

Оценка рисков медицинского облучения при рентгенографических исследованиях детей

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

Использование эффективной дозы (концепция которой разработана для системы радиационной защиты работников и населения) и номинальных коэффициентов риска, усредненных по полу и возрасту, для оценки рисков медицинского облучения имеет ряд существенных ограничений. В частности, половозрастные распределения персонала и всего населения существенно отличаются от половозрастного распределения пациентов, подвергающихся медицинскому облучению. К тому же половозрастной состав пациентов может быть различным для различных медицинских исследований. Существуют упрощенные способы оценки индивидуального риска у пациента, подвергающегося медицинскому облучению, с учетом пола и возраста и использования эффективной дозы. Для более корректной оценки пожизненного риска отдаленных стохастических последствий для здоровья пациента необходимо использовать значения органных доз и половозрастные коэффициенты риска. Целью настоящей работы являлась оценка пожизненного риска отдаленных стохастических последствий для здоровья различных по полу и возрасту групп детей, подвергающихся рентгенографическим исследованиям, на основе значений органных доз и половозрастных коэффициентов риска, с последующей его классификацией в соответствии с международной шкалой риска. В работе использовались результаты обследований 33 рентгеновских аппаратов в 29 специализированных детских медицинских организациях России. На основании определенных для каждого аппарата типичных режимов проведения 12 рентгенографических процедур (рентгенография черепа, органов грудной клетки, шейного отдела позвоночника, грудного отдела позвоночника, поясничного отдела позвоночника — все в двух проекциях; органов брюшной полости и таза — обе в одной проекции) были рассчитаны поглощенные дозы в органах и эффективные дозы пациентов с помощью компьютерной программы РСХМС. Используя полученные органные дозы и половозрастные коэффициенты риска, рассчитанные для российской популяции, оценивали радиационные риски для выбранных исследований, а затем классифицировали согласно международной шкале рисков. Установлено, что зависимость риска от пола и возраста весьма значительна. Для ряда исследований явно выражена гендерная зависимость: для женского пола характерны более высокие риски. Для других исследований выявлена сильная зависимость риска от возраста, с максимумом в средних возрастных группах детей (10–14 лет).

Ключевые слова: медицинское облучение, рентгенографические исследования, пациенты, педиатрия, радиационный риск, эффективная доза.

Введение

В рентгенодиагностике процесс обоснования использования ионизирующего излучения требует взвешивания клинической выгоды и возможного радиационного ущерба.

В настоящее время МКРЗ к радиационному ущербу относит: развитие радиационно-индуцированного онкологического заболевания, смертность от радиационно-индуцированного онкологического заболевания и возникновение наследственных радиационных эффектов. В современной системе радиационной защиты для оценки воздействия различных видов ионизирующего излучения на персонал и население при внешнем или внутреннем облучении всего

тела или его части используется биофизическая величина – эффективная доза. Она является мерой воздействия ионизирующего излучения на «условного человека» со средними возрастными и гендерными характеристиками, пропорциональной суммарному радиационному ущербу от стохастических эффектов [1]. Эффективная доза связана с риском возникновения стохастических эффектов радиации (канцерогенных и наследственных) через номинальные коэффициенты риска (усредненные по полу и возрасту) для всего населения ($5,7 \cdot 10^{-2} \text{Зв}^{-1}$) и для персонала ($4,2 \cdot 10^{-2} \text{Зв}^{-1}$).

МКРЗ не предлагает каких-либо специфических рекомендаций по определению радиационных рисков ме-

Шацкий Илья Геннадьевич

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: mcirosh@gmail.com

дицинского облучения. Поэтому на практике для этого широко используются значения эффективной дозы для отдельных медицинских исследований и номинальные коэффициенты риска, усредненные по возрасту и полу.

Существует целый ряд ограничений в использовании подобного подхода для определения рисков медицинского облучения [2–5]. Половозрастные распределения персонала и всего населения, для которых была разработана концепция эффективной дозы, отличны от половозрастного распределения пациентов, подвергающихся медицинскому облучению. К тому же половозрастной состав пациентов может быть различным для различных медицинских исследований [6, 7]. При этом оценки пожизненного риска возникновения стохастических эффектов у детей в 2–3 раза выше номинальных значений, которые используются в концепции эффективной дозы, а для пожилых людей (около 60 лет на момент облучения) они, наоборот, в 4–5 раз ниже [8]. В работе [9] предлагается алгоритм оценки корректирующих факторов к значениям эффективных доз с целью учета половозрастной зависимости коэффициентов риска радиогенного рака, что позволяет более корректно оценивать коллективный риск от проведения рентгенорадиологических медицинских исследований.

Упрощенный способ оценки индивидуального риска у пациента, подвергающегося медицинскому облучению, с учетом его возраста предложен в МР 2.6.1. 098-15 «Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований». Однако там дети представлены всего лишь одной возрастной группой (0–17 лет), а оценка риска осуществляется на основании значений эффективной дозы и номинального коэффициента риска с использованием единого для этой группы усредненного по полу поправочного множителя, учитывающего возрастную радиочувствительность и равного 2,3.

Цель исследования – оценка пожизненного риска отдаленных стохастических последствий у 4 возрастных групп детей, различных по полу, подвергающихся рентгенографическим медицинским исследованиям.

Задачи исследования

1. Выполнить анализ частотности и радиологической значимости, определить набор рентгенографических процедур (РГП).
2. Определить типовые режимы проведения этих процедур у лиц разного пола и возраста, необходимые для вычисления доз.
3. Вычислить для различных групп детей поглощенные дозы в облучаемых органах и тканях и эффективные дозы, опираясь на данные о режимах проведения процедур.
4. Оценить пожизненный радиационный риск от рассматриваемых процедур с учетом пола и возраста путем умножения поглощенных доз в органах и тканях на пол- и возраст-зависимые коэффициенты пожизненного радиационного риска для этих органов и тканей.
5. Провести сравнение полученных оценок риска с оценками риска по эффективной дозе и номинальным коэффициентам риска, а также с оценками, проведенными на основании поглощенных доз в органах и тканях и коэффициентов пожизненного радиационного риска для усредненной европейско-американской и азиатской популяции.

6. Классифицировать полученные радиационные риски в соответствии с используемой в МР 2.6.1. 098-15 «Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований» международной шкалой риска.

Материалы и методы

По данным НКДАР ООН [10], требованиям частотности и радиологической значимости удовлетворяют рентгенодиагностические исследования (РЛИ) черепа, органов грудной клетки (ОГК), шейного отдела позвоночника (ШОП), грудного отдела позвоночника (ГОП), поясничного отдела позвоночника (ПОП), органов брюшной полости (БП) и таза. Исследования черепа, ОГК, ШОП, ГОП и ПОП включают в себя рентгенографию соответствующей области в двух проекциях: прямой и боковой, а исследования БП и таза состоят только из рентгенографии в прямой проекции. Таким образом, в работе рассматриваются 12 рентгенографических процедур.

Были обследованы 33 рентгеновских аппарата в 29 специализированных детских медицинских организациях, для каждого из которых были определены типовые режимы проведения процедур для пяти возрастных групп детей: новорожденные (<0,5), 0,5–2, 3–7, 8–12 и 13–18 лет – со средним возрастом 0, 1, 5, 10 и 15 лет соответственно. Антропометрические данные для каждой возрастной группы соответствовали математическим антропоморфным фантомам [11] и принимались в качестве характеристик «стандартного пациента» в каждой возрастной группе для сбора типовых режимов проведения процедур и расчета доз.

Входными физическими параметрами для расчета органических доз и эффективной дозы пациента служили радиационный выход аппарата, толщина и материал фильтра, напряжение на аноде трубки, экспозиция, расстояние от источника до приемника, размеры поля облучения, геометрия облучения [12].

Поглощенные дозы в органах и эффективные дозы для выбранных процедур были рассчитаны с помощью программы РСХМС [13] для каждого типового режима для всех рентгеновских аппаратов для пяти возрастных групп. РСХМС использует те же математические антропоморфные фантомы [11] для моделирования тела пациента, которые содержат набор из 31 органа/ткани, необходимых для расчета эффективной дозы с использованием взвешивающих тканевых коэффициентов из Публикации 103 МКРЗ.

Последующий расчет пожизненных атрибутивных рисков по модели, приведенной в Публикации 103 МКРЗ, осуществлялся в соответствии с методикой, опубликованной в [14]. Согласно указанной методике, для оценки рисков использовались медианные значения поглощенных доз в органах для каждой процедуры и половозрастные коэффициенты риска заболеваемости раком, рассчитанные для российской популяции (данные по смертности и заболеваемости за 2008 г. [15]) и приведенные в приложении к МР 2.6.1. 098-15 «Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований». Учитывая приведенную зависимость коэффициентов радиационного риска от возраста, органические и эффективные дозы у детей, принадлежащих к разным возрастным группам, интерполировались по формулам:

$$D_p(0-4) = (D_p(0-0,5) + 2D_p(0,5-2) + 2D_p(3-7))/5, (1)$$

$$D_p(5 - 9) = (3D_p(3 - 7) + 2D_p(8 - 12))/5, \quad (2)$$

$$D_p(10 - 14) = (3D_p(8 - 12) + 2D_p(13 - 17))/5, \quad (3)$$

Для возрастной группы 15–19 лет значения доз принимались равными результатам расчетов для математического фантома 15 лет.

Формула расчета пожизненного радиационного риска для пациента пола G и возраста A (лет на момент облучения) от рентгенологической процедуры P имеет следующий вид:

$$R_p(A, G) = \sum_O D_p(A, O) \cdot r(A, G, O), \quad (4)$$

где: $R_p(A, G)$ – пожизненный радиационный риск у пациента пола G в возрасте A (лет) вследствие рентгенологической процедуры P, отн. ед.;

$D_p(A, O)$ – поглощенная доза в органе O у лица любого пола в возрасте A (лет) от процедуры P, мГр;

$r(A, G, O)$ – номинальный коэффициент радиационного риска от облучения органа O у лица пола G в возрасте A (лет), 10^{-4} мГр⁻¹.

Для исследований, выполняемых в двух проекциях, значения рисков получены путем суммирования значений рисков процедур, входящих в их состав.

В отсутствие прямых данных на людях МКРЗ использовала экспериментальные данные, полученные на животных, для оценки коэффициента риска радиационно-индуцированных наследственных эффектов в первых двух поколениях. В Публикации 103 МКРЗ приводит значение 0,54% на Гр для репродуктивной части популяции или 0,22% на Гр для всей популяции.

В настоящей работе для оценки коэффициента риска радиационно-индуцированных наследственных эффектов в первых двух поколениях использовали значение 0,5% на Гр поглощенной дозы в гонадах.

Результаты и обсуждение

Рассчитанные поглощенные дозы в органах $D_p(A, O)$ и эффективные дозы (мЗв) для четырех возрастных групп (0–4, 5–9, 10–14 и 15–19 лет) при семи видах РЛИ (череп, ОГК, ШОП, ПОП, ГОП, БП и таза) представлены в таблице 1, в зависимости эффективной дозы от возраста пациента – на рисунке 1.

Для большинства возрастных групп эффективная доза увеличивается в следующей последовательности: череп – ШОП – ОГК – таз – БП – ГОП – ПОП, что объясняется количес-

Таблица 1

Поглощенные дозы в органах $D_p(A, O)$ и эффективные дозы $E_p(A, O)$ (мЗв) для пяти возрастных групп при рентгенографии черепа, ОГК, ШОП, ГОП, ПОП, БП и таза

[Table 1

Absorbed organs doses $D_p(A, O)$ and effective doses $E_p(A, O)$ (mSv) for the five age groups in radiography of skull, chest, cervical spine, thoracic spine, lumbar spine, abdomen and pelvis]

Возрастная группа [Age group]	РЛИ [X-ray exam]	Пищевод [Oesophagus]	Желудок [Stomach]	Толстый кишечник [Colon]	Печень [Liver]	Лёгкие [Lungs]	Щитовидная железа [Thyroid]	Мочевой пузырь [Urinary bladder]	Остальные солидные [Other solid]	Костный мозг [Red marrow]	Молочная железа [Breast]	Яичник [Ovary]	Эффективная доза [Effective dose]
0–4	Череп[Skull]	0,009	0,000	0,000	0,001	0,011	0,271	0,000	0,005	0,067	0,001	0,000	0,035
	ОГК[Chest]	0,048	0,092	0,008	0,045	0,080	0,125	0,001	0,002	0,024	0,182	0,003	0,062
	ШОП[Cervical Spine]	0,034	0,005	0,000	0,006	0,058	0,390	0,000	0,004	0,038	0,058	0,000	0,051
	ГОП[Thoracic Spine]	0,162	0,328	0,041	0,166	0,280	0,371	0,009	0,008	0,077	0,583	0,021	0,201
	ПОП[Lumbar Spine]	0,096	0,588	0,327	0,269	0,092	0,002	0,377	0,010	0,089	0,073	0,232	0,212
	БП [Abdomen]	0,032	0,152	0,107	0,124	0,048	0,003	0,144	0,003	0,022	0,047	0,064	0,069
	Таз [Pelvis]	0,006	0,071	0,094	0,052	0,003	0,000	0,160	0,002	0,014	0,000	0,069	0,050
5–9	Череп[skull]	0,004	0,000	0,000	0,000	0,004	0,258	0,000	0,007	0,070	0,001	0,000	0,043
	ОГК [Chest]	0,053	0,104	0,003	0,048	0,105	0,084	0,000	0,002	0,030	0,271	0,001	0,076
	ШОП[Cervical Spine]	0,025	0,001	0,000	0,001	0,035	0,583	0,000	0,004	0,033	0,004	0,000	0,053
	ГОП [Thoracic Spine]	0,243	0,521	0,017	0,251	0,516	0,452	0,001	0,012	0,137	0,714	0,002	0,300
	ПОП[Lumbar Spine]	0,146	1,304	0,704	0,511	0,123	0,001	0,856	0,020	0,184	0,038	0,522	0,440
	БП[Abdomen]	0,061	0,521	0,311	0,385	0,129	0,001	0,405	0,007	0,062	0,076	0,221	0,194
	Таз[Pelvis]	0,006	0,151	0,235	0,087	0,003	0,000	0,400	0,004	0,028	0,000	0,186	0,099
10–14	Череп[skull]	0,002	0,000	0,000	0,000	0,003	0,163	0,000	0,010	0,088	0,002	0,000	0,053
	ОГК[Chest]	0,058	0,073	0,002	0,038	0,141	0,146	0,000	0,003	0,048	0,320	0,000	0,095
	ШОП[Cervical Spine]	0,015	0,000	0,000	0,000	0,008	0,802	0,000	0,006	0,034	0,001	0,000	0,057
	ГОП[Thoracic Spine]	0,407	0,590	0,014	0,352	0,838	0,554	0,001	0,019	0,249	0,828	0,001	0,434
	ПОП [Lumbar Spine]	0,188	1,699	0,895	0,601	0,120	0,000	0,920	0,027	0,238	0,038	0,745	0,562
	БП [Abdomen]	0,062	0,636	0,628	0,449	0,159	0,002	0,970	0,012	0,106	0,046	0,468	0,353
	Таз[Pelvis]	0,007	0,250	0,416	0,125	0,004	0,000	0,742	0,007	0,050	0,002	0,312	0,164

Возрастная группа [Age group]	РЛИ [X-ray exam]	Пищевод [Oesophagus]	Желудок [Stomach]	Толстый кишечник [Colon]	Печень [Liver]	Лёгкие [Lungs]	Щитовидная железа [Thyroid]	Мочевой пузырь [Urinary bladder]	Остальные солидные [Other solid]	Костный мозг [Red marrow]	Молочная железа [Breast]	Яичник [Ovary]	Эффективная доза [Effective dose]
15–19	Череп [skull]	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,040	0,000	0,010	0,088	0,001	0,000	0,046
	ОГК [Chest]	0,065	0,025	0,001	0,023	0,170	0,284	0,000	0,003	0,065	0,306	0,000	0,105
	ШОП [Cervical Spine]	0,014	0,000	0,000	0,000	0,005	0,988	0,000	0,007	0,033	0,001	0,000	0,065
	ГОП [Thoracic Spine]	0,511	0,431	0,006	0,385	0,969	0,785	0,000	0,023	0,311	0,829	0,000	0,477
	ПОП [Lumbar Spine]	0,248	1,716	0,878	0,615	0,107	0,000	0,503	0,030	0,239	0,036	0,795	0,541
	БП [Abdomen]	0,006	0,162	0,760	0,083	0,002	0,000	1,383	0,011	0,087	0,003	0,552	0,352
	Таз [Pelvis]	0,006	0,271	0,466	0,121	0,003	0,000	0,851	0,008	0,058	0,004	0,331	0,179

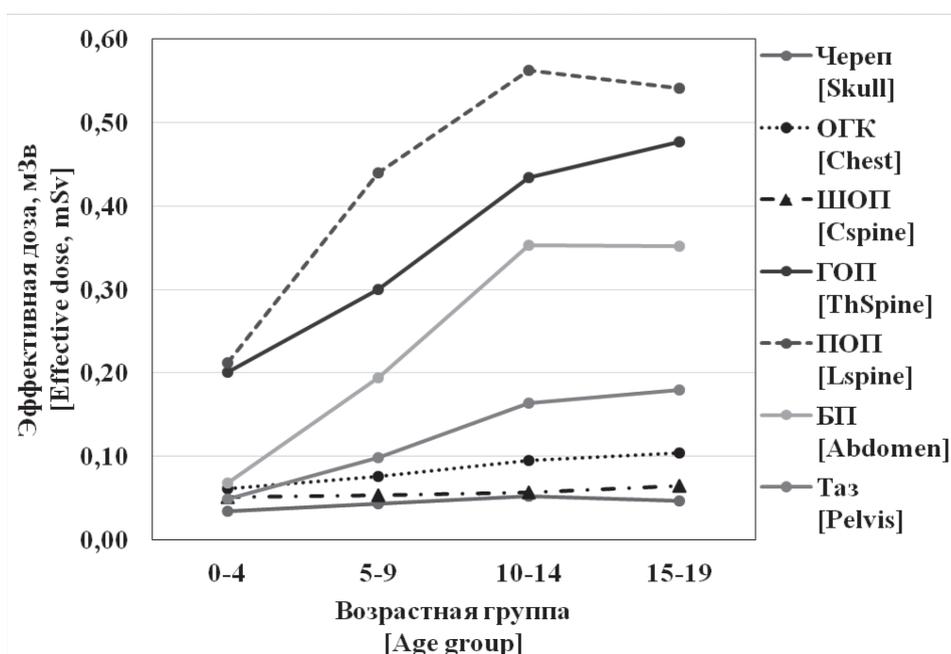


Рис. 1. Зависимость эффективной дозы (мЗв) за исследование при рентгенографии черепа, ОГК, ШОП, ГОП, ПОП, БП и таза от возраста пациента
[Fig 1.] Dependence of the effective dose (mSv) for the X-ray exam of skull, chest, cervical spine, thoracic spine, lumbar spine, abdomen and pelvis on the age of patient

твом наиболее радиочувствительных органов/тканей в поле прямого излучения и особенностями режима процедуры.

На основании значений поглощенных доз из таблицы 1 и половозрастных коэффициентов риска по формуле 4 был рассчитан индивидуальный радиационный риск $R_p(A, G)$ для пациентов разного пола и возраста от семи видов выбранных РЛИ. Результаты расчетов риска представлены в таблице 2. На рисунках 2 и 3 данные представлены графически.

Как видно, радиационный риск имеет выраженную возрастную зависимость для всех анализируемых видов исследований. Для ряда исследований риск больше

у подростков. Так, риск при рентгенографии ПОП и БП у детей возраста 10–14 лет в 2–4 раза выше, чем у детей возраста 0–5 лет, что оправдывает введение нескольких возрастных групп детей. При выполнении исследований головы, ШОП, ГОП и грудной клетки радиационный риск у женщин существенно выше, чем у мужчин (до 7–8 раз в отдельных возрастных группах), что объясняется попаданием в поле излучения легких, более радиочувствительных у женщин, чем у мужчин, и молочных желез. При выполнении обследований других органов (ПОП, БП, таз) радиационный риск у женщин и мужчин соизмерим.

Таблица 2

Пожизненный радиационный риск $R_p(A, G)$ у пациентов, рассчитанный по дозам в органах $D_p(A, O)$, в зависимости от возраста и пола при проведении различных РЛИ, 10^{-6}

[Table 2

Lifetime radiation risk $R_p(A, G)$ of patients calculated by organ doses $D_p(A, O)$, depending on the age and sex for different X-ray examinations, 10^{-6}

Вид РЛИ [X-ray exam]	Возраст (лет) [Age, years]			
	0-4	5-9	10-14	15-19
Риски, мужской пол [Risks, male]				
Череп [Skull]	1,69	1,39	1,23	0,98
ОГК [Chest]	2,22	2,11	2,08	2,00
ШОП [Cervical Spine]	2,13	1,88	1,62	1,36
ГОП [Thoracic Spine]	7,70	10,46	13,22	12,86
ПОП [Lumbar Spine]	12,74	24,42	27,14	22,93
БП [Abdomen]	4,06	11,22	15,96	11,46
Таз [Pelvis]	2,61	5,40	8,40	8,36
Риски, женский пол [Risks, female]				
Череп [Skull]	10,29	6,76	3,28	1,05
ОГК [Chest]	17,85	17,38	16,45	13,79
ШОП [Cervical Spine]	18,28	14,67	12,87	10,33
ГОП [Thoracic Spine]	57,07	58,25	57,01	48,57
ПОП [Lumbar Spine]	21,65	35,13	38,91	33,09
БП [Abdomen]	8,04	18,41	21,65	12,16
Таз [Pelvis]	3,08	6,39	9,86	9,72

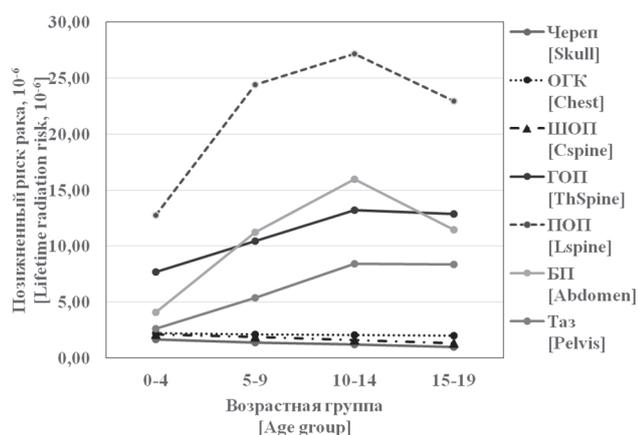


Рис. 2. Зависимость пожизненного радиационного риска за исследование при рентгенографии черепа, ОГК, ШОП, ГОП, ПОП, БП и таза от возраста пациента для мужского пола
[Fig. 2. Dependence of the lifetime radiation risk for the X-ray examination of skull, chest, cervical spine, thoracic spine, lumbar spine, abdomen and pelvis on the age of patient, males]

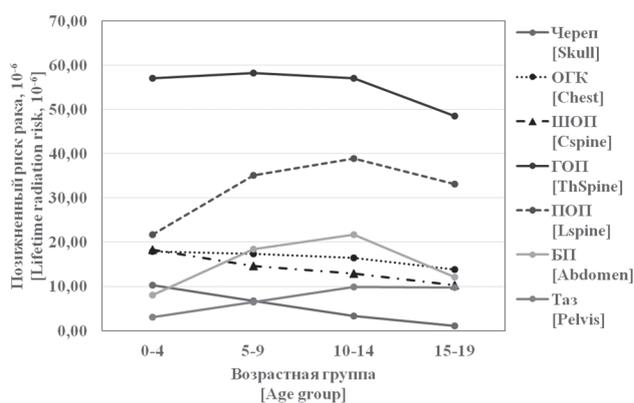


Рис. 3. Зависимость пожизненного радиационного риска за исследование при рентгенографии черепа, ОГК, ШОП, ГОП, ПОП, БП и таза от возраста пациента для женского пола
[Fig. 3. Dependence of the lifetime radiation risk for the X-ray examination of skull, chest, cervical spine, thoracic spine, lumbar spine, abdomen and pelvis on the age of patient, female]

Для сравнения был рассчитан риск R(A) (табл. 3) для тех же возрастных групп с использованием эффективной дозы и номинального усредненного по полу и возрасту коэффициента риска $0,057 \text{ Зв}^{-1}$. Полученные данные сопоставимы или выше для всех возрастных групп по всем видам исследований для мужчин до 3 раз (в среднем 1,5 раза). Для женщин, наоборот, значения рисков почти для всех возрастных групп ниже до 6 раз, и только для исследований черепа, БП и таза

старшей возрастной группы риски, оцененные по эффективной дозе, сопоставимы или превышают аналогичные значения, оцененные с помощью органных доз. Для всех видов исследований отношения значений рисков, полученных по разным методикам, изменяются в зависимости от возраста. При этом для мужчин с увеличением возраста разница между значениями риска, оцененными разными способами, увеличивается, а для женщин, наоборот, уменьшается (табл. 4).

Таблица 3

Пожизненный радиационный риск R(A) у пациентов, рассчитанный по эффективным дозам E_p (A, O), в зависимости от возраста при проведении различных РЛИ, 10^{-6}

[Table 3]

Lifetime radiation risk R(A) of patients calculated by effective doses E_p (A, O), depending on the age for different X-ray examinations, 10^{-6}

Вид РЛИ [X-ray exam]	Возраст (лет) [Age, years]			
	0–4	5–9	10–14	15–19
	Риски Risks			
Череп [Skull]	1,98	2,46	2,99	2,65
ОГК [Chest]	3,52	4,36	5,43	5,96
ШОП [Cervical Spine]	2,93	3,03	3,25	3,70
ГОП [Thoracic Spine]	11,44	17,11	24,71	27,16
ПОП [Lumbar Spine]	12,10	25,09	32,04	30,81
БП [Abdomen]	3,91	11,07	20,13	20,06
Таз [Pelvis]	2,82	5,63	9,34	10,23

Таблица 4

Отношение значений пожизненного радиационного риска R(A), оцененных по эффективной дозе, к значениям пожизненного радиационного риска R_p (A, G), оцененных по органным дозам, в зависимости от возраста и пола при проведении различных РЛИ, 10^{-6}

[Table 4]

Ratio of the values of lifetime radiation risk R(A), assessed on effective dose, to the values of lifetime radiation risk R_p (A, G), assessed on organ doses, depending on the age and sex for different X-ray examinations, 10^{-6}

Вид РЛИ [X-ray exam]	Возраст (лет) [Age, years]			
	0–4	5–9	10–14	15–19
	Отношение рисков, мужской пол [Risks, male]			
Череп [Skull]	1,17	1,77	2,43	2,71
ОГК [Chest]	1,59	2,07	2,62	2,99
ШОП [Cervical Spine]	1,38	1,61	2,01	2,72
ГОП [Thoracic Spine]	1,49	1,64	1,87	2,11
ПОП [Lumbar Spine]	0,95	1,03	1,18	1,34
БП [Abdomen]	0,96	0,99	1,26	1,75

Вид РЛИ [X-ray exam]	Возраст (лет) [Age, years]			
	0–4	5–9	10–14	15–19
Таз [Pelvis]	1,08	1,04	1,11	1,22
Отношение рисков, женский пол [Risks, female]				
Череп [Skull]	0,19	0,36	0,91	2,53
ОГК [Chest]	0,20	0,25	0,33	0,43
ШОП [Cervical Spine]	0,16	0,21	0,25	0,36
ГОП [Thoracic Spine]	0,20	0,29	0,43	0,56
ПОП [Lumbar Spine]	0,56	0,71	0,82	0,93
БП [Abdomen]	0,49	0,60	0,93	1,65
Таз [Pelvis]	0,92	0,88	0,95	1,05

Также были рассчитаны риски (табл. 5) по методике, опубликованной в статье Иванова и соавт. [14] на основании полученных органных доз (см. табл. 1) с использованием половозрастных коэффициентов риска заболеваемости раком для усредненной европейско-американской и азиатской популяций («компози́тное население») [14, 16]. Как видно из сравнения результатов, полученных для «компози́тного населения» и российской популяции,

значения рисков для последней меньше аналогичных значений для «компози́тного населения» для всех возрастов обоих полов: для мужчин в среднем на 45%, для женщин – на 20% (кроме исследований черепа и ШОП для женщин, где значения для российской популяции больше в среднем на 15%) (табл. 6). Разница между рисками, полученными с помощью разных наборов коэффициентов, с возрастом практически не изменяется.

Таблица 5

Пожизненный радиационный риск $R_p(A, G)$ у пациентов в зависимости от возраста и пола при проведении различных РЛИ с использованием коэффициентов для усредненной европейско-американской и азиатской популяций, 10^{-6}

[Table 5

Lifetime radiation risk $R_p(A, G)$ of patients, depending on the age and sex, for different X-ray examinations using risk coefficients for the average Euro-American and Asian population, 10^{-6}

Вид РЛИ [X-ray exam]	Возраст (лет) [Age, years]			
	0–4	5–9	10–14	15–19
Риски, мужской пол [Risks, male]				
Череп [Skull]	2,63	2,25	2,14	1,80
ОГК [Chest]	3,86	3,73	3,65	3,47
ШОП [Cervical Spine]	3,25	2,81	2,42	2,07
ГОП [Thoracic Spine]	13,56	18,50	23,65	23,11
ПОП [Lumbar Spine]	25,01	48,06	53,64	45,33
БП [Abdomen]	8,11	22,30	32,72	25,00
Таз [Pelvis]	5,39	11,27	17,75	17,80

Вид РЛИ [X-ray exam]	Возраст (лет) [Age, years]			
	0–4	5–9	10–14	15–19
Риски, женский пол [Risks, female]				
Череп [Skull]	8,47	5,75	3,24	1,52
ОГК [Chest]	19,85	20,40	19,39	16,14
ШОП [Cervical Spine]	16,34	11,98	10,26	8,20
ГОП [Thoracic Spine]	64,01	67,84	69,42	60,70
ПОП [Lumbar Spine]	27,49	45,30	50,06	42,32
БП [Abdomen]	10,28	23,90	28,91	16,83
Таз [Pelvis]	4,04	8,36	13,19	13,26

Таблица 6

Отношение значений пожизненного радиационного риска $R_p(A, G)$, оцененных по органным дозам, в зависимости от возраста и пола при проведении различных РЛИ с использованием коэффициентов для усредненной европейско-американской и азиатской популяции и российской популяции, 10^{-6}

[Table 6

Ratio of the values of lifetime radiation risk $R_p(A, G)$, assessed on organ doses, depending on the age and sex, for different X-ray examinations using risk coefficients for the average Euro-American and Asian population and Russian population, 10^{-6}

Вид РЛИ [X-ray exam]	Возраст (лет) [Age, years]			
	0–4	5–9	10–14	15–19
Отношение рисков, мужской пол [Risks, male]				
Череп [Skull]	1,55	1,62	1,74	1,84
ОГК [Chest]	1,74	1,77	1,76	1,74
ШОП [Cervical Spine]	1,53	1,50	1,49	1,52
ГОП [Thoracic Spine]	1,76	1,77	1,79	1,80
ПОП [Lumbar Spine]	1,96	1,97	1,98	1,98
БП [Abdomen]	1,99	1,99	2,05	2,18
Таз [Pelvis]	2,07	2,09	2,11	2,13
Отношение рисков, женский пол [Risks, female]				
Череп [Skull]	0,82	0,85	0,99	1,45
ОГК [Chest]	1,11	1,17	1,18	1,17
ШОП [Cervical Spine]	0,89	0,82	0,80	0,79
ГОП [Thoracic Spine]	1,12	1,16	1,22	1,25

Окончание таблицы 6

Вид РЛИ [X-ray exam]	Возраст (лет) [Age, years]			
	0–4	5–9	10–14	15–19
ПОП [Lumbar Spine]	1,27	1,29	1,29	1,28
БП [Abdomen]	1,28	1,30	1,34	1,38
Таз [Pelvis]	1,31	1,31	1,34	1,37

Для классификации пожизненного риска для здоровья пациента, связанного с медицинским облучением, согласно МР 2.6.1. 098-15 «Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований»,

используется международная шкала риска. В соответствии с данной шкалой выбранные рентгенографические исследования распределяются для четырех возрастных групп в зависимости от пола, как показано в таблицах 7 и 8.

Таблица 7

Классификация РЛИ по радиационному риску у пациентов разных возрастных групп для мужского пола

[Table 7]

Classification of X-ray examinations by the radiation risk for patients of different age groups, males

Радиационный риск, отн. ед. [Radiation risk, relative unit]	Рентгенологические исследования [X-ray exam]			
	0–4	5–9	10–14	15–19
Пренебрежимый [Negligible] (< 10 ⁻⁶)	—	—	—	Череп[skull]
Минимальный [Minimal] (10 ⁻⁶ – 10 ⁻⁵)	Череп[skull] ОГК[Chest] ШОП[Cervical Spine] ГОП[Thoracic Spine] БП[Abdomen] Таз[Pelvis]	Череп[skull] ОГК[Chest] ШОП[Cervical Spine] Таз[Pelvis]	Череп[skull] ОГК[Chest] ШОП[Cervical Spine] Таз[Pelvis]	ОГК[Chest] ШОП[Cervical Spine] Таз[Pelvis]
Очень низкий [Very low] (10 ⁻⁵ – 10 ⁻⁴)	ПОП [Lumbar Spine]	ГОП [Thoracic Spine] ПОП [Lumbar Spine] БП [Abdomen]	ГОП [Thoracic Spine] ПОП [Lumbar Spine] БП [Abdomen]	ГОП [Thoracic Spine] ПОП [Lumbar Spine] БП [Abdomen]
Низкий [Low] (10 ⁻⁴ – 10 ⁻³)	—	—	—	—

Таблица 8

Классификация РЛИ по радиационному риску у пациентов разных возрастных групп для женского пола

[Table 8]

Classification of X-ray examinations by the radiation risk for patients of different age groups, females

Радиационный риск, отн. ед. [Radiation risk, relative unit]	Рентгенологические исследования [X-ray exam]			
	0–4	5–9	10–14	15–19
Пренебрежимый [Negligible] (< 10 ⁻⁶)	—	—	—	—
Минимальный [Minimal] (10 ⁻⁶ – 10 ⁻⁵)	БП [Abdomen] Таз [Pelvis]	Череп[skull] Таз [Pelvis]	Череп[skull] Таз [Pelvis]	Череп[skull] Таз [Pelvis]
Очень низкий [Very low] (10 ⁻⁵ – 10 ⁻⁴)	Череп[skull] ОГК [Chest] ШОП [Cervical Spine] ГОП [Thoracic Spine] ПОП [Lumbar Spine]	ОГК [Chest] ШОП [Cervical Spine] ГОП [Thoracic Spine] ПОП [Lumbar Spine] БП [Abdomen]	ОГК [Chest] ШОП [Cervical Spine] ГОП [Thoracic Spine] ПОП [Lumbar Spine] БП [Abdomen]	ОГК [Chest] ШОП [Cervical Spine] ГОП [Thoracic Spine] ПОП [Lumbar Spine] БП [Abdomen]
Низкий [Low] (10 ⁻⁴ – 10 ⁻³)	—	—	—	—

Выводы

1. Получены детальные оценки радиогенного риска отдаленных стохастических последствий вследствие диагностического медицинского облучения детей при семи видах рентгенографических исследований в России. Расчет радиогенного риска был выполнен на основе значений поглощенных доз в органах с учетом половозрастной зависимости коэффициентов пожизненного радиационного риска для четырех возрастных групп детей. Результаты показали, что зависимость риска от пола и возраста ребенка в диапазоне от новорожденного до 18 лет весьма значительна (вариабельность до 4 раз).

2. Показано, что для российской популяции оценка риска с помощью эффективной дозы и номинального коэффициента риска $0,057 \text{ Зв}^{-1}$, предложенного в Публикации 103 МКРЗ, занижает радиогенный риск до 6 раз (в среднем в 2,7 раза) для девочек, кроме исследований черепа, БП и таза для старшей возрастной группы. Напротив, для мальчиков использование концепции эффективной дозы переоценивает риск в среднем в 1,6 раза.

3. Выявлено, что оценки риска, полученные с помощью коэффициентов риска, рассчитанных для российской популяции, оказались меньше аналогичных значений для усредненной европейско-американской и азиатской популяции для всех возрастов обоих полов: для мужчин в среднем на 45%, для женщин на 20% – кроме исследований черепа и ШОП для женщин.

4. На основании полученных данных проведена уточненная классификация РЛИ по критерию радиогенного риска согласно используемой в МР 2.6.1. 098-15 международной шкале риска. По данной классификации практически все рассмотренные рутинные рентгенографические исследования у детей относятся к категориям минимального ($10^{-6} - 10^{-5}$) и очень низкого ($10^{-5} - 10^{-4}$) риска.

Литература

1. Публикация 103 МКРЗ / под общей ред. М.Ф. Киселева, Н.К. Шандалы. – М.: ООО ПКФ «Алана», 2009. – 312 с.
2. Martin C.J. Effective dose: how should it be applied to medical exposures? *Br J Radiol*, 2007, Vol. 80, pp. 639-647.
3. Brenner D.J. Effective dose: a flawed concept that could and should be replaced. *Br J Radiol*, 2008, Vol. 81, pp. 521-523.
4. Балонов, М.И. Риск стохастических эффектов облучения вследствие рентгенографических исследований: зависимость от пола и возраста пациента / М.И. Балонов,

В.Ю. Голиков, С.А. Кальницкий, А.А. Братилова // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2011. – Т. 56, № 4. – С. 71–79.

5. Wall B.F., Haylock R., Jansen J.T.M., Hillier M.C., Hart D., Shrimpton P.C. 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.
6. Лучевая диагностика и лучевая терапия на пороге третьего тысячелетия / под ред. М.М. Власовой. – СПб.: Норма, 2003. – 510 с.
7. Белавина, Е.А. Организационно-методическое обеспечение лучевой диагностики и профилактики рака молочной железы у женщин в Санкт-Петербурге : автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.00.33 / Белавина Елена Алексеевна. – СПб., 2006. – 20 с.
8. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Effects of ionizing radiation. UNSCEAR 2006 Report. Volume 1. Annex A. United Nations, New York, 2008.
9. Голиков, В.Ю. Оценка рисков медицинского облучения на основе данных радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации / В.Ю. Голиков // Радиационная гигиена. – 2015. – Т. 8, № 4. – С. 6–14.
10. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2008 Report. Volume I. Annex A. United Nations, New York, 2010.
11. Cristy M., Mathematical phantoms representing children of various ages for use in estimates of internal dose. ORNL, NUREG/CR-1159, ORNL/NUREG/TM-367 (1980).
12. Шацкий, И.Г. Уровни медицинского облучения детей в г. Санкт-Петербурге и возможность применения референтных диагностических уровней / И.Г. Шацкий // Радиационная гигиена. – 2014. – Т. 7, № 4. – С. 157–164.
13. Tapiovaara M., Lakkisto M., Servomaa A. PCXMC: A PC-based Monte Carlo program for calculating patient doses in medical x-ray examinations. Report STUK-A139, 2nd Edition. Helsinki, Finnish Centre for Radiation and Nuclear Safety, 2008.
14. Иванов, В.К. Радиационные риски медицинского облучения / В.К. Иванов, А.Ф. Цыб, Ф.А. Меттлер, А.Н. Меняйло, В.В. Кашеев // Радиация и риск. – 2011. – Т. 20, № 2. – С. 17–28.
15. Злокачественные новообразования в России в 2008 году (заболеваемость и смертность) / под ред. В.И. Чиссова, В.В. Старинского, Г.В. Петровой. – М., 2010. – 256 с.
16. Чекин, С.Ю. Коэффициенты радиационных рисков для российского населения при однократном и пролонгированном облучении / С.Ю. Чекин, А.Н. Меняйло, В.В. Кашеев, М.А. Максютюв // Радиация и риск. – 2014. – Т. 23, № 1. – С. 51–65.

Поступила: 01.02.2017 г.

Шацкий Илья Геннадьевич – научный сотрудник Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: mcirosh@gmail.com

Для цитирования: Шацкий И.Г. Оценка рисков медицинского облучения при рентгенографических исследованиях детей // Радиационная гигиена. – 2017. – Т. 10, № 2. – С. 31–42. DOI: 10.21514/1998-426x-2017-10-2-31-42

Risk assessment of medical exposure in X-ray examinations of children

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 use of the effective dose (the concept of which was developed for radiation protection of workers and public) and the nominal risk coefficients, averaged by sex and age, to assess the radiation risks of medical exposure has some significant limitations. Age and sex distribution of the staff and the entire population may be quite different from the sex and age distribution of patients undergoing medical exposure. Moreover, the structure of the age and sex of patients may be different for various medical examinations. There are simplified methods for evaluating individual risk for patients undergoing medical exposure. The methods are based on the effective dose evaluation and those take in to account age and gender. A more accurate assessment of lifetime risk of delayed stochastic effects for health of the patient is achieved by using the organ doses and the age and gender risk factors. The aim of this work was evaluation of the lifetime risk of long-term stochastic health effects for different gender and age groups of children undergoing various radiographic investigations by using organ doses and the age and gender risk factors, and subsequent classification in accordance with generally accepted international risk scale. Data from surveys of 33 X-ray units in 29 specialized pediatric health care organizations in Russia were used in the work. Organ doses and patient's effective doses were calculated on the basis of the defined for each x-ray machine typical modes for the 12 radiographic procedures (X-ray exam of the skull, chest, cervical spine, thoracic spine, lumbar spine – all in two projections – of the abdomen and pelvis – both in one projection) using a computer program PCXMC. Radiation risks for selected studies were estimated using the obtained organ doses and the age and gender risk factors calculated for the Russian population. The radiation risks were classified according to the international scale of the risks. It was found that the risk dependence on the sex and age is significant. For a number of examinations, the gender dependence prevail; higher risks are intrinsic to female. For others examinations, a strong dependence on the age was revealed, such as an increase of the risk for the middle age group of children (10-14 years) compared to the younger and older groups.

Key words: medical exposure, radiographic examinations, patients, pediatrics, radiation risk, effective dose.

References

1. Publication 103 of the International Commission on Radiological Protection. (ICRP). Ed. M.F. Kiselev, N.K. Shandala. Moscow, 2009, 312 p. (In Russian)
2. Martin C.J. Effective dose: how should it be applied to medical exposures? Br J Radiol, 2007, Vol. 80, pp. 639-647.
3. Brenner D.J. Effective dose: a flawed concept that could and should be replaced. Br J Radiol, 2008, Vol. 81, pp. 521-523.
4. Balonov M.I., Golikov V.Yu., Kalnitsky S.A., Bratlova A.A., Age and Sex Dependence of the Stochastic Health Effects Due to Radiography. Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost = Nuclear Medicine and Radiation Safety, 2011, Vol. 56, No. 4, pp. 71-79. (In Russian)
5. Wall B.F., Haylock R., Jansen J.T.M., Hillier M.C., Hart D., Shrimpton P.C. 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.
6. X-Ray diagnostics and radiotherapy on the threshold of the third millennium. Ed. Vlasova M.M., St.-Petersburg, Norma, 2003, 510 p. (In Russian)
7. Belavina E.A. Organizational-methodical maintenance of radiation diagnostics and prevention of breast cancer for women in St. Petersburg. PhD's thesis, St.-Petersburg, 2006, 20 p. (In Russian)
8. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Effects of ionizing radiation. UNSCEAR 2006 Report. Volume 1. Annex A. United Nations, New York, 2008.
9. Golikov V.Yu. Medical irradiation risk assessment based on the data of radiation-hygienic passportization in the regions of the Russian Federation. Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene, 2015, Vol. 8, No. 4, pp. 6-14. (In Russian)
10. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2008 Report. Volume I. Annex A. United Nations, New York, 2010.
11. Cristy M., Mathematical phantoms representing children of various ages for use in estimates of internal dose. ORNL, NUREG/CR-1159, ORNL/NUREG/TM-367 (1980).
12. Shatsky I.G. Levels of medical exposure of children in St. Petersburg's and the possibility of applying the diagnostic reference levels. Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene, 2014, Vol. 7, No. 4, pp. 157-164. (In Russian)
13. Tapiovaara M., Lakkisto M., Servomaa A. PCXMC: A PC-based Monte Carlo program for calculating patient doses in medical x-ray examinations. Report STUK-A139, 2nd Edition. Helsinki, Finnish Centre for Radiation and Nuclear Safety, 2008.

Ilya G. Shatsky

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

Address for correspondence: Mira str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: mcirosh@gmail.com

14. Ivanov V.K., Tsyb A.F., Mettler F.A., Menyaylo A.N., Kashcheev V.V. Health risks of medical radiation exposure. *Radiatsiya i risk = Radiation and Risk*, 2011, Vol. 20, No. 2, pp.17-28. (In Russian)
15. Malignancies in Russia in 2008 (morbidity and mortality). Ed. Chissov V.I., Starinsky V.V., Petrova G.V., Moscow, 2010. (In Russian)
16. Chekin S.Yu., Menyaylo A.N., Kashcheev V.V., Maksyutov M.A. Koeffitsienty radiatsionnykh riskov dlya rossiyskogo naseleniya pri odnokratnom i prolongirovannom obluchenii. *Radiatsiya i risk = Radiation and Risk*, 2014, Vol. 23, No. 1, pp. 51-65. (In Russian)

Received: February 01, 2017

For correspondence: Ilya G. Shatsky – Research scientist 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 (Mira str., 8, St. Petersburg, 197101, Russia; E-mail: mcirosh@gmail.com)

For citation: Shatsky I.G. Risk assessment of medical exposure in x-ray examinations of children. *Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene*, 2017, Vol. 10, No. 2, pp. 31–42. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2017-10-2-31-42.