, радионуклидная диагностика), вклад которых в коллективную дозу населения РФ от медицинского облучения составляет более 80% [8].*

Дозиметрическая модель каждого из них была представлена типичным набором физико-технических и геометрических параметров, собранных нами ранее в медицинских организациях РФ [9–15] и там, где это было необходимо, заимствованных из литературы [16–19]. В таблице 1 приведен состав и количество проекций, представляющих эти исследования, в зависимости от возраста пациента для рентгенографии, рентгеноскопии и интервенционных исследований; количество фаз для КТ-исследований и средние значения вводимых активностей при выполнении исследований радионуклидной диагностики.

Значения органных и эффективных доз для этих исследований были рассчитаны с использованием ком-

Таблица 1

Типичные характеристики рассматриваемых медицинских исследований в зависимости от возраста пациента

[Table 1

Typical characteristics of the medical examinations under consideration depending on the age of the patient]

	Возраст пациента, лет [Age of patient, years]				
	0–4	5–9	10–14	15–19	> 20
Рентгенография [Plain radiography]	Состав и количество проекций [Projections]				
Череп [Skull]	ПЗ+0,5Б [AP+0.5Lat]	ПЗ+0,5Б [AP+0.5Lat]	ПЗ+0,5Б [AP+0.5Lat]	ПЗ+0,5Б [AP+0.5Lat]	ПЗ+0,5Б [AP+0.5Lat]
ШОП [Cervical spine]	ПЗ+0,5Б [AP+0.5Lat]	ПЗ+0,5Б [AP+0.5Lat]	ПЗ+0,5Б [AP+0.5Lat]	ПЗ+0,5Б [AP+0.5Lat]	ПЗ+Б [AP+Lat]
ГОП [Thoracic spine]	ПЗ+0,5Б [AP+0.5Lat]	ПЗ+0,5Б [AP+0.5Lat]	ПЗ+0,5Б [AP+0.5Lat]	ПЗ+0,5Б [AP+0.5Lat]	ПЗ+Б [AP+Lat]
ОГК [Chest]	ПЗ+0,5Б [AP+0.5Lat]	ЗП+0,5Б [PA+0.5Lat]	ЗП+0,5Б [PA+0.5Lat]	ЗП+0,5Б [PA+0.5Lat]	ЗП+0,5Б [PA+0.5Lat]

[1] Методические рекомендации «Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований». МР 2.6.1.0098-15: http://niirg.ru/PDF/MR-2.6.1.0098-15.pdf (Дата обращения: 10.06.2021) [Methodical guidelines “Assessment of the radiation risk rom X-ray and nuclear medicine examinations”. MR 2.6.1.0098-15 (Accessed: 10.06.2021) (In Russ.)]

Продолжение таблицы 1

	Возраст пациента, лет [Age of patient, years]				
	0–4	5–9	10–14	15–19	> 20
ПОП [Lumbar spine]	ПЗ+0,5Б [AP+0.5Lat]	ПЗ+0,5Б [AP+0.5Lat]	ПЗ+0,5Б [AP+0.5Lat]	ПЗ+0,5Б [AP+0.5Lat]	ПЗ+Б [AP+Lat]
БП [Abdomen]	ПЗ [AP]	ПЗ [AP]	ПЗ [AP]	ПЗ [AP]	ПЗ [AP]
Таз [Pelvis]	ПЗ+0,4Б [AP+0.4Lat]	ПЗ+0,4Б [AP+0.4Lat]	ПЗ+0,4Б [AP+0.4Lat]	ПЗ+0,4Б [AP+0.4Lat]	ПЗ+0,4Б [AP+0.4Lat]
Рентгеноскопия [Fluoroscopy]	Состав и количество проекций [Projections]				
Пищевода [Ba follow]			4ПЗ+ 1Б [4AP+1Lat]	4ПЗ+ 1Б [4AP+1Lat]	3ПЗ + 1 ЗП + 2Б [3AP+1PA+2Lat]
Желудка [Ba meal]	4ПЗ+ 1Б [4AP+1Lat]	4ПЗ+ 1Б [4AP+1Lat]	4ПЗ+ 1Б [4AP+1Lat]	4ПЗ+ 1Б [4AP+1Lat]	3ПЗ + 1 ЗП + 2Б [3AP+1PA+2Lat]
Ирригоскопия [Ba enema]			4ПЗ+ 1Б [4AP+1Lat]	4ПЗ+ 1Б [4AP+1Lat]	3ПЗ + 1 ЗП + 2Б [3AP+1PA+2Lat]
ИРЛИ [Interventional examination]	Состав и количество проекций [Projections]				
Исследование сосудов сердца [Cardiac angiography]	ЗП+LAO 90 [PA+LAO 90]	ЗП+LAO 90 [PA+LAO 90]	ЗП+LAO 90 [PA+LAO 90]	ЗП+LAO 90 [PA+LAO 90]	ЗП+LAO 90 [PA+LAO 90]
КТ [CT]	Количество фаз в исследовании [Number of scans]				
Головы [Head]	1	1	1	1	1
ОГК [Chest]	1	1	1	1	1
ОГК (контраст) [Chest with contrast]	2	2	2	2	2
ОБП [Abdomen]	1	1	1	1	1
ОБП (контраст) [Abdomen with contrast]	2	2	2	3	3-4
Радионуклидные исследования [Nuclear medicine examination]	Средние значения вводимых активностей РФП, МБк [Mean activity, MBq]				
Головной мозг ^{11}C-метионин [Brain with ^{11}C-metionine]	120	250	400	500	600
Головной мозг ^{18}F-ФДГ [Brain with ^{18}F-FDG]	70	100	130	145	150
Легкие ^{99m}Tc-макротех [Lung with ^{99m}Tc-MAA]	15	40	70	120	150
Печень ^{99m}Tc -бромезида [Liver with ^{99m}Tc-IDA]	45	55	70	115	150
Печень ^{99m}Tc -технефит [Liver with ^{99m}Tc-colloid]	25	45	70	115	150
Почки ^{123}I-гиппуран [Renal with ^{123}I-hyppuran]	9	20	28	30	30
Почки ^{99m}Tc -пентатех [Renal with ^{99m}Tc-DTPA]	25	40	75	125	150

Окончание таблицы 1

	Возраст пациента, лет [Age of patient, years]				
	0–4	5–9	10–14	15–19	> 20
Почки ^{99m}Tc -технемаг [Renal with ^{99m}Tc MAG3]	20	40	70	120	150
Скелет ^{99m}Tc-фосфаты [Bone with ^{99m}Tc-phosphates and phosphonates]	165	290	425	550	600
Тело ^{18}F-ФДГ [Whole body with ^{18}F-FDG]	100	175	235	285	300
Тело ^{67}Ga-цитрат [Whole body with ^{67}Ga-cytrate]	35	67	100	175	250
Тело ^{123}I-МИБГ [Whole body with ^{123}I-MIBG]	65	110	140	200	250
ЩЖ ^{123}I-NaI [Thyroid with ^{123}I-NaI]	5	7	9	10	10
ЩЖ ^{99m}Tc -пертехнетат [Thyroid with ^{99m}Tc-pertecnetate]	60	80	90	175	250

пьютерных программ PCXMC 2.0 [20] и EDEREX [21] для рентгенографии, рентгеноскопии и интервенционных исследований и NCICT 2.01 [22] для компьютерной томографии. Расчет органных и эффективной доз у пациентов при выполнении исследований радионуклидной диагностики проводили на основании средних активностей радиофармацевтических препаратов и дозовых коэффициентов для соответствующей возрастной группы пациентов [13, 23]. Результаты расчетов типичных значений эффективных доз представлены в таблице 2.

Таблица 2

Типичные значения эффективных доз (мЗв) при выполнении медицинских исследований в РФ, указанных в 1-й колонке таблицы

[Table 2

Typical values of effective doses (mSv) for medical examinations performing in the Russian Federation, specified in the 1st column of the Table]

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
ИРЛИ [Interventional examination]					
Исследование сосудов сердца [Cardiac angiography]	5,30	4,60	6,60	13,0	19,0

Окончание таблицы 2

Исследование [Examination]	Возрастная категория, лет [Age, years]				
	0–4	5–9	10–14	15–19	Взрослые [Adults]
Рентгеноскопия [Fluoroscopy]					
РС желудка [Ba meal]			1	1,3	1,8
РС пищевода [Ba follow]	0,88	0,74	1,1	3,9	8,0
Ирригоскопия [Ba enema]			1,0	4,7	10,4
Компьютерная томография [CT]					
КТ Голова [CT Head]	1,6	1,6	1,6	2,1	1,9
КТ ОГК [CT Chest]	2,6	2,8	3,2	4,3	5,2
КТ ОБП [CT Abdomen]	5,7	5,8	6,3	6,9	7,1
КТ ОГК (контраст) [CT Chest with contrast]	4,0	4,7	6,0	9,4	12
КТ ОБП (контраст) [CT Abdomen with contrast]	10	12	15	19	23
КТ всего тела [CT whole body]	14	13	13	14	15
Радионуклидные исследования [Nuclear medicine examination]					
СЦГ почек ^{99m}Tc-пентатех [Renal with ^{99m}Tc-DTPA]	0,44	0,47	0,55	0,70	0,77
СЦГ почек ^{99m}Tc-технемаг [Renal with ^{99m}Tc MAG3]	0,41	0,46	0,69	0,94	1,10
СЦГ почек ^{123}I-гиппуран [Renal with ^{123}I-hyppuran]	0,29	0,37	0,48	0,42	0,36
СЦГ тела ^{123}I-МИБГ [Whole body with ^{123}I-MIBG]	4,7	3,8	3,2	3,1	3,6
СЦГ скелета ^{99m}Tc-фосфаты [Bone with ^{99m}Tc-phosphates and phosphonates]	2,2	2,9	3	2,9	2,9
СЦГ тела ^{67}Ga-цитрат [Whole body with ^{67}Ga-cytrate]		16	18	19	27
СЦГ печени ^{99m}Tc-бромезида	3,1	2,0	1,6	1,7	2,1
СЦГ печени ^{99m}Tc-технефит [Liver with ^{99m}Tc-colloid]	1,4	0,93	1,0	1,2	1,4
СЦГ легких ^{99m}Tc-макротех [Lung with ^{99m}Tc-MAA]	0,72	1,1	1,3	1,6	1,8
СЦГ ЩЖ ^{99m}Tc-пертехнетат [Thyroid with ^{99m}Tc-pertecnetate]	2,6	1,7	1,3	1,5	2,1
СЦГ ЩЖ ^{123}I-NaI [Thyroid with ^{123}I-NaI]	4,5	3,0	1,8	1,5	1,1
ПЭТ/КТ тела ^{18}F-ФДГ [Whole body with ^{18}F-FDG]	9,6	8,4	6,7	5,5	6,1
ПЭТ/КТ ГМ ^{11}C-метионин [Brain with ^{11}C-metionine]	5,4	5,6	5,7	5,8	5,5
ПЭТ/КТ ГМ ^{18}F-ФДГ [Brain with ^{18}F-FDG]	6,1	4,7	3,9	2,8	3,1

Пожизненный радиационный риск смерти с учётом вреда для здоровья от снижения качества жизни по причине онкологического заболевания у пациента пола *G* и возраста *A* (лет) и наследственного заболевания его потомков можно оценить, зная поглощенные дозы в органах и тканях, обусловленные проведением медицинского исследования и значения коэффициентов пожизненного радиационного риска при облучении отдельных органов и тканей пациента единичной дозой («золотой стандарт»):

$$R(A,G) = \sum_{O} D(A,G,O) \cdot r(A,G,O) \qquad (1)$$

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* и возраста *A* (лет) и наследственного заболевания его потомков вследствие проведения рентгенорадиологического исследования, отн. ед.;

D(A, G, O) – поглощенная доза в органе *O* у пациента пола *G* при облучении в возрасте *A* (лет) вследствие проведения рентгенорадиологического 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* в возрасте *A* (лет), мГр$^{-1}$.

Для расчета рисков у пациентов при выполнении исследований из Списка 30 использовались значения поглощенных доз в органах и 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 (9 органов, включая «остальные органы») и женщин (11 органов, включая «остальные органы»). При расчете риска не были включены раки кости и кожи. Для российской популяции значения коэффициентов пожизненного радиационного риска были заимствованы из МР 2.6.1.0098-15, а для композитной (европейско-американской и азиатской) популяции из работ [6, 24].

2. Остальные медицинские исследования, не вошедшие в Список «тридцати» (за исключением маммографии)

Для оценки риска от этих медицинских исследований, менее часто применяющихся в медицинской практике и дающих менее 20% вклада в коллективную дозу медицинского облучения населения, использовали подход, предложенный в [6]. В рамках этого подхода в зависимости от того, в какой области тела проводится рентгенологическое исследование, значение радиационного риска у пациента получают умножением эффективной дозы, определенной согласно МУ 2.6.1.2944-11[2] и МУ 2.6.1.3584-19[3], на половозрастной коэффициент риска, нормированный на единичную эффективную дозу при выполнении медицинских исследований в 4 областях тела: голова, шея, грудная клетка и брюшная полость – таз (табл. 3). Если исследование проводилось в нескольких областях тела, то рекомендуется использовать половозрастные коэффициенты риска, соответствующие равномерному облучению тела. Коэффициенты риска, представленные в таблице 3, были получены путем усреднения значений, полученных делением половозрастных коэффициентов риска для исследований из Списка 30, на соответствующее данному исследованию значение эффективной дозы. Усреднялись половозрастные значения коэффициентов риска для следующих исследований, проводимых в соответствующих 4 областях тела:

– голова (графия черепа передне-заднее облучение (ПЗ) + 0,5 боковая проекция (Б) и КТ головы);

– шея (шейный отдел позвоночника (ШОП) ПЗ+Б);

– грудная клетка (ОГК) (графия ОГК ЗП+0,5Б, интервенционные исследования сосудов сердца, графия грудного отдела позвоночника (ГОП) ПЗ+Б и КТ ОГК);

– брюшная полость (БП) – таз (графия БП ПЗ, КТ брюшной полости, графия таза ПЗ+0,4Б, графия пояс-

Таблица 3

Коэффициенты пожизненного риска смерти с учётом вреда от снижения качества жизни, рассчитанные на 1 мЗв эффективной дозы (Публикация 60 МКРЗ [29]), для медицинских исследований, проводимых в указанных областях тела и при равномерном облучении

[Table 3

The lifetime detriment-weighted radiation risk coefficients taking into account the harm to reduce the quality of life calculated per 1 mSv effective dose (Publication 60 ICRP [29]) for medical examinations conducted in indicated areas of the body and with uniform irradiation]

Возраст, лет [Age, years]	r(A, G, O), мЗв$^{-1}$									
	Равномерное облучение [Uniform exposure]		Голова [Head]		Шея [Neck]		Грудная клетка [Chest]		Брюшная полость [Abdomen]	
	М [M]	Ж [F]	М [M]	Ж [F]	М [M]	Ж [F]	М [M]	Ж [F]	М [M]	Ж [F]
0–4	7,6E-05	1,8E-04	1,2E-04	2,2E-04	7,2E-05	2,6E-04	5,6E-05	2,2E-04	5,8E-05	1,1E-04
5–9	6,6E-05	1,5E-04	1,1E-04	1,7E-04	6,0E-05	1,9E-04	5,0E-05	1,8E-04	5,3E-05	9,9E-05
10–14	5,8E-05	1,2E-04	1,3E-04	1,5E-04	5,0E-05	1,5E-04	4,6E-05	1,4E-04	4,6E-05	7,8E-05
15–19	5,1E-05	9,8E-05	1,0E-04	1,1E-04	3,7E-05	1,0E-04	4,4E-05	1,0E-04	4,2E-05	6,2E-05
20–24	4,3E-05	8,2E-05	7,9E-05	9,5E-05	2,7E-05	7,1E-05	4,0E-05	8,1E-05	3,9E-05	5,6E-05
25–29	3,8E-05	6,9E-05	7,0E-05	8,0E-05	2,2E-05	5,1E-05	3,8E-05	7,1E-05	3,4E-05	4,8E-05
30–34	3,5E-05	5,8E-05	6,3E-05	6,7E-05	1,8E-05	3,6E-05	3,6E-05	6,3E-05	3,0E-05	4,1E-05
35–39	3,1E-05	4,9E-05	5,6E-05	5,6E-05	1,5E-05	2,6E-05	3,4E-05	5,6E-05	2,6E-05	3,5E-05
40–44	2,8E-05	4,6E-05	5,3E-05	6,9E-05	1,3E-05	2,2E-05	3,3E-05	5,7E-05	2,2E-05	3,2E-05
45–49	2,4E-05	3,7E-05	4,6E-05	5,5E-05	1,1E-05	1,6E-05	2,9E-05	4,9E-05	1,9E-05	2,6E-05
50–54	2,0E-05	3,0E-05	3,9E-05	4,2E-05	8,3E-06	1,1E-05	2,6E-05	4,1E-05	1,5E-05	2,0E-05
55–59	1,6E-05	2,4E-05	3,2E-05	3,2E-05	6,4E-06	8,1E-06	2,1E-05	3,4E-05	1,2E-05	1,6E-05
60–64	1,2E-05	1,8E-05	2,6E-05	2,4E-05	4,8E-06	5,8E-06	1,7E-05	2,7E-05	8,5E-06	1,1E-05

[2] МУ 2.6.1.2944-11. Контроль эффективных доз облучения пациентов при медицинских рентгенологических исследованиях. М.: Роспотребнадзор, 2011. 40 с. [MU 2.6.1.2944-11. Control of the effective patient doses from medical X-ray examinations. M. Rospotrebnadzor. 2011. 40 p. (In Russ.)]

[3] МУ 2.6.1.3584-19. Изменения в МУ 2.6.1.2944-11 «Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований». Методические указания» (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 30.10.2019) [MU 2.6.1.3584-19 Updates to MU 2.6.1.2944-11. Control of the effective patient doses from medical X-ray examinations(In Russ.)]

Окончание таблицы 3

Возраст, лет [Age, years]	r(A, G, O), мЗв$^{-1}$									
	Равномерное облучение [Uniform exposure]		Голова [Head]		Шея [Neck]		Грудная клетка [Chest]		Брюшная полость [Abdomen]	
	М [M]	Ж [F]	М [M]	Ж [F]	М [M]	Ж [F]	М [M]	Ж [F]	М [M]	Ж [F]
65–69	8,9E-06	1,3E-05	2,1E-05	1,7E-05	3,6E-06	3,8E-06	1,3E-05	2,0E-05	6,0E-06	7,6E-06
70–74	6,2E-06	8,2E-06	1,6E-05	1,1E-05	2,6E-06	2,4E-06	9,5E-06	1,3E-05	4,0E-06	4,6E-06
75–79	4,1E-06	4,7E-06	1,2E-05	6,6E-06	1,8E-06	1,4E-06	6,4E-06	7,9E-06	2,5E-06	2,5E-06
80–84	2,7E-06	2,7E-06	8,4E-06	3,9E-06	1,2E-06	7,8E-07	4,3E-06	4,6E-06	1,6E-06	1,4E-06
85+	1,4E-06	7,6E-07	5,9E-06	2,2E-06	7,7E-07	3,3E-07	2,1E-06	1,3E-06	8,6E-07	4,2E-07

ничного отдела позвоночника (ПОП) ПЗ+Б и рентгеноскопия желудка).

Таким образом, были получены модифицированные значения коэффициентов риска, выражающих риск смерти с учётом вреда от снижения качества жизни по причине онкологического заболевания различных органов и тканей для мужчин и женщин из различных возрастных интервалов на момент облучения на единицу эффективной дозы.

На рисунке 1 в качестве примера приведены зависимости от возраста значений коэффициентов риска для мужчин, рассчитанных на 1 мЗв эффективной дозы для медицинских исследований в 4 областях тела: голова, шея, грудная клетка и брюшная полость – таз, в сравнении с их значениями для равномерного облучения тела. На рисунке 2 приведены отличия в % этих коэффициентов от аналогичных значений при равномерном облучении тела. Напомним, что именно модель равномерного облучения тела была принята в предыдущей методике оценки радиационного риска у пациентов МР 2.6.1.0098-15 в РФ.

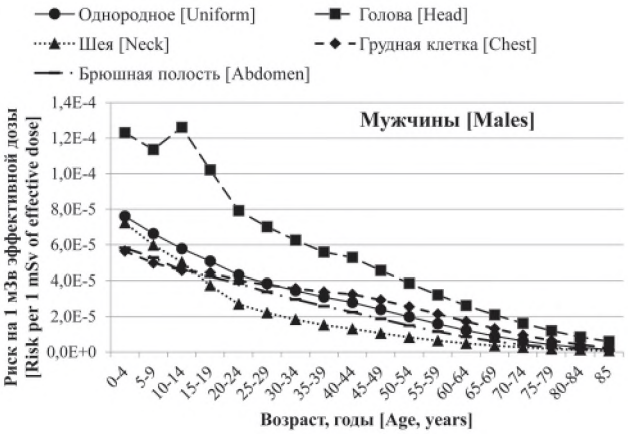

Рис. 1. Пожизненный риск смерти от рака, нормированный на единицу эффективной дозы, в зависимости от возраста при облучении и анатомической области исследования в сравнении с равномерным облучением всего тела для мужчин
[**Fig. 1**. Lifetime risk of death from cancer normalized by an effective dose depending on the age at exposure and anatomical region of examination in comparison with the uniform exposure of the whole body for men]

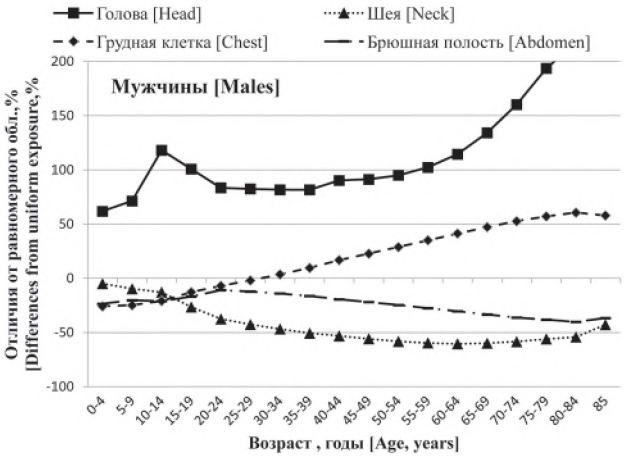

Рис. 2. Отличия значений коэффициентов риска, нормированных на единицу эффективной дозы, в зависимости от возраста и анатомической области тела по сравнению с равномерным облучением всего тела для мужчин
[**Fig. 2.** The differences of the risk coefficients values, normalized on the unit effective dose, depending on the age and anatomical region of the body compared to the uniform irradiation of the whole body for men]

Можно говорить о том, что ввиду большой неопределенности, связанной как с оценками риска заболеваемости раком на единицу дозы, так и с оценками органных и эффективных доз, различия менее чем в ±50% в коэффициентах риска можно считать приемлемыми. Поэтому половозрастные коэффициенты риска для равномерного облучения всего тела могут быть приняты как удовлетворительное приближение для тех рентгенологических исследований, у которых их значения не отличаются от случая равномерного облучения более чем на ±50%. Этому условию удовлетворяют не все медицинские исследования (например, рентгенография и КТ головы (см. рис. 2)). Путем группирования исследований в 4 анатомических областях так, как это было представлено выше, было показано, что коэффициенты для отдельных типов рентгенологических исследований будут лежать в пределах ± 30% от их средних значений для соответствующих анатомических областей (за исключением очень пожилых пациентов, где значения коэффициентов в любом случае являются очень низкими) [6].

3. Маммография

При этом виде рентгенологического исследования радиационный риск определяется фактически облучением лишь одного радиочувствительного органа – молочной железы. Поэтому определяли не эффективную дозу, а поглощенную дозу в молочной железе, учитывая ее размеры и физико-технические параметры проведения процедуры в соответствии с МУ 2.6.1.2944-11 и МУ 2.6.1.3584-19. Для оценки радиационного риска от полного маммографического исследования, состоящего из нескольких процедур, следует просуммировать поглощенные дозы от каждой входящей в него процедуры (всех снимков обеих молочных желез). Далее суммарную поглощенную дозу умножали на значение коэффициента риска для молочной железы (табл. 4), зависящее от возраста пациентки.

Таблица 4

Коэффициенты пожизненного риска смерти с учётом вреда от снижения качества жизни по причине рака молочной железы r(A) после облучения дозой 1 мГр

[Table 4

The lifetime detriment-weighted radiation risk coefficients taking into account the harm to reduce the quality of life due to cancer of a breast calculated per 1 mGy absorbed dose]

Возраст, лет [Age, years]	r(A), мГр$^{-1}$ [mGy^{-1}]
0–4	3,8E-05
5–9	3,0E-05
10–14	2,3E-05
15–19	1,8E-05
20–24	1,4E-05
25–29	1,1E-05
30–34	8,3E-06
35–39	6,4E-06
40–44	4,7E-06
45–49	3,2E-06
50–54	2,1E-06
55–59	1,3E-06
60–64	7,8E-07
65–69	4,2E-07
70–74	2,0E-07
75–79	8,0E-08
80–84	3,0E-08

Обсуждение результатов

Одной из причин изменения оценок радиационного риска пациентов в рамках предлагаемой модели являются различия в коэффициентах риска, рассчитанных для российской и композитной популяции. На рисунке 3 в качестве примера представлены значения половозрастных коэффициентов риска заболеваемости раком для российской (МР 2.6.1.0098-15) и композитной популяции [6, 24]. Непосредственно видно, что риск заболеваемости лейкемией приблизительно одинаков как для российского населения, так и для композитной популяции, тогда как риск заболеть солидным раком различных локализаций выше у композитной популяции, особенно это касается мужчин.

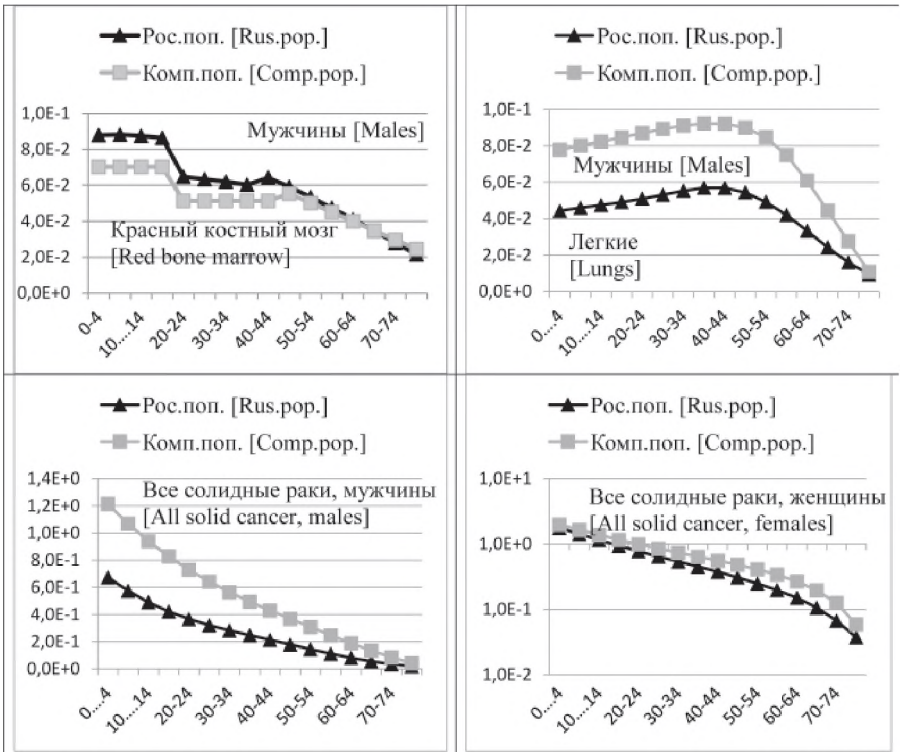

Рис. 3. Значения половозрастных коэффициентов риска заболеваемости раком для российской (МР 2.6.1.0098-15) и композитной популяции [6, 24] (на 10 000 человек)

[**Fig. 3.** The values of sex/age risk coefficients of cancer incidence for the Russian (Methodical Instruction 2.6.1.0098-15) and Composite population [6, 24] (per 10,000 people)]

На рисунках 4 и 5 в качестве примеров представлены рассчитанные для российской и композитной популяции значения пожизненного радиационного риска смерти от рака у пациентов при проведении рентгенографического исследования ОГК и интервенционных исследований сосудов сердца. Значения пожизненного радиационного риска у пациентов рассчитывали двумя способами:

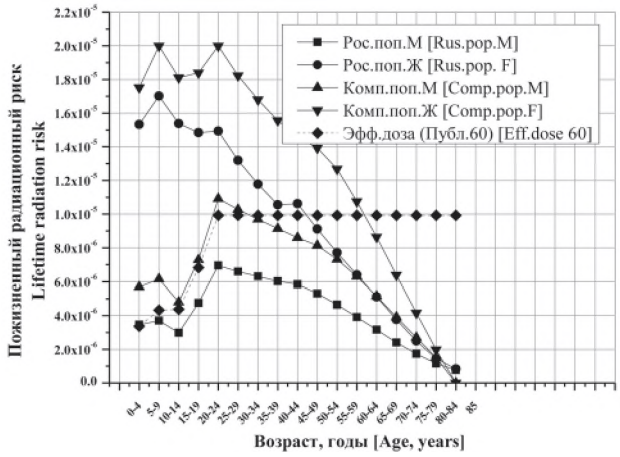

Рис. 4. Зависимость от возраста и пола пациентов значений пожизненного радиационного риска смерти от рака при проведении рентгенографии ОГК, рассчитанных для российской и композитной популяции, согласно «золотому стандарту» и эффективной дозе с номинальным коэффициентом риска
[**Fig. 4.** Dependence on the age and sex of patients of the lifetime radiation risk of cancer death due to chest radiography, calculated for the Russian and Composite population, according to the "gold standard" and effective dose with a nominal risk coefficient]

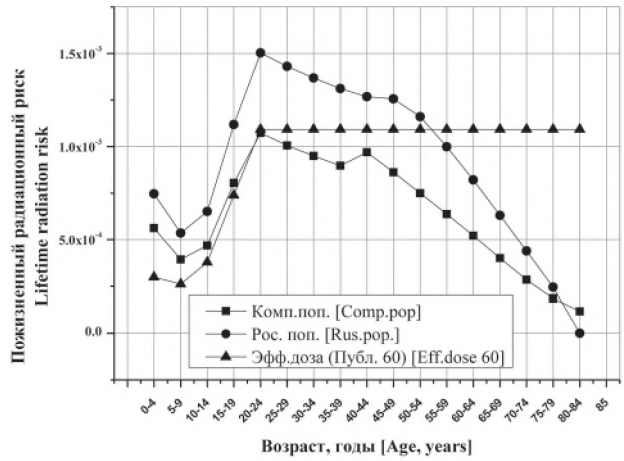

Рис. 5. Зависимость от возраста пациентов значений пожизненного радиационного риска смерти от рака при проведении интервенционных исследований сосудов сердца, рассчитанных для российской и композитной популяции, согласно «золотому стандарту» и эффективной дозе с номинальным коэффициентом риска
[**Fig. 5.** Dependence on the age and sex of patients of the lifetime radiation risk of cancer death due to coronary angiography, calculated for the Russian and Composite population, according to the "gold standard" and effective dose with a nominal risk coefficient]

– с помощью органных доз и соответствующих коэффициентов риска («золотой стандарт»);

– с помощью эффективной дозы и номинального коэффициента риска, чтобы проиллюстрировать возможные погрешности при втором способе оценки риска в зависимости от возраста и пола пациента.

Видно, что радиационный риск у детей при проведении рентгенографического исследования органов грудной клетки (см. рис. 4) существенно зависит от пола и возраста, тогда как в предыдущей версии методики оценки риска эти отличия усреднялись как по полу, так и по возрасту от новорожденного до 18-летнего. Если для мальчиков и мужчин до 40 лет эффективная доза с номинальным коэффициентом риска позволяет удовлетворительно оценивать риск, то для девочек и молодых женщин недооценка риска может быть вплоть до 4 раз. Общей тенденцией является переоценка риска с помощью эффективной дозы для пожилых пациентов. Оценки риска для этого исследования, выполненные на основе коэффициентов риска для российской и композитной популяции, отличаются приблизительно в 1,5 раза.

При проведении интервенционных исследований сосудов сердца (см. рис. 5) оценка пожизненного риска на основании значений эффективной дозы с номинальным коэффициентом риска позволяет удовлетворительно оценивать риск на основе коэффициентов риска как для российской, так и для композитной популяции для пациентов приблизительно от 10 до 50–60 лет. Далее риск у пожилых пациентов будет серьезно завышен.

Для КТ-исследований, определяющих в настоящее время более 50% вклада в коллективную дозу населения РФ от медицинского облучения, оценки рисков, рассчитанных на основе органных доз и половозрастных коэффициентов риска и эффективной дозы и номинальных коэффициентов риска, выполненные в настоящей работе, существенно отличаются от аналогичных оценок, опубликованных в [25]. На рисунке 6 представлено такое

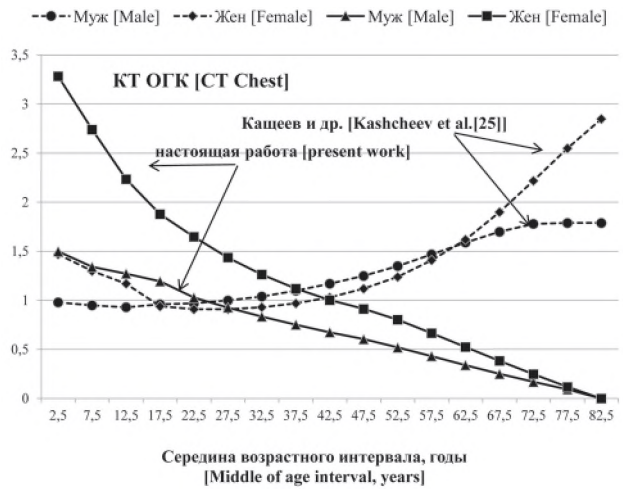

Рис. 6. Зависимость от возраста и пола пациента отношения рисков, рассчитанных на основе органных доз и половозрастных коэффициентов риска и эффективной дозы и номинальных коэффициентов риска при проведении КТ ОГК
[**Fig.6.** The dependence on the age and sex of the patients risk ratios calculated on the basis of organ doses and age/sex risk coefficients and effective dose and nominal risk coefficients during CT Chest]

сравнение для КТ-исследования ОГК. Особое сомнение вызывает тренд увеличения значений отношения риска, рассчитанного с помощью методологии «золотого стандарта» к риску, полученному с помощью эффективной дозы и номинальных коэффициентов риска с увеличением возраста пациента для обоих полов. До сих пор для медицинских исследований наблюдалась обратная картина, связанная со снижением радиационного риска у пожилых пациентов (см. рис. 1).

Применение результатов

Рассчитанные значения пожизненного риска смерти для мужчин и женщин с учётом вреда от снижения качества жизни по причине онкологического заболевания различных органов и тканей и наследственных эффектов для 30 основных медицинских исследований разных категорий приведены в Приложении 2 к новым МР 2.6.1.0215-20[4], предназначенным для оценки радиационного риска у пациентов, подвергающихся рентгенорадиологическим исследованиям в РФ. Эти значения были рассчитаны на основании органных доз и половозрастных коэффициентов риска, т.е. представляют собой наилучшие оценки риска и соответствуют типичным значениям эффективных доз, указанных в таблице 2. Если медицинское исследование, выполненное пациенту, содержится в списке исследований в Приложении 2 к МР 2.6.1. 0215-20 и реальная эффективная доза у пациента отличается от приведенной там типичной дозы для этого исследования не более чем на ±30%, то рекомендуется использовать для оценки риска приведенное в Приложении 2 значение. В случае отличия значения реальной эффективной дозы у пациента от типичной более чем на ±30% следует умножить табличное значение риска на отношение реальной эффективной дозы к типичному значению эффективной дозы (см. табл. 2) для этого вида медицинского исследования.

Для оценки риска от остальных медицинских исследований, не вошедших в Список 30, используют значения коэффициентов риска, рассчитанных на 1 мЗв эффективной дозы, представляющей собой усредненное значение для 4 выбранных анатомических областей тела (см. табл. 3). Проиллюстрируем это на примере рентген-стоматологических исследований. Оценим значение риска для мужчины 30 лет при выполнении ему исследования полного зубного статуса на ортопантомографе. Эффективная доза, рассчитанная согласно МУ 2.6.1.2944-11, составила 0,01 мЗв. В таблице 3 находим значение коэффициента риска на 1 мЗв эффективной дозы при выполнении исследования в области тела «голова» для пациента мужского пола 30 лет – $6{,}3\ 10^{-5}$. Тогда значение риска для этого пациента будет равно $0{,}01 \cdot 6{,}3\ 10^{-5} = 6{,}3\ 10^{-7}$.

Значения рисков, так же, как и значения эффективных доз, могут быть использованы для информирования пациента о его дозе медицинского облучения и возможных последствиях (риске) для здоровья в связи с этим облучением в соответствии с требованиями законодательства[5]. Дополнительно квалифицировать риск от конкретного медицинского исследования для пациента мужского или женского пола, принадлежащего тому или иному возрастному интервалу, можно в соответствии со следующей градацией риска [28, 29]:

– пренебрежимо малый – $< 10^{-6}$ (менее 1 случая на 1 млн человек);

– минимальный – $10^{-6} - 10^{-5}$ (от 1 до 10 случаев на 1 млн человек);

– очень низкий – $10^{-5} - 10^{-4}$ (от 1 до 10 случаев на 100 тыс. человек);

– низкий – $10^{-4} - 10^{-3}$ (от 1 до 10 случаев на 10 тыс. человек);

– умеренный – $10^{-3} - 3 \cdot 10^{-3}$ (от 1 до 3 случаев на 1 тыс. человек).

Так, вышеприведенный риск обследования на ортопантомографе можно квалифицировать как пренебрежимо малый. Кроме того, радиационный риск, связанный с проведением медицинского исследования, рекомендуется сравнивать с пожизненным риском спонтанной онкологической смертности и антропогенных (транспортных и бытовых) факторов риска для соответствующей возрастной группы и с риском возникновения осложнений, побочных эффектов или недостаточности диагностической информации при применении альтернативных методов диагностики (УЗИ, МРТ).

Заключение

Разработана методика оценки радиационного риска у пациентов, подвергающихся медицинским исследованиям в РФ, в основе которой лежат модели риска Публикации 103 МКРЗ, коэффициенты риска для российской популяции и результаты изучения доз облучения пациентов в РФ.

Значения пожизненного риска смерти с учётом вреда от снижения качества жизни по причине онкологического заболевания и наследственных эффектов варьируют в зависимости от пола и возраста пациента различным образом в зависимости от того, какие органы подвергаются облучению во время медицинского исследования. Путем деления соответствующих половозрастных рисков на эффективную дозу для каждого медицинского исследования были рассчитаны модифицированные значения половозрастных коэффициентов риска. Показано, что они для некоторых значений возраста, пола и исследования могут отличаться от номинальных коэффициентов риска МКРЗ, усредненных по возрасту и полу до порядка величины.

Для 30 исследований, определяющих около 80% коллективной дозы населения РФ от медицинского облучения, радиационный риск был рассчитан с использованием «золотого стандарта» – органных доз и соответствующих половозрастных коэффициентов риска для российской популяции, т.е. для этих исследований была выполнена лучшая оценка радиационного риска. Для остальных исследований (за исключением маммографии) использовали значения коэффициентов риска, рассчитанных

[4] Методические рекомендации МР 2.6.1.0215-20 "Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований" (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 21 сентября 2020 г.) [Methodical guidelines MR 2.6.1.0215-20 "Assessment of the patient radiation risks from X-ray and nuclear medicine examinations"(In Russ.)]

[5] Федеральный закон от 9 января 1996 г. № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения» (Статья 17, п.2) [Federal state Law № FZ-3 "On the radiation safety of the public"(In Russ.)]

на 1 мЗв эффективной дозы, представляющей собой усредненное значение для 4 выбранных анатомических областей тела: голова, шея, грудная клетка и брюшная полость – таз. Предполагается, что для таких исследований погрешность оценки риска возрастет по отношению к погрешности оценки риска для вышеупомянутых 30 исследований не более чем на ±30%.

Показаны различия в оценках риска у пациентов, связанные с использованием коэффициентов риска для российской и композитной популяции.

Литература

1. Публикация 103 МКРЗ. Рекомендации Международной Комиссии по Радиационной Защите от 2007 г.: пер. с англ. / под общ. ред. М.Ф. Киселева, Н.К. Шандалы. М.: Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009. 312 с.
2. ICRP. Publication 105. Radiological protection in medicine. Ann. ICRP 37 (6); 2007. 63 p.
3. BSS (2014). International Atomic Energy Agency, Radiation protection and safety of radiation sources: International Basic Safety Standards. IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3, IAEA.
4. ICRP, 2021. Use of dose quantities in radiological protection. ICRP Publication 147. Ann. ICRP. 2021. 50(1).
5. Балонов М.И., Голиков В.Ю., Кальницкий С.А., Братилова А.А. Риск стохастических эффектов облучения вследствие рентгенографических исследований: зависимость от пола и возраста пациента // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2011. Т. 56, № 4. С. 71-79.
6. 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 HPACRCE-028. Health Protection Agency, Chilton. 2011.
7. Balonov M.I., Shrimpton P.C. Effective dose and risks from medical x-ray procedures. In: Proceedings of the First ICRP Symposium on the International System of Radiological Protection. Ann. ICRP. 2012. Vol. 41, No 3-4. P. 129-141.
8. Голиков В.Ю. Оценка рисков медицинского облучения на основе данных радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации // Радиационная гигиена. 2015. Т.8, № 4. С. 6–14.
9. 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.
10. Голиков В.Ю., Балонов М.И., Кальницкий С.А. Уровни облучения пациентов при проведении рентгенологических исследований в Санкт-Петербурге и Ленинградской области // Радиационная гигиена. 2011. Т. 4, № 1. С. 5–13.
11. 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.
12. Балонов М.И., и др. Современные уровни медицинского облучения в России // Радиационная гигиена. 2015. Т. 8, № 3. С. 67–79.
13. Чипига Л.А., Звонова И.А., Рыжкова Д.В., и др. Уровни облучения пациентов и возможные пути оптимизации ПЭТ-диагностики в России // Радиационная гигиена. 2017. Т. 10, № 4. С. 31-43.
14. Голиков В.Ю., Водоватов А.В. Оценка значений рабочей нагрузки рентгеновских аппаратов при проведении рентгенологических процедур общего назначения // Радиационная гигиена. 2015. Т.8, №2. С. 6-10.
15. Vodovatov A.V., Golikov V.Yu., Kamyshanskaya I.G., et al. 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.
16. Yakoumakis, 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.
17. Damilakis J., et al. Normalized dose data for upper gastrointestinal tract contrast studies performed to infants // Medical Physics. 2006. No 33. 1033 p. doi: 10.1118/1.2181297
18. Livingstone, et al. Radiation dose to paediatric patients undergoing fluoroscopic examinations performed using digital imaging system // Radiography. 2008. No 14. P. 17-23.
19. Weir, et al. Radiation doses to children during modified barium swallow studies // Pediatric Radiology. 2007. No 37. P. 283–290.
20. Tapiovaara M., Siiskonen T. PCXMC—A Monte Carlo Program for Calculating Patient Doses in Medical X-Ray Examinations, second edn. Helsinki, Finland: Stateilyturvakeskus; 2008. STUK-A, 231.
21. Golikov V., Barkovsky A., Wallstr m E., Cederblad . A comparative study of organ doses assessment for patients undergoing conventional X-ray examinations: phantom experiments vs. calculations // Radiation Protection Dosimetry. 2018. Vol. 178, Issue 2. P. 223-234.
22. 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 // Journal of Radiological Protection. 2015. Vol. 35. P. 891–909.
23. Zvonova I., Chipiga L., Balonov M., Ermolina E. Nuclear Medicine Examinations of Children in Russia // Radiation Protection Dosimetry. 2015. Vol. 165, No 1-4. P. 216-219.
24. 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.
25. Kashcheev V.V., Pryakhin E.A., Menyaylo A.N., et al. Comparing risk estimates following diagnostic CT radiation exposures employing different methodological approaches // Health Physics. 2014. Vol. 106, No. 6. P. 806-811.
26. Методические рекомендации МР 2.6.1.0215-20 “Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований” (утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 21 сентября 2020 г.)
27. Публикация 60 МКРЗ. Рекомендации Международной Комиссии по Радиологической Защите 1990 года: пер. с англ. / под общ. ред. И.Б. Кеирим-Маркуса. М.: Энергоатомиздат, 1994. 208 с.
28. Department of Health. On the State of the Public Health 1995. In Introduction to the Annual Report of the Chief Medical Officer of the Department of Health for the year 1995. London, HMSO. 1995.
29. Calman K. Cancer: science and society and the communication of risk. British Medical Journal. 1996. No 313.P. 799-802.

Поступила: 11.06.2021 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

Водоватов Александр Валерьевич – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Чипига Лариса Александровна – научный сотрудник лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Шацкий Илья Геннадьевич – научный сотрудник лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Для цитирования: Голиков В.Ю., Водоватов А.В., Чипига Л.А., Шацкий И.Г. 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

Evaluation of radiation risk for patients undergoing medical examinations in the Russian Federation

Vladislav Yu. Golikov, Aleksandr V. Vodovatov, Larisa A. Chipiga, Ilya G. Shatsky

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 for assessing radiation risk for patients undergoing medical examinations in the Russian Federation. The methodology is based on the risk model of the ICRP Publication 103, the coefficients of lifetime radiation risk for the Russian population and the results of evaluating the doses of patients in the Russian Federation. For thirty examinations that define about 80% of the collective dose of the population of the Russian Federation from medical exposure, the radiation risk was calculated using «gold standard», – the organ doses and the corresponding sex/age risk coefficients for the Russian population. For other examinations (with the exception of mammography) the values of the risk coefficients normalized on 1 mSv of effective dose, which is the averaged value for four selected anatomical areas of the body: head, neck, chest and abdominal cavity – pelvis, were used. It is assumed that for such examinations the error of risk assessment will increase relative to the error of risk assessment for the aforementioned 30 examinations not more than 30%. It is shown that risk estimates for some examinations calculated using the "gold standard" may differ from such estimates on the base of effective dose and nominal risk coefficients averaged by age and the sex to the order of magnitude.

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

References

1. International Commission on Radiological Protection 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103 Ann. ICRP. 2007. Vol. 37. P. 1–332.
2. ICRP. Publication 105. Radiological protection in medicine. Ann. ICRP. 2007. Vol. 37, No 6. 63 p.
3. BSS. International Atomic Energy Agency, Radiation protection and safety of radiation sources: International Basic Safety Standards. IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3, IAEA. 2014.
4. ICRP. Use of dose quantities in radiological protection. ICRP Publication 147. Ann. ICRP. 2021. Vol. 50, No 1.
5. Balonov M, Golikov V, Kalnitsky S, Bratilova A. Age and sex dependence of the stochastic health effects due to radiogra-

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

phy. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost = Medical Radiology and Radiation Safety*. 2011;56(4): 73-79 (In Russian).

6. 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 HPACRCE-028. Health Protection Agency, Chilton; 2011.
7. Balonov MI, Shrimpton PC. Effective dose and risks from medical x-ray procedures. In: Proceedings of the First ICRP Symposium on the International System of Radiological Protection. Ann. ICRP. 2012;41(3-4): 129-141.
8. Golikov V. Medical exposure risk assessment based on the data of radiation-hygienic passportization in the regions of the Russian Federation. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2015.;8(4): 6–14 (In Russian).
9. Golikov V, Balonov M, Kalnitsky S, Sarycheva S. Evaluation of patients doses during interventional radiological examinations. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2009;2(3): 26–31 (In Russian).
10. Golikov V, Balonov M, Kalnitsky S, Bratilova A, Sarycheva S, Shatsky I, 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).
11. Bratilova A, Golikov V, Kalnitsky S. Exposure levels of patients during computed tomography in medical organizations of St. Petersburg and Leningrad region. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2014;7(3): 33–38 (In Russian).
12. Balonov M, et al. Modern levels of medical exposure in Russian Federation. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2015;8(3): 67–79 (In Russian).
13. Chipiga L, et al. Levels of patient exposure and possible ways of PET diagnostics optimization in Russia. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2017;10(4): 31-43 (In Russian).
14. Golikov VYu, Vodovatov AV. Estimation of an X-ray machine's workload during routine radiological examinations. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2015;8(2): 6-10 (In Russian).
15. Vodovatov AV, Golikov VYu, Kamyshanskaya IG, Zinkevich KV, Bernhardsson C. 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).
16. Yakoumakis, 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): 202-209.
17. Damilakis J, et al. Normalized dose data for upper gastrointestinal tract contrast studies performed to infants. *Medical Physics*. 2006;33: 1033. doi: 10.1118/1.2181297.
18. Livingstone, et al. Radiation dose to paediatric patients undergoing fluoroscopic examinations performed using digital imaging system. *Radiography*. 2008;14: 17-23.
19. Weir, et al. Radiation doses to children during modified barium swallow studies. Pediatric Radiology. 2007;37:283–290.
20. Tapiovaara M, Siiskonen T. PCXMC—A Monte Carlo Program for Calculating Patient Doses in Medical x-Ray Examinations, second edn. Helsinki, Finland: Stateilyturvakeskus; 2008: STUK-A. 231.
21. Golikov V, Barkovsky A, Wallstr m E, Cederblad . A comparative study of organ doses assessment for patients undergoing conventional X-ray examinations: phantom experiments vs. calculations. *Radiation Protection Dosimetry*. 2018;178(2): 223-234.
22. Lee C, Kim KP, Bolch WE, et al. NCICT: a computational solution to estimate organ doses for pediatric and adult patients undergoing CT scans. *Journal of Radiological Protection*. 2015;35: 891–909.
23. Zvonova I, Chipiga L, Balonov M, Ermolina E. Nuclear Medicine Examinations of Children in Russia. *Radiation Protection Dosimetry*. 2015; 165(1-4): 216-219.
24. 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): 732-739.
25. Kashcheev VV, Pryakhin EA, Menyaylo AN, Chekin SYu, Ivanov VK. Comparing risk estimates following diagnostic CT radiation exposures employing different methodological approaches. *Health Physics*. 2014;106(6): 806-811.
26. Methodical Recommendation MR 2.6.1.0215-20 "Assessment of radiation risks of patients undergoing radiological examinations" (approved by Head State Sanitary Doctor of the Russian Federation 09/21/2020)
27. International Commission on Radiological Protection. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21 (1-3).
28. Department of Health. On the State of the Public Health 1995. In Introduction to the Annual Report of the Chief Medical Officer of the Department of Health for the year 1995. London, HMSO; 1995.
29. Calman K. Cancer: science and society and the communication of risk. *British Medical Journal*. 1996;313: 799-802.

Received: June 11, 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)

Aleksandr V. Vodovatov – PhD, researcher, head 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, Saint-Petersburg, Russia

Larisa A. Chipiga – PhD, researcher, 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, Saint-Petersburg, Russia

Ilya G. Shatsky – Researcher of 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

For citation: Golikov V.Yu., Vodovatov A.V., Chipiga L.A., Shatsky I.G. Evaluation of radiation risk for patients undergoing medical examinations in the Russian Federation. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene.* 2021. Vol. 14, No. 3. P. 56-68. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-3-56-68