

Оценка радиационных рисков онкологической заболеваемости детей и подростков на основе данных протоколов сканирования при обследовании на рентгеновских компьютерных томографах

Кашеев В.В., Пряхин Е.А., Меньяло А.Н., Панин М.С., Селёва Н.Г., Кашеева П.В., Иванов С.А., Каприн А.Д.¹, Иванов В.К.

МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, Обнинск;
¹ ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, Москва

Статья представляет результаты оценки пожизненного атрибутивного риска у детей и подростков после компьютерной томографии (КТ) различных органов и тканей. Авторы рассматривали вероятность развития солидного рака в течение всей оставшейся жизни после однократного КТ-обследования в детском или подростковом возрасте. Оценка риска осуществлялась в два этапа. На первом этапе был разработан метод расчёта эквивалентных доз облучения. Для этих целей в качестве аппаратурного параметра КТ-сканера была выбрана величина Dose Length Product (DLP, мГр×см) – мера дозы, поглощённой за всё время КТ-процедуры. В ходе работы были получены коэффициенты пересчёта параметра DLP в органные дозы для пяти областей сканирования: грудной клетки, брюшной полости, малого таза, шеи и головы. Для оценки величины пожизненного атрибутивного риска использовали коэффициенты пересчёта параметра DLP в величины эквивалентных доз облучения органов и тканей при проведении двух типовых процедур: КТ грудной клетки и КТ брюшной полости. Оценка рисков была выполнена с учётом половозрастных характеристик пациента, а также использовали медико-демографические данные российской популяции. Для оценки величины пожизненного атрибутивного риска в данной работе использовали модель МКРЗ (103 Публикация МКРЗ). Оценки пожизненного атрибутивного риска, рассчитанные на основе эквивалентных доз, полученных с помощью параметра DLP, сравнили с оценками риска, рассчитанными с использованием доз, измеренных силиконовыми фотодиодными дозиметрами на фантоме ребёнка.

Ключевые слова: радиационный риск, облучение детей и подростков, медицинское облучение, компьютерная томография, эквивалентные дозы, DLP, 103 Публикация МКРЗ, пожизненный атрибутивный риск, однократное облучение, распределение органных доз.

Введение

В настоящее время компьютерная томография (КТ) является необходимым диагностическим методом [1]. Спектр применения КТ достаточно широк: технологию применяют для определения размеров поражения, оценки ответа на лечение, а также для планирования последующих медицинских мероприятий. Хотя дозы облучения при КТ находятся в области малых доз, риск развития рака существует. Для оценки вреда от медицинского облучения, в частности КТ, требуется рассчитать дозы облучения исследуемых органов и тканей по протоколу КТ-сканирования и оценить риск рака.

В текущее время в России наблюдается снижение дозовых нагрузок на пациента в результате выполнения различных медицинских радиологических процедур, которое связано в основном с совершенствованием современных технологий. В то же время коллективная доза медицинского облучения увеличивается за счёт использования новых высокоинформативных, высокодозных исследований. Наблюдаемый рост в первую очередь связан с увеличением выполняемых процедур компьютерной томографии [1].

Кашеев В.В. – зав. лаб., к.б.н.; Пряхин Е.А.* – научн. сотр.; Меньяло А.Н. – вед. научн. сотр., к.б.н.; Панин М.С. – техник; Селёва Н.Г. – инженер; Кашеева П.В. – ст. научн. сотр., к.б.н.; Иванов С.А. – директор, д.м.н., проф. РАН; Иванов В.К. – зам. директора по научн. работе, Председатель РНКРЗ, чл.-корр. РАН. МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России. Каприн А.Д. – ген. директор, акад. РАН, д.м.н., проф. ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России.

*Контакты: 249035, Калужская обл., Обнинск, ул. Королёва, 4. Тел.: (484) 399-32-81; e-mail: nrer@obninsk.com.

Ежегодно около трети детей и подростков в России получают медицинское облучение [2]. Известно, что пролиферативная и метаболическая активность тканей у детей выше, чем у взрослых, поэтому дети и подростки более чувствительны к радиационному воздействию. Нужно учитывать, что при КТ отдельного органа радиационному воздействию также подвергаются анатомически близко расположенные к нему соседние органы и ткани.

Как известно, риск стохастических эффектов с увеличением возраста снижается, поэтому вероятность развития рака у детей и подростков после КТ-обследования выше, чем у взрослых, и величина возможного пожизненного риска выше из-за более продолжительного периода предстоящей жизни.

В последние годы всё больше внимания уделяется оценке вреда здоровью пациентов после выполнения радиологических обследований, главным образом, КТ-сканирования. Несмотря на относительно небольшое количество проводимых в России КТ-обследований (3,3% от общего числа диагностических процедур) вклад КТ в коллективную дозу медицинского облучения наибольший (47,8%) [1]. КТ грудной клетки, как показывает борьба с пневмонией, вызванной коронавирусной инфекцией, является основным и самым надёжным методом диагностики различных типов пневмонии.

Около 10% КТ-исследований выполняются для детей и подростков до 18 лет. При этом в странах с наибольшим числом проведённых процедур КТ, например, в Германии и США, этот охват может быть 13% и 20% соответственно [3].

Требования к медицинским радиологическим процедурам отражены в международных рекомендациях и государственных регламентирующих требованиях. Так, в Международных нормах безопасности, разработанных МАГАТЭ, изданных в 2011 г. [4], отмечается (п. 3.150), что ни один пациент не может подвергаться медицинскому облучению, если его не информировали о рисках, связанных с радиационным воздействием. В России это предупреждение вошло в Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009) [5] и в «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)» [6].

Следует отметить, что согласно Рекомендациям МКРЗ (Публикация 103) оценку риска радиологических медицинских диагностических обследований и лечебных процедур целесообразно проводить с применением соответствующих значений риска для отдельных органов, подвергающихся облучению. Эффективная доза может быть полезна для относительного сравнения доз от различных диагностических процедур и для сравнения применения аналогичных технологий и процедур исследования в различных лечебных учреждениях и странах, а также для сравнения разных технологий для одинаковых исследований, если референтные группы пациентов аналогичны по возрасту и полу [7].

Серьёзной проблемой практического применения врачами-радиологами технологии оценки радиационных рисков на основе органных доз облучения при КТ является сложность оценки эквивалентных доз в органах и тканях. В то же время величина произведения дозы на длину облучаемого объекта «Dose Length Product» (DLP) является мерой поглощённой дозы излучения за всё КТ-исследование и доступна врачам-радиологам после каждого сканирования [8].

Основной целью данной работы является оценка пожизненного атрибутивного риска (LAR) на основе меры поглощённой дозы облучения, полученной за полное КТ-исследование, – DLP, при проведении типовых процедур компьютерной томографии для детей и подростков с использованием эквивалентных доз облучения отдельных органов и тканей.

Материалы и методы

Расчёт органных доз и величины пожизненного атрибутивного риска заболеваемости раком детей и подростков на основе величины DLP при однократной процедуре компьютерной томографии

Для оценки радиационных рисков в данной работе была выбрана модель 103 Публикации МКРЗ. Оценка рисков выполнялась для типовых процедур КТ, для двух анатомических областей сканирования: грудная клетка и брюшная полость. В нашей ранней работе [9] была предложена методика вычисления величины пожизненного атрибутивного риска возникновения онкологического заболевания солидного типа в результате однократного облучения. Согласно методике, описанной в работе [9], основываясь на математической модели МКРЗ (Публикация 103) [7], а также медико-демографических характеристиках российской популяции [10], в данной работе была вычислена величина LAR – вероятность возникновения у индивидуума в течение оставшейся жизни онкологического заболевания, вызванного радиационным облучением, в данном случае, при однократном прохождении КТ в детском возрасте.

При оценке вреда здоровью пациента в результате прохождения процедуры КТ наиболее часто прибегают к использованию величины эффективной дозы. Согласно определению МКРЗ [7] эффективная доза рассчитывается как взвешенная сумма доз в органах и тканях по следующей формуле:

$$E = \sum_T w_T \cdot H_T, \quad (1)$$

где w_T – коэффициент взвешивания для органа (ткани) T .

Многие современные коммерческие томографы предоставляют информацию о величине эффективной дозы после завершения процедуры сканирования на КТ. Значение эффективной дозы также может быть оценено с использованием меры поглощённой дозы облучения за всё КТ-исследование DLP и величины нормализованной эффективной дозы ($\text{мЗв} \times \text{мГр}^{-1} \times \text{см}^{-1}$) [11-13]. Эти величины нормализованной эффективной дозы зависят от анатомической области исследования и возраста на момент облучения. В соответствии с Методическими указаниями по контролю доз облучения пациентов при КТ-исследованиях, утверждёнными в России в 2011 г. [11], эффективная доза может быть рассчитана по следующей формуле:

$$E = \sum_k DLP_k \times e_k^{DLP}, \quad (2)$$

где DLP_k – величина, равная произведению дозы на длину сканирования k -ой анатомической области ($\text{мГр} \times \text{см}$); e_k^{DLP} – нормализованная эффективная доза k -ой анатомической области детей и подростков (табл. 1).

Таблица 1

Значения нормализованной эффективной дозы анатомической области детей и подростков e_k^{DLP} ($\text{мЗв} \times \text{мГр}^{-1} \times \text{см}^{-1}$)

Область сканирования	Возрастная группа, годы				
	13-17	8-13	3-8	0,5-3	0-0,5
Голова	0,00253	0,00299	0,00391	0,00506	0,00598
Шея	0,00594	0,00702	0,00918	0,01188	0,01404
Грудная клетка	0,0187	0,0238	0,0272	0,0323	0,0374
Брюшная полость	0,0165	0,0225	0,024	0,03	0,036
Малый таз	0,0209	0,0285	0,0304	0,038	0,0456

Используя типичное распределение органных доз для k -ой анатомической области сканирования, можно получить значение органной дозы для соответствующего органа или ткани по формуле:

$$H_T^k = f_T^k \times H_N^k, \quad (3)$$

где H_T^k – доза конкретного органа или ткани T для k -ой анатомической области сканирования; f_T^k – коэффициент пропорциональности дозы, равный отношению величины органной дозы конкретного органа или ткани T к величине органной дозы нормирующего органа для k -ой анатомической области сканирования; H_N^k – доза нормирующего органа или ткани для k -ой анатомической области сканирования. Были выбраны следующие нормирующие органы (ткани) в зависимости от области сканирования: лёгкие для грудного отдела, желудок для брюшной полости, мочевого пузыря для малого таза, щитовидная железа для шеи и мозг при исследовании головы.

Если f_T^k для конкретного органа или ткани известно, то можно рассчитать дозу нормирующего органа для k -ой анатомической области сканирования, используя формулу:

$$H_N^k = \frac{DLP_k \times e_k^{DLP}}{\sum_T w_T \times f_T^k}. \quad (4)$$

В нашей работе мы определили коэффициент пропорциональности дозы f_T^k для пяти анатомических областей сканирования: грудь, брюшная полость, малый таз, шея и голова. Компьютерная программа СТ-Expo v2.1 [14] была использована для оценки величин органных доз и коэффициентов пропорциональности для 10 отобранных коммерческих сканеров (табл. 2). Сканеры различаются по фирмам производителям, типам модели, а также параметрами сканирования (пошаговое или спиральное сканирование, количество срезов, напряжение и т.д.).

Значения величин органных доз, смоделированные методом Монте-Карло, были рассчитаны для фантома ребёнка мужского и женского пола (возраст 7 лет, рост 115 см, вес 22 кг) [14].

Таблица 2

Модель и фирма-производитель компьютерных томографов, используемых для оценки органных доз и коэффициентов пропорциональности дозы f_T^k

Производитель	Модель
Siemens	Emotion 6 Emotion Duo Sensation 16 Sensation 64
GE	LightSpeed 16 LightSpeed VCT
Philips	Briliance 16 Briliance 64
Toshiba	Aquilion 64 Aquilion Premium

Таблица 3

Значения координат начала и окончания области сканирования z- и z+ для исследования грудного отдела, брюшной полости и малого таза

Грудной отдел			Брюшная полость			Малый таз		
Размер исследуемой области, см	Положение от: z-	Положение до: z+	Размер исследуемой области, см	Положение от: z-	Положение до: z+	Размер исследуемой области, см	Положение от: z-	Положение до: z+
18	26	44	20	0	20	15	0	15
18	27	45	19	1	20	14	1	15
18	28	46	17	3	20	12	3	15
18	25	43	16	3	19	11	3	14
18	24	42	15	3	18	10	3	13
19	26	45	14	3	17	9	3	12
20	26	46	18	1	19	13	1	14
19	25	44	16	2	18	11	2	13
20	24	44	14	3	17	9	3	12

Коэффициенты пропорциональности дозы f_T^k для грудного отдела, брюшной полости и малого таза рассчитывались как средние значения по всем томографам (табл. 2) и всем вариациям размера сканируемой области с z- до z+ (табл. 3). Для исследования головы и шеи коэффициенты пропорциональности дозы f_T^k рассчитывались только как средние значения по всем томографам.

Результаты и их обсуждение

В связи с широким использованием диагностических радиологических технологий становится актуальной проблема обеспечения радиационной безопасности проводимых радиологических исследований особенно для наиболее чувствительной к радиационному воздействию группы пациентов – детей и подростков. Соблюдение принципов радиационной безопасности, оптимизация медицинского облучения требуют строгого подхода к оценке вреда здоровью ребёнка радиологических диагностических исследований. В нашей работе риск индукции онкологических заболеваний в результате КТ-сканирования был оценён с использованием органных доз облучения и учётом медико-демографических характеристик российской популяции.

Компьютерная программа СТ-Expo v2.1 была использована для расчёта органных доз и оценки коэффициентов пропорциональности дозы f_T^k для пяти анатомических областей сканирования: грудной отдел, брюшная полость, малый таз, шея и голова. Средние величины коэффициентов пропорциональности дозы f_T^k и стандартные отклонения σ , связанные со специфической дозовой распределением, приведены в табл. 4 и 5.

Как видно из табл. 4 и 5, для каждой анатомической области сканирования можно выделить набор органов, которые получают наибольшие дозовые нагрузки. Для КТ грудного отдела такими органами являются лёгкие, щитовидная железа, молочная железа (у девочек) и пищевод. При сканировании брюшной полости наибольшие дозы характерны для желудка, печени, толстого кишечника, яичников (у девочек) и мочевого пузыря. При КТ малого таза наибольшей дозовой нагрузке подвергаются мочевой пузырь и яичники (у девочек). При КТ-исследовании головы пациентов с большой степенью вероятности будет облучён головной мозг. Доза облу-

чения на хрусталик глаза не рассматривалась, хотя по величине сравнима с дозой облучения головного мозга, так как не вносит вклад в суммарную эффективную дозу облучения пациента.

Таблица 4

Коэффициент пропорциональности дозы f_T^k органа или ткани T относительно дозы на лёгкие, желудок, мочевой пузырь, щитовидную железу и мозг для различных процедур сканирования девочек

Орган или ткань	Коэффициент пропорциональности дозы $f_T^k \pm \sigma$				
	Грудной отдел	Брюшная полость	Голова	Малый таз	Шея
Мозг	0,01±0,01	-	1	-	0,09±0,02
Слюнные железы	0,45±0,36	0,01±0,00	0,13±0,02	-	0,90±0,25
Щитовидная железа	0,77±0,60	0,01±0,00	0,07±0,00	-	-
Молочные железы	1,18±0,03	0,32±0,35	-	0,01±0,00	-
Пищевод	0,99±0,06	0,07±0,04	-	-	0,04±0,00
Лёгкие	1	0,15±0,21	-	0,03±0,00	0,02±0,00
Печень	0,67±0,21	0,89±0,07	-	0,22±0,12	-
Желудок	0,17±0,20	1	-	0,23±0,16	-
Тонкий кишечник	-	0,99±0,20	-	0,35±0,02	-
Яичники	-	0,87±0,19	-	0,78±0,05	-
Мочевой пузырь	0,03±0,00	1,12±0,21	-	1	-
Костный мозг	0,48±0,01	0,67±0,06	0,09±0,01	0,57±0,02	0,07±0,00
Костные поверхности	0,56±0,04	0,54±0,07	0,22±0,03	0,49±0,04	0,37±0,00
Кожа	0,17±0,02	0,33±0,04	0,08±0,00	0,12±0,02	0,09±0,00
Остальные	0,68±0,07	0,46±0,04	0,020,00±	0,23±0,11	0,26±0,00

Таблица 5

Коэффициент пропорциональности дозы f_T^k органа или ткани T относительно дозы на лёгкие, желудок, мочевой пузырь, щитовидную железу и мозг для различных процедур сканирования мальчиков

Орган или ткань	Коэффициент пропорциональности дозы $f_T^k \pm \sigma$				
	Грудной отдел	Брюшная полость	Голова	Малый таз	Шея
Мозг	0,03±0,01	-	1	-	0,07±0,01
Слюнные железы	0,53±0,24	0,01±0,00	0,15±0,02	-	0,80±0,25
Щитовидная железа	1,12±0,55	0,01±0,00	0,10±0,00	-	1
Молочные железы	-	-	-	-	-
Пищевод	0,92±0,04	0,05±0,04	-	-	0,04±0,00
Лёгкие	1	0,15±0,23	-	0,01±0,00	0,03±0,00
Печень	0,70±0,21	0,58±0,31	-	0,22±0,13	-
Желудок	0,46±0,21	1	-	0,34±0,18	-
Тонкий кишечник	0,04±0,00	4,24±0,19	-	0,65±0,03	-
Семенники	-	1,950,34±	-	0,39±0,29	-
Мочевой пузырь	0,01±0,00	4,53±0,21	-	1	-
Костный мозг	0,17±0,01	0,84±0,06	0,11±0,01	0,55±0,03	0,05±0,00
Костные поверхности	0,71±0,04	2,60±0,07	0,29±0,03	0,23±0,05	0,28±0,00
Кожа	0,27±0,02	1,30±0,04	0,09±0,00	0,36±0,03	0,03±0,00
Остальные	0,46±0,07	2,02±0,21	0,01±0,00	0,53±0,20	0,05±0,00

Пример расчёта органных доз и величины радиационного риска на основе DLP

В качестве примера приводится оценка эквивалентных органных доз H_T с использованием среднего значения коэффициента пропорциональности для конкретного органа или ткани f_T^k , а также формулы 3 и 4 для значения DLP=100 мГр×см при сканировании грудного отдела, брюшной полости, малого таза мальчиков и девочек в возрастной группе от 3 до 8 лет (табл. 6).

Представленная методика позволяет легко оценивать эквивалентные дозы облучения отдельных органов, получаемые пациентами при КТ-сканировании грудного отдела брюшной полости и малого таза детей в возрасте от 3 до 8 лет.

Таблица 6

Эквивалентные дозы H_T для DLP=100 для процедур сканирования грудного отдела, брюшной полости и малого таза

Орган или ткань	Эквивалентная доза на орган H_T для DLP=100, мЗв					
	Грудной отдел		Брюшная полость		Малый таз	
	мальчики	девочки	мальчики	девочки	мальчики	девочки
Мозг	0,19	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
Слюнные железы	3,76	2,33	0,02	0,04	0,00	0,00
Щитовидная железа	8,03	3,93	0,02	0,04	0,00	0,00
Молочные железы	0,00	6,04	0,00	1,32	0,00	0,06
Пищевод	6,59	5,07	0,11	0,28	0,04	0,02
Лёгкие	7,15	5,13	0,14	0,59	0,06	0,27
Печень	4,98	3,43	1,14	3,59	3,02	2,37
Желудок	3,31	0,86	1,96	4,05	3,32	2,47
Тонкий кишечник	0,27	0,02	8,30	4,00	6,40	3,68
Семенники	0,00	0,00	3,81	0,00	3,89	0,00
Яичники	0,00	0,01	0,00	3,55	0,00	8,31
Мочевой пузырь	0,04	0,14	8,86	4,56	9,90	10,61
Костный мозг	1,21	2,45	1,64	2,71	5,47	6,04
Костные поверхности	5,10	2,86	5,09	2,21	2,23	5,21
Кожа	1,90	0,90	2,54	1,32	3,60	1,31
Остальные	3,27	3,47	3,95	1,85	5,29	2,40

Используя предложенный метод, мы оценили пожизненный атрибутивный риск заболеваемости солидными типами рака для мальчика и девочки в возрасте 7 лет. Выбор возраста для оценки риска в данном примере объясняется параметрами используемых фантомов (фантом для моделирования в программе СТ-Ехро v2.1 и фантом, используемый в работе [15], схожи по физическим характеристикам). Для оценки риска были выбраны следующие процедуры: КТ грудной клетки и КТ брюшной полости. Результат сравнили с оценками риска, полученными на основе величин органных доз, измеренными силиконовыми фотодиодными дозиметрами для универсального фантома ребёнка (возраст 6 лет, рост 115 см, вес 20 кг) [15]. Значения органных доз были выбраны для 3-х случайных компьютерных томографов: КТ-сканер А, КТ-сканер В, КТ-сканер D. Величины параметра DLP для рассматриваемых процедур и типов компьютерных томографов были смоделированы с использованием программы СТ-Ехро v2.1, а также информации о проведённых исследованиях из работы [15].

В табл. 7 приведены результаты оценки величин LAR , оцененных с использованием расчётных и измеренных органных доз, а также величина относительной разницы значений LAR , выраженная как:

$$\Delta = \left| \frac{(LAR_{FUJI} - LAR_{DLP})}{LAR_{DLP}} \cdot 100\% \right|, \quad (5)$$

где LAR_{FUJI} – пожизненный атрибутивный риск, рассчитанный с использованием органных доз, измеренных дозиметрами в фантоме; LAR_{DLP} – пожизненный атрибутивный риск, рассчитанный с использованием параметра DLP.

Таблица 7

Сравнение пожизненных атрибутивных рисков возможной индукции онкологических заболеваний (LAR) мальчика и девочки в возрасте 7 лет на момент облучения, рассчитанных с использованием органичных доз, полученных с использованием DLP и измеренных силиконовыми фотодиодными дозиметрами

LAR на 10 ⁴ человек	КТ Грудной клетки					
	Сканер А (DLP=341)		Сканер В (DLP=504)		Сканер D (DLP=570)	
	Девочка	Мальчик	Девочка	Мальчик	Девочка	Мальчик
LAR _{FUJII}	9,87	2,90	15,84	5,19	12,22	3,18
LAR _{DLP}	9,16	3,93	13,71	6,39	11,20	4,57
Δ, %	7,74	26,29	15,51	18,77	9,15	30,42
LAR на 10 ⁴ человек	КТ Брюшной полости					
	Сканер А (DLP=252)		Сканер В (DLP=391)		Сканер D (DLP=545)	
	Девочка	Мальчик	Девочка	Мальчик	Девочка	Мальчик
LAR _{FUJII}	4,06	3,32	5,75	4,70	7,56	5,43
LAR _{DLP}	3,97	3,56	6,43	5,80	8,42	7,31
Δ, %	2,17	6,91	10,64	18,85	8,28	25,68

Из табл. 7 видно, что пожизненный атрибутивный риск, рассчитанный с помощью органичных доз, полученных с использованием DLP, сравним с риском, полученным с помощью органичных доз, измеренных дозиметрами в фантоме. При этом сравнительно большое различие в величине рисков, оцененных для мальчика, объясняется тем, что в работе [15] использовался один универсальный фантом для оценки доз как мальчиков, так и девочек. Наибольшие различия в оценке риска наблюдались при КТ грудного отдела мальчика 30,42%. Тем не менее, необходимо учитывать, что в данной работе рассматривалась оценка риска для ребёнка возрастной группы 3-8 лет и с определённым весом и ростом, соответствующим параметрам выбранных фантомов.

Предложенный в работе метод позволяет использовать параметр DLP для оценки радиационных рисков на индивидуальном уровне, а также может стать удобным инструментом для оптимизации медицинского облучения у детей и подростков.

Литература

1. **Кащеев В.В., Пряхин Е.А.** Медицинское диагностическое облучение: проблема радиационной безопасности. Обзор //Радиация и риск. 2018. Т. 27, № 4. С. 49-64.
2. **Зиматкина Т.И., Малевич Р.О., Вольф С.Б.** Медицинское облучение детей и пути его оптимизации //Новости медико-биологических наук. 2017. Т. 15, № 1. С. 14-19.
3. Communicating radiation risks in pediatric imaging: information to support health care discussions about benefit and risk. Geneva: WHO, 2016. 88 p.
4. IAEA Safety Standards. Radiation protection and safety of radiation sources: International Basic Safety Standards. General Safety Requirements No. GSR Part 3 (Interim). Vienna: IAEA, 2011.
5. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009). Санитарные правила и нормативы. СанПиН 2.6.1.2523-09. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 100 с.
6. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010). Санитарные правила. СП 2.6.1.2612-10. М.: Центр санитарно-эпидемиологического нормирования, гигиенической сертификации Минздрава России, 2010.
7. ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103 //Ann. ICRP. 2007. V. 37, N 2-4. P. 1-332.
8. **Ivanov V.K., Tsyb A.F., Mettler F.A., Menyaylo A.N., Kashcheev V.V.** Methodology for estimating cancer risks of diagnostic medical exposure: with an example of the risks associated with computed tomography //Health Phys. 2012. V. 103, N 6. P. 732-739.
9. **Иванов В.К., Меняйло А.Н., Кащеев В.В., Чекин С.Ю., Горский А.И., Максютов М.А., Туманов К.А.** Сравнительный анализ современных моделей оценки радиационных рисков МКРЗ и НКДАР ООН //АНРИ. 2011. № 3. С. 18-29.
10. Злокачественные новообразования в России в 2008 г. (заболеваемость и смертность): справочник /под ред. акад. РАМН В.И. Чиссова, проф. В.В. Старинского. М., 2010.
11. Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований: методические указания. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. 38 с.
12. European guidelines on quality criteria for computed tomography. EUR 16262. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2000.
13. **Shrimpton P.C., Hillier M.C., Lewis M.A., Dunn M.** National survey of doses from CT in the UK: 2003 //Br. J. Radiol. 2006. V. 79, N 948. P. 968-980.
14. **Stamm G., Nagel H.D.** CT-expo: a novel program for dose evaluation in CT //Rofo. 2002. V. 174, N 12. P. 1570-1576.
15. **Fujii K., Aoyama T., Yamauchi-Kawaura C., Koyama S., Yamauchi M., Ko S., Akahane K., Nishizawa K.** Radiation dose evaluation in 64-slice CT examinations with adults and paediatric anthropomorphic phantoms //Br. J. Radiol. 2009. V. 82, N 984. P. 1010-1018.

Radiation risks assessment of children cancer incidence based on computed tomography examination protocols

Kashcheev V.V., Pryakhin E.A., Menyajlo A.N., Panin M.S., Seleva N.G., Kashcheeva P.V., Ivanov S.A., Kaprin A.D.¹, Ivanov V.K.

A. Tsyb MRRC, Obninsk;

¹ NMRRRC Russian Ministry of Health, Moscow

The article presents approach to estimating lifetime attributable risk (LAR) of cancer following single computed tomography (CT) scanning in childhood and adolescence. LAR estimating was two-stage process. First methods for calculating equivalent doses to organs and tissues were developed. For estimating LAR of solid cancer from computed tomography organ doses were calculated with the use of dose-length product (DLP) as a measure of absorbed dose. Coefficients for conversion of DLP for CT scans of thoracic, abdominal and pelvis organs to equivalent doses were evaluated. Risks of radiation-induced cancer from computed tomography in relation to age and sex were estimated for CT scans of thoracic and abdominal studies. Lifetime attributable risk of cancer was estimated with ICRP models (Publication 103) and medico-demographic parameters of the Russian population. LAR estimated using organ doses, evaluated with the use of DLP, were compared with the risk estimated with organ doses measured using silicone photodiode dosimeters.

Key words: radiation risk, exposure of children, medical exposure, computed tomography, organ doses, DLP, ICRP 103 Publication, lifetime attributable risk, single study, typical dose distribution.

References

1. **Kashcheev V.V., Pryakhin E.A.** Medical diagnostic imaging: radiation safety issues. Review. *Radiatsiya i risk – Radiation and Risk*, 2018, vol. 27, no. 4, pp. 49-64. (In Russian).
2. **Zimatkina T.I., Malevich R.O., Volf S.B.** Medical exposure of children and ways of optimization. *Novosti mediko-biologicheskikh nauk – News of Biomedical Sciences*, 2017, vol. 15, no. 1, pp. 14-19. (In Russian).
3. Communicating radiation risks in pediatric imaging: information to support health care discussions about benefit and risk. Geneva, WHO, 2016. 88 p.
4. IAEA Safety Standards. Radiation protection and safety of radiation sources: International Basic Safety Standards. General Safety Requirements No. GSR Part 3 (Interim). Vienna, IAEA, 2011.
5. Radiation Safety Standards (RSS-99/2009). Sanitary-epidemiological rules and standards. Moscow, Federal Center of Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2009. 100 p. (In Russian).
6. Basic Sanitary Rules for Radiation Safety (OSPORB-99/2010). Health regulations, SP 2.6.1.2612-10. Moscow, Center for Sanitary and Epidemiological Rationing, Hygienic Certification of Russian Ministry of Health, 2010. (In Russian).
7. ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Ann. ICRP*, 2007, vol. 37, no. 2-4, pp. 1-332.
8. **Ivanov V.K., Tsyb A.F., Mettler F.A., Menyajlo A.N., Kashcheev V.V.** Methodology for estimating cancer risks of diagnostic medical exposure: with an example of the risks associated with computed tomography. *Health Phys.*, 2012, vol. 103, no. 6, pp. 732-739.
9. **Ivanov V.K., Menyailo A.N., Kashcheev V.V., Chekin S.Yu., Gorsky A.I., Maksioutov M.A., Tumanov K.A.** Comparative analysis of modern risk models developed by ICRP and UNSCEAR. ANRI, 2011, no. 3, pp. 18-29. (In Russian).

Kashcheev V.V. – Head of Lab., C. Sc., Biol.; Pryakhin E.A.* – Researcher; Menyajlo A.N. – Lead. Researcher, C. Sc., Biol.; Panin M.S. – Technician; Seleva N.G. – Engineer; Kashcheeva P.V. – Senior Researcher; C. Sc., Biol.; Ivanov S.A. – Director, MD, Prof. of RAS; Ivanov V.K. – Deputy Director, Chairman of RSCR, Corresponding Member of RAS. A. Tsyb MRRC. Kaprin A.D. – General Director, Academician of RAS, MD, Prof. NMRRRC.

*Contacts: 4 Korolyov str., Obninsk, Kaluga region, Russia, 249035. Tel.: (484) 399-32-81; e-mail: nrer@obninsk.com.

10. *Malignant neoplasms in Russia in 2008* (morbidity and mortality). Eds.: V.I. Chissov, V.V. Starinskiy. Moscow, 2010. (In Russian).
11. Monitoring of effective doses to patients during medical x-ray studies: guidelines. Moscow, Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2011. 38 p.
12. European guidelines on quality criteria for computed tomography. EUR 16262. Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities, 2000.
13. **Shrimpton P.C., Hillier M.C., Lewis M.A., Dunn M.** National survey of doses from CT in the UK: 2003. *Br. J. Radiol.*, 2006, vol. 79, no. 948, pp. 968-980.
14. **Stamm G., Nagel H.D.** CT-expo: a novel program for dose evaluation in CT. *Rofo.*, 2002, vol. 174, no. 12, pp. 1570-1576.
15. **Fujii K., Aoyama T., Yamauchi-Kawaura C., Koyama S., Yamauchi M., Ko S., Akahane K., Nishizawa K.** Radiation dose evaluation in 64-slice CT examinations with adults and paediatric anthropomorphic phantoms. *Br. J. Radiol.*, 2009, vol. 82, no. 984, pp. 1010-1018.