

Е.И. Маткевич

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОГО РИСКА ДЛЯ ПАЦИЕНТОВ ПРИ КТ-ДИАГНОСТИКЕ COVID-19 ОРГАНОВ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ

Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Минздрава РФ, Москва

Контактное лицо: Елена Ивановна Маткевич: ivanov-iv@list.ru

РЕФЕРАТ

Цель: Оценить эффективные дозы облучения пациентов при рентгеновской КТ органов грудной клетки при диагностике COVID-19 и рассчитать радиационный риск последствий этого воздействия.

Материал и методы: Проанализировали результаты 1003 КТ-исследований органов грудной клетки, проведенных у пациентов (6,2 % – дети 12–14 лет, 15,3 % – подростки 15–19 лет, 60,1 % – взрослые 20–64 года, 18,4% – пожилые люди 65 лет и старше) с подозрением на COVID-19 в течение одной недели октября 2020 г. в городском диагностическом центре. В каждой группе рассчитывалась средняя эффективная доза (ЭД, мЗв).

Результаты: Средние значения ЭД и доверительные интервалы ($p = 0,05$) для пациентов с КТ составили: у детей $2,59 \pm 0,19$ мЗв, у подростков $3,23 \pm 0,17$ мЗв, у взрослых $3,43 \pm 0,08$ мЗв, у пожилых людей $3,28 \pm 0,19$ мЗв. Максимальные показатели радиационного риска наблюдались в группах детей ($24,1 \times 10^{-5}$) и подростков ($23,3 \times 10^{-5}$). Для взрослых пациентов средний риск составлял $14,4 \times 10^{-5}$. В группах женщин радиационный риск был в 1,3–2,3 раза выше, чем у пациентов мужского пола. Значения риска у детей, подростков и взрослых находятся в диапазоне 10×10^{-5} – 100×10^{-5} (низкий), для пациентов старшего возраста – $2,6 \times 10^{-5}$ (очень низкий).

Заключение: Установлены эффективные дозы облучения для КТ органов грудной клетки пациентов с диагнозом COVID-19 и рассчитан радиационный риск для 1–3-кратной КТ органов грудной клетки в зависимости от возраста и пола пациентов. Было обнаружено, что радиационный риск для одно-, двух- и трехкратной КТ органов грудной клетки для пациентов до 65 лет – *низкий*, от 65 лет и старше – *очень низкий*. Учет радиационного риска при КТ необходим для снижения отдаленных последствий радиационного воздействия на население.

Ключевые слова: рентгеновская компьютерная томография, органы грудной клетки, эффективная доза, уровни радиационного риска, пол, возраст, COVID-19

Для цитирования: Маткевич Е.И. Оценка радиационного риска для пациентов при КТ-диагностике COVID-19 органов грудной клетки // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2021. Т.66. №2. С.59–66

DOI: 10.12737/1024-6177-2021-66-2-59-66

Введение

В последние годы наблюдается тенденция к увеличению дозовой нагрузки от рентгеновской КТ на население как во всем мире, так и в России. Вклад КТ-диагностики в коллективную дозу от медицинского облучения в России увеличился с 22,06 % в 2010 г. до 53,97 % в 2018 г. и в настоящее время занимает первое место среди других видов рентгеновских и радиологических исследований [1]. Поэтому важно оценить уровни доз облучения и радиационные риски в виде возможной онкологической патологии среди населения в отдаленном периоде после облучения [2–8].

Оценивая стохастические эффекты на основе линейной беспороговой модели, P. Galle [9] пришел к выводу, что по сравнению с 700 тыс. спонтанных раковых заболеваний в год в пересчете на население Франции 7 тыс. смертельных случаев рака вызваны радиационными причинами. Из них 3 тыс. связаны с высокими концентрациями радона в домах, 1000 – с радиационными медицинскими процедурами, 10 – с радиацией от работы ядерной промышленности и 1 – с повышенным естественным радиационным фоном. Таким образом, в результате медицинского облучения возникает 14,3 % всех онкологических патологий.

В связи с широким использованием компьютерной томографии органов грудной клетки для диагностики COVID-19, в том числе при повторных обследованиях, этот вопрос приобретает особую актуальность. Цель исследования – оценить эффективные дозы облучения пациентов при КТ органов грудной клетки для диагностики COVID-19 и рассчитать радиационный риск последствий этого воздействия.

Материал и методы

Общая характеристика пациентов.

Были проанализированы результаты 1003 КТ-исследований органов грудной клетки, проведенных пациентам с подозрением на COVID-19 в течение одной недели в октябре 2020 г. в городском диагностическом центре. Распределение пациентов по группам при КТ-обследовании приведено в табл. 1.

Среди пациентов были 6,2 % – дети 12–14 лет, 15,3 % – подростки 15–19 лет, 60,1 % – взрослые 20–64 года, 18,4 % – пожилые люди 65 лет и старше. Средний возраст и доверительные интервалы ($p = 0,05$) в 1-й группе (дети) составили $13,8 \pm 0,20$, во 2-й группе (подростки) $17,1 \pm 0,41$ года, в 3-й группе (взрослые) – $45,8 \pm 1,47$ года (из них 41,8 % – в возрасте 20–45 лет, 58,2 % – в возрасте 46–64 года); в группе 4 (пожилые люди) – $69,4 \pm 1,79$ года. Доли лиц мужского и женского пола составляли, соответственно: в 1-й группе – 51,6 % и 48,4 %, во 2-й группе – 52,3 % и 47,7 %, в 3-й группе – 46,3 % и 53,7 %, в 4-й группе – по 47 и 53 %. Общее количество пациентов с КТ-признаками пневмонии – 54,6 %, без патологических признаков на КТ – 45,4 %.

Описание техники компьютерной томографии.

КТ-исследования органов грудной клетки выполняли на сканере Siemens Somatom Emotion 16 (16-срезовый) по стандартному алгоритму. Применялось напряжение на трубке 130 кВ с автоматической модуляцией силы тока, толщина среза составляла 0,8 мм (шаг 1,4) или 1,5 мм (шаг 1,2). Из отчетов КТ каждого пациента в базу данных заносились значения параметров, определяющих

Таблица 1

Распределение пациентов по группам при КТ исследованиях на COVID-19
The distribution of patients in groups during CT examination on COVID-19

Группы	Возраст (лет)	Погруппы по полу	Количество пациентов	Доля пациентов с КТ-признаками пневмонии, %	Доля пациентов без КТ-признаков пневмонии, %
1	Дети (12–14)	1.1. Мужской	32	15,6	84,4
		1.2. Женский	30	13,3	86,7
		1. Всего	62	14,5	85,5
2	Подростки (15–19)	2.1. Мужской	80	26,3	73,7
		2.2. Женский	73	21,9	78,1
		2. Всего	153	24,2	75,8
3	Взрослые (20–64)	3.1. Мужской	279	55,6	44,4
		3.2. Женский	324	71,0	29,0
		3. Всего	603	63,8	36,2
4	Пожилые (65 и старше)	4.1. Мужской	87	77,0	23,0
		4.2. Женский	98	51,0	49,0
		4. Всего	85	63,2	36,8

лучевую нагрузку: $CTDI_{vol}$ (мГр) и DLP (мГр¹х см¹). Для расчета эффективной дозы ($E_{D, мЗв}$) использовался коэффициент преобразования $K_{ЭД, DLP}$ (мЗвхмГр⁻¹хсм⁻¹): для органов грудной клетки у взрослых $K_{ЭД, DLP} = 0,012$, у детей 12–18 лет – $K_{ЭД, DLP} = 0,016$ [10, 11].

Статистическая обработка результатов.

Оценка значений эффективных доз в сформированных группах на нормальность по критерию Колмогорова – Смирнова и W -критерию Шапиро – Уилки показала, что характер их распределения близок к нормальному. Измеренные данные были выражены как среднее значение \pm доверительный интервал при $p = 0,05$ ($M_{cp} \pm DI$), а также как медиана (Me , 25-й и 75-й процентиля). Достоверность различий между группами по t -критерию Стьюдента считали статистически значимой при $p < 0,05$. Для анализа использовалась статистическая программа Statistika (версия 10.0; Stat Soft. Inc.).

При оценке радиационного риска учитывался пожизненный радиационный риск смерти с учетом вреда от снижения качества жизни по причине онкологических

заболеваний после облучения дозой 1 мГр для мужчин и женщин из различных возрастных интервалов на момент облучения. Расчеты проведены согласно российским национальным методическим рекомендациям [12]:

$$R = ED \times r, \quad (1)$$

где R – радиационный риск на 100 тыс. населения после облучения в ЭД отн. ед., ED – эффективная доза, мЗв; r – показатель риска для облучения в дозе 1 мЗв, мЗв⁻¹.

В данном исследовании использованы половозрастные коэффициенты показателя риска r (табл. 2) [12]. Эти значения были рассчитаны для населения России с использованием моделей риска и методов расчета МКРЗ [13, 14]. При оценке уровней радиационного риска использовали градации *минимальный, очень низкий, низкий и умеренный* (табл. 3).

Результаты и обсуждение

Средние эффективные дозы для пациентов с однократным КТ – исследованием в сформированных группах составили (табл. 4, рис. 1А): в 1-й группе (дети 12–14 лет)

Таблица 2

Коэффициенты пожизненного риска смерти с учетом вреда от снижения качества жизни, рассчитанные на 1 мЗв эффективной дозы при медицинском диагностическом облучении органов грудной клетки [12]

Lifetime risk of death ratios, taking into account harm from reduced quality of life, calculated per 1 mSv effective dose for medical diagnostic chest irradiation [12]

Возраст, лет	Мужчины	Женщины	Возраст, лет	Мужчины	Женщины
0 – 4	$5,6 \times 10^{-5}$	$2,2 \times 10^{-4}$	45 – 49	$2,9 \times 10^{-5}$	$4,9 \times 10^{-5}$
5 – 9	$5,0 \times 10^{-5}$	$1,8 \times 10^{-4}$	50 – 54	$2,6 \times 10^{-5}$	$4,1 \times 10^{-5}$
10 – 14	$4,6 \times 10^{-5}$	$1,4 \times 10^{-4}$	55 – 59	$2,1 \times 10^{-5}$	$3,4 \times 10^{-5}$
15 – 19	$4,4 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-4}$	60 – 64	$1,7 \times 10^{-5}$	$2,7 \times 10^{-5}$
20 – 24	$4,0 \times 10^{-5}$	$8,1 \times 10^{-5}$	65 – 69	$1,3 \times 10^{-5}$	$2,0 \times 10^{-5}$
25 – 29	$3,8 \times 10^{-5}$	$7,1 \times 10^{-5}$	70 – 74	$9,5 \times 10^{-6}$	$1,3 \times 10^{-5}$
30 – 34	$3,6 \times 10^{-5}$	$6,3 \times 10^{-5}$	75 – 79	$6,4 \times 10^{-6}$	$7,9 \times 10^{-6}$
35 – 39	$3,4 \times 10^{-5}$	$5,6 \times 10^{-5}$	80 – 84	$4,3 \times 10^{-6}$	$4,6 \times 10^{-6}$
40 – 44	$3,3 \times 10^{-5}$	$5,7 \times 10^{-5}$	85+	$2,1 \times 10^{-6}$	$1,3 \times 10^{-6}$

Таблица 3

Уровни радиационного риска (индивидуальный пожизненный риск) для здоровья пациента, связанного с медицинским облучением во время диагностических исследований или лечебных процедур [12]
The radiation risk levels (individual lifetime risk) to a patient's health associated with medical exposure during diagnostic studies or treatment procedures [12]

Уровни радиационного риска	Радиационный риск	
	Значения	Значения на 100 тыс. человек
Пренебрежимо малый	$<10^{-6}$ (менее 1 случая на 1млн. человек)	$< 0,1$
Минимальный	$10^{-6}-10^{-5}$ (1–10 случаев на 1млн. человек)	0,1–1
Очень низкий	$10^{-5}-10^{-4}$ (1–10 случаев на 100 тыс. человек)	1–10
Низкий	$10^{-4}-10^{-3}$ (1–10 случаев на 10 тыс. человек)	10–100
Умеренный	$10^{-3}-3 \times 10^{-3}$ (1–3 случая на 1тыс. человек)	100–300

2,59 ± 0,19 мЗв, во 2-й группе (подростки 15–19 лет) 3,23 ± 0,17 мЗв, в группе 3 (взрослые 19–64 лет) 3,43 ± 0,08 мЗв и в группе 4 (пожилые люди – 65 лет и старше) 3,28 ± 0,19 мЗв.

Эти дозы сопоставимы со значениями ЭД, показанными в отчете по оценке диагностических референсных уровней (DRL) для КТ взрослых в европейских странах [15] и в исследованиях других авторов [16–18]. DRL для КТ органов грудной клетки взрослых в европейских странах составляли: 4,7–6,31 мЗв в Нидерландах [12, 13], 5,1–5,95 мЗв в Германии [15, 17], 6,8 мЗв в Австрии [15], 5,95–10,4 мЗв в Великобритании [15, 18], 7,31 мЗв в Финляндии [15], 8,5–10,5 в Дании [15], 4,25 мЗв в Швейцарии [19].

В нашем более раннем исследовании со стандартными протоколами на разных КТ-сканерах значения ЭД находились в диапазоне 2,4–6,0 мЗв для однофазных КТ

и в диапазоне 8,4–15,3 мЗв для многофазных КТ с контрастированием [20]. Использование низкодозовых протоколов (уменьшение напряжения на трубке со 120–130 до 80–100 кВ с автоматической модуляцией тока) позволило снизить ЭД до 1,6 мЗв для однофазных КТ при применении алгоритма итеративной реконструкции MBIR, и до 4,41 мЗв для многофазных КТ при применении алгоритма итеративной реконструкции ASIR [21].

Данные расчетов значений и уровней радиационного риска на 100 тыс. облученных лиц после КТ-облучения органов грудной клетки представлены табл. 4, а также для подгрупп пациентов, сформированных по возрасту, на рис. 1 и по полу, на рис. 2. Максимальные значения радиационного риска для однократной КТ наблюдались (рис. 1Б) в группах детей ($24,1 \times 10^{-5}$) и подростков ($23,3 \times 10^{-5}$). Проведенный анализ в зависимости от пола

Таблица 4

Эффективные дозы и уровни радиационного риска в группах пациентов при однократной диагностической компьютерной томографии органов грудной клетки на COVID-19
Effective doses and radiation risk levels in patient groups with a single CT scan of the chest on COVID-19

Группа	Возраст (лет)	Пол	ЭД, Me (25 th ; 75 th percentile), мЗв	ЭД, M _{cp} ±ДИ, мЗв	Радиационный риск			
					Случаев на 100 тыс. человек			Уровень
					Расчет	Значение	Интервал критериальный	
1	Дети (12–14)	Мужской	2,65 (2,45; 2,96)	2,92±0,30	ЭД×4,6	13,4	10–100	Низкий
		Женский	2,17 (1,88; 2,46)	2,23±0,16	ЭД×14,0*	31,2	10–100	Низкий
		Всего	2,46 (2,13; 2,70)	2,59±0,19	ЭД×9,3*	24,1	10–100	Низкий
2	Подростки (15–19)	Мужской	3,38 (3,01; 3,88)	3,50±0,23	ЭД×4,4	15,4	10–100	Низкий
		Женский	2,51 (2,37; 3,15)	2,93±0,23	ЭД×10,0	29,3	10–100	Низкий
		Всего	3,13 (2,37; 3,60)	3,23±0,17	ЭД×7,2	23,3	10–100	Низкий
3	Взрослые (20–64)	Мужской	3,69; (3,05; 4,10)	3,61±0,08	ЭД×3,1	11,2	10–100	Низкий
		Женский	3,27 (2,42; 3,77)	3,28±0,13	ЭД×5,3	17,4	10–100	Низкий
		Всего	3,39 (2,72; 3,93)	3,43±0,08 ^{1,2}	ЭД×7,2	14,4	10–100	Низкий
4	Пожилые (65 и старше)	Мужской	3,15 (2,57; 3,90)	3,30±0,23	ЭД×0,7	2,3	1–10	Очень низкий
		Женский	3,26 (2,05; 4,20)	3,26±0,30	ЭД×0,9	2,9	1–10	Очень низкий
		Всего	3,21 (2,51; 3,90)	3,28±0,19 ^{3,4}	ЭД×0,8	2,6	1–10	Очень низкий

Примечание: * – Значимость различий средних значений ЭД (M_{cp}) между группами ($p \leq 0,05$) ¹ – 1 и 3, ² – 2 и 3, ³ – 1 и 4, ⁴ – 2 и 4

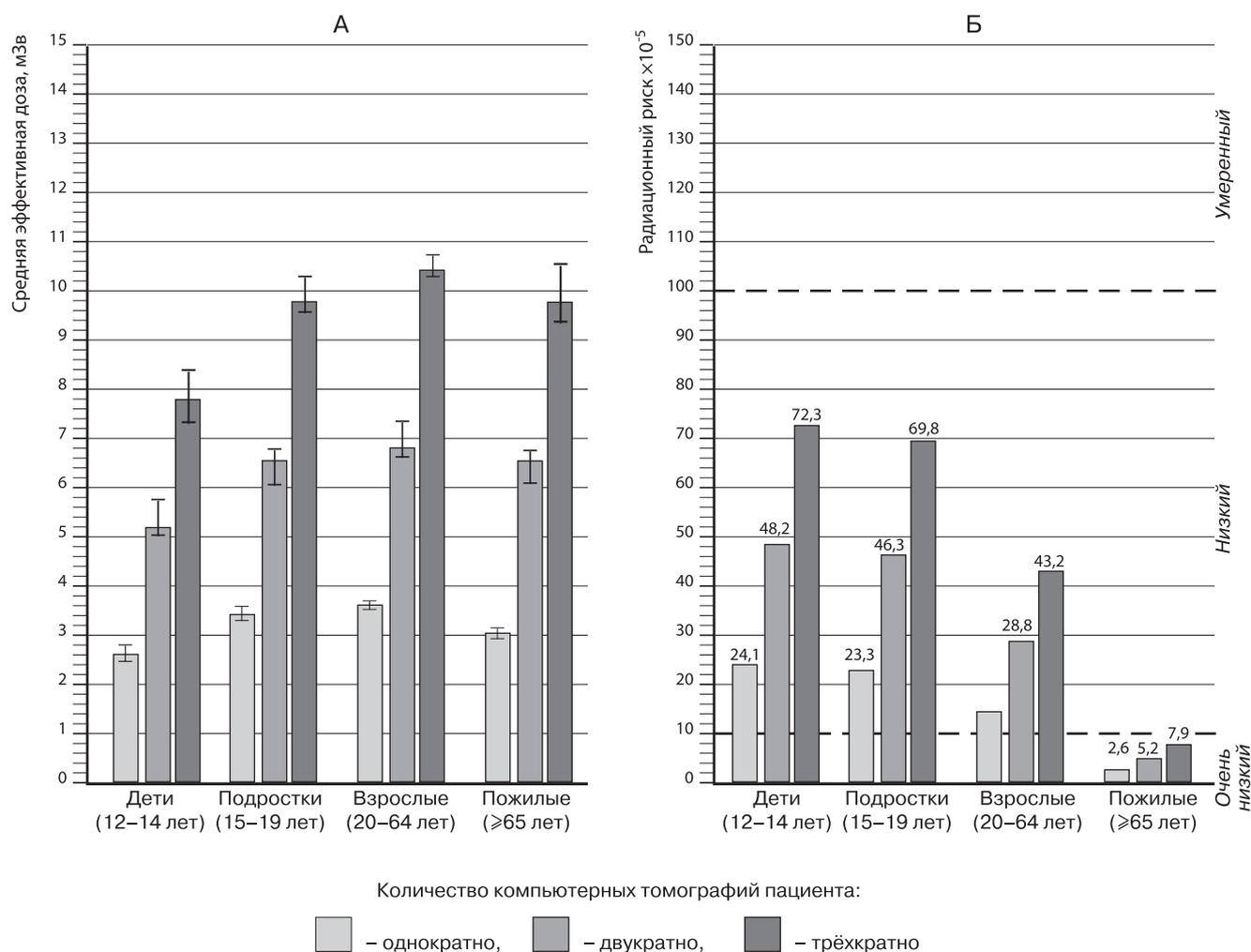


Рис. 1 – Средние дозы, мЗв (А) и значения радиационного риска по возрастным группам пациентов (Б) при однократной, двукратной и трёхкратной КТ органов грудной клетки. По оси ординат: А – средняя эффективная доза и доверительные интервалы ($p = 0,05$), мЗв; Б – значения радиационного риска на 100 тыс. человек; по оси абсцисс: группы по возрасту. Пунктирными линиями показаны границы между уровнями радиационного риска

Fig. 1. Average doses, mSv (A) and radiation risk values by age groups of patients (B) with single, double and triple CT of the chest organs. Y-axis: A – average effective dose and confidence intervals ($p = 0,05$), mSv; B – values of radiation risk per 100,000 people; abscissa: groups by age. The dotted lines show the boundaries between the levels of radiation risk.

пациентов показал (рис. 2Б), что значения радиационного риска при однократной КТ составили у детей 12–14 лет женского пола $31,2 \times 10^{-5}$, у подростков 15–19 лет женского пола – $29,3 \times 10^{-5}$, и это превышает значения риска для лиц мужского пола этих групп в 2,3 и 1,9 раза соответственно. Для группы взрослых пациентов риск в среднем составил $14,4 \times 10^{-5}$, при этом у женщин он был в 1,6 раза выше ($17,4 \times 10^{-5}$), чем у мужчин ($11,2 \times 10^{-5}$). Тем не менее, все эти значения риска находятся в диапазоне $10 \times 10^{-5} - 100 \times 10^{-5}$, что соответствует уровню *низкий*. Для группы пациентов возраста 65 лет и старше радиационный риск составил $2,6 \times 10^{-5}$, что соответствует уровню $1 \times 10^{-5} - 10 \times 10^{-5}$ – *очень низкий*.

Мы сравнили наши расчеты с оценками радиационных рисков в исследованиях других авторов. Например, при планировании пределов облучения космонавтов [22] исходили из жестких требований к допустимому риску онкологических заболеваний и генетических эффектов: лейкоз – $0,2 \times 10^{-6}$, другие виды злокачественных новообразований – $0,2 \times 10^{-6}$ и генетические эффекты – $0,05 \times 10^{-6}$ в год на 1 мЗв. Довольно низкий уровень этих значений проявляется при сопоставлении их с показателями спонтанной заболеваемости у населения: лейкозы – 50×10^{-6} ,

другие виды злокачественных новообразований – $(1000-2000) \times 10^{-6}$ и генетические эффекты – 8000×10^{-6} в год.

В публикации 103 МКРЗ [13] сформулированы новые взгляды МКРЗ на принципы и подходы к обеспечению радиационной безопасности по сравнению с предыдущим документом Публикацией 60 МКРЗ [14]. Эпидемиологические данные, полученные после выхода в свет Публикации 60 МКРЗ, послужили поводом для пересмотра значений номинальных факторов риска на единицу дозы для радиогенного рака и наследственных эффектов (табл. 5). Как видно, новые значения риска в Публикации 103 немного ниже, чем те, что указаны в Публикации 60. Но, в то же время, для детей по сравнению со взрослыми они были увеличены в отношении злокачественных новообразований с 1,5 до 1,68, для наследственных дефектов – от 2,25 до 3,0, а в общем количестве отрицательных эффектов – от 1,61 до 2,0.

Полученные в нашем исследовании результаты несколько выше, чем показаны в работе I.A. Tsalafoutas, G.V. Koukourakis [23]. Эти авторы подчеркивают, что стохастические негативные эффекты могут быть вызваны даже небольшими дозами радиации, и приводят следующий пример расчета риска, связанного с воздействием

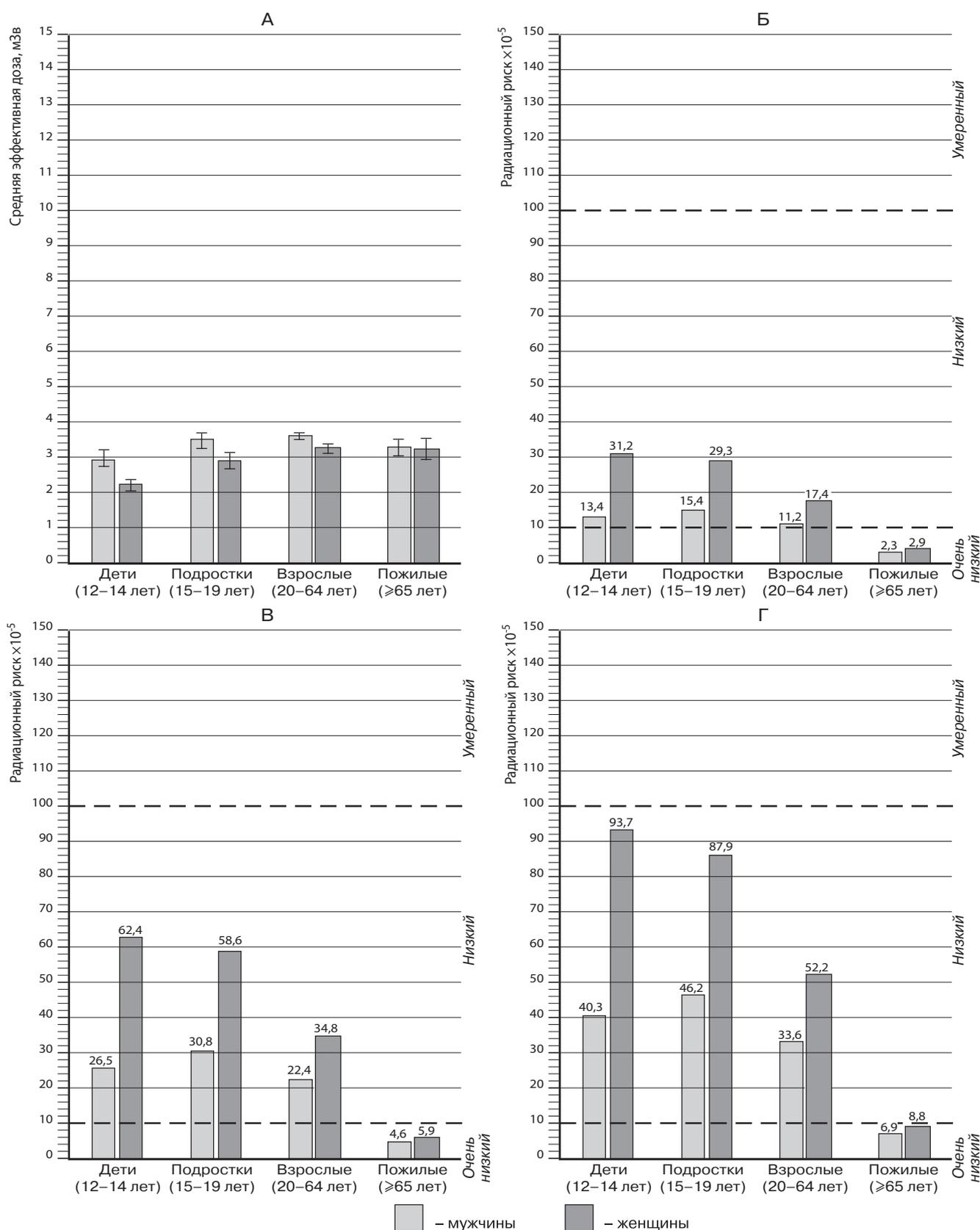


Рис. 2 Средние дозы при однократной компьютерной томографии (А), значения радиационного риска при однократной (Б), двукратной (В) и трехкратной (Г) КТ и органов грудной клетки, распределение по уровням радиационного риска по возрастным группам и в зависимости от пола пациентов. По оси ординат: А – средняя эффективная доза и доверительные интервалы ($p = 0,05$), мЗв; Б, В, Г – значения радиационного риска на 100 тыс. человек; по оси абсцисс: группы по возрасту

Пунктирными линиями показаны границы между уровнями радиационного риска

Fig. 2. Average doses for single computed tomography (A), radiation risk values for single (B), double (C), and triple (D) CT and chest organs, distribution by radiation risk levels by age group and depending on the gender of patients. Y-axis: A – average effective dose and confidence intervals ($p = 0,05$), mSv; B, C, D – values of radiation risk per 100,000 people; abscissa: groups by age

The dotted lines show the boundaries between the levels of radiation risk.

Таблица 5

**Сравнение риска негативных последствий облучения от дозы 1 мЗв,
количество случаев на 10⁵ человек**
**Comparison of the risk of negative effects of exposure from a dose of 1 mSv,
number of cases per 10⁵ people**

Облучаемая популяция	Злокачественные новообразования		Наследственные эффекты		Всего	
	Публ. 103	Публ. 60	Публ. 103	Публ. 60	Публ. 103	Публ. 60
Вся популяция	5,5	6,0	0,2	1,3	6,0	7,3
Взрослые	4,1	4,8	0,1	0,8	4,0	5,6
Дети	6,9	7,2	0,3	1,8	8,0	9,0
К _{Дети/Взрослые}	1,68	1,5	3,0	2,25	2,0	1,61

радиации при КТ. Предположение о 5 % – ой вероятности риска на 1 Зв (1000 мЗв) для возникновения рака или наследственных эффектов означает, что обследование, которое приводит к облучению пациента в ЭД = 10 мЗв (типично для двух КТ органов грудной клетки), предполагает вероятность 0,05 % таких рисков. То есть на каждые 10 тыс. пациентов, которым была проведена КТ с дозой 10 мЗв, можно ожидать, что у пяти человек дополнительно к спонтанному уровню разовьется рак или наследственные эффекты в результате облучения.

В исследовании М. Корр et al [24] выполнена индивидуальная оценка эффективной дозы и риска злокачественных новообразований после КТ всего тела. Избыточный относительный риск (Excess Relative Risk, ERR) как мера превышения риска для человека, подвергшегося радиационному воздействию, по сравнению с человеком, не подвергавшимся воздействию, был рассчитан с использованием исходного уровня смертности от солидного рака в Соединенных Штатах Америки (женщины – 17500/100000; мужчины – 22100/100000). Авторами выполнен расчет эффективной дозы и оценка дополнительного, связанного с конкретным органом, пожизненного риска (LAR) смертности от рака после КТ всего тела на основе моделирования методом Монте-Карло и данных отчета о биологических эффектах ионизирующего излучения (BEIR VII). Были использованы значения эффективных доз для легких $1,48 \pm 0,15$ мЗв, при этом LAR для смертности от рака легких составил $13,25 \pm 4,24$ на 100 тыс. облученных в этой дозе лиц.

В нашем исследовании уровни риска близки к этим расчетным значениям и дифференцированы в зависимости от пола и возраста облученных пациентов. Показано, что при однократном КТ органов грудной клетки у пациентов с выполненными КТ для диагностики COVID-19 могут возникать дополнительные (к спонтанному уровню) случаи онкологической патологии на 100 тыс. человек: 24,1 случая у детей, 23,3 случая у подростков, 14,4 случая у взрослых, 2,6 случая у лиц возрастом 65 лет и старше.

Средняя эффективная доза увеличивается пропорционально увеличению количества КТ органов грудной клетки, выполненных пациенту: с 2,6 – 3,4 мЗв при однократной КТ до 7,8 – 10,3 мЗв при трехкратной КТ. Это приведет к трехкратному увеличению радиационных рисков до следующих уровней на 100 тыс. человек (рис. 1Б): 72,3 случая у детей, 69,8 случая у подростков, 43,2 случая у взрослых, 7,9 случая у лиц возрастом 65 лет и старше.

Из-за повышенного пострадиационного риска у детей в настоящее время как Европейское, так и Американское общество детской радиологии не рекомендуют использовать КТ для диагностики пневмонии COVID-19 у детей; КТ рекомендована только в тяжелых случаях, когда необходимо исключить сопутствующую патологию.

У мужчин средние дозы облучения в четырех возрастных группах были несколько выше, чем у женщин (рис. 2А). Однако с увеличением количества КТ-сканирований с одного (рис. 2Б) до двух (рис. 2В) и до трех (рис. 2Г) у женщин увеличение расчетного радиационного риска по сравнению с мужчинами более значимо, особенно у детей женского пола (в 2,3 раза) и у подростков женского пола (в 1,9 раза). Радиационный риск у мужчин и женщин во всех подгруппах в возрасте до 65 лет остается на уровне *низкий* (10×10^{-5} – 100×10^{-5}), в подгруппе 65 лет и старше – на уровне *очень низкий* (1×10^{-5} – 10×10^{-5}). Однако при трехкратной КТ в группах детей и подростков радиационный риск у лиц женского пола приближается к границе *умеренного* уровня (100×10^{-5} – 300×10^{-5}), а в группе 65 лет и старше – к границе *низкого* уровня (10×10^{-5} – 100×10^{-5}).

Комментируя дозы облучения легких, используемые в клинической практике для диагностики и лечения пациентов с COVID-19, авторы исследования [25] утверждают, что доза облучения не более 0,5 Гр обеспечивает приемлемый уровень пожизненного радиационного риска (не более 1 %) независимо от пола и возраста на момент воздействия. Тем не менее, по нашему мнению, перспективным направлением является использование современных компьютерных томографов, позволяющих применять малодозовые алгоритмы для компьютерной диагностики [26], значительно снижающие лучевую нагрузку на пациентов.

Заключение

По результатам исследования установлены эффективные дозы облучения для КТ органов грудной клетки пациентов при диагностике COVID-19 и рассчитан радиационный риск для 1–3-кратной КТ органов грудной клетки в зависимости от возраста и пола пациентов. Установлено, что радиационный риск для одно-, двух- и трехкратной КТ органов грудной клетки для пациентов до 65 лет *низкий*, для пациентов 65 лет и старше – *очень низкий*. Учет радиационного риска при КТ необходим для снижения отдаленных последствий радиационного воздействия на население.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила: 23.12.2020. Принята к публикации: 20.01.2021.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Financing. The study had no sponsorship.

Article received: 23.12.2020. Accepted for publication: 20.01.2021.

Radiation Risk Assessment in Patients for Chest CT Diagnostics of COVID-19

E.I. Matkevich

M.I. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russian

Contact person: Elena Ivanovna Matkevich: ivanov-iv@list.ru

ABSTRACT

Purpose: To assess effective radiation doses for chest CT for the diagnosis of COVID-19 and calculate the radiation risk of the effects of this exposure.

Material and methods: We analyzed the results of 1003 CT examinations of the chest performed in patients (6.2 %—children 12–14 years, 15.3 %—adolescents 15–19 years, 60.1 %—adults 20–64 years, 18.4 %—older persons 65 years and older) with suspected COVID-19 during one week in October 2020 in the city diagnostic center. In each group, the average effective dose (ED, mSv) was calculated.

Results: The average ED values and confidence intervals ($P=0.05$) for patients with a single CT scan were: in children 2.59 ± 0.19 mSv, in adolescents 3.23 ± 0.17 mSv, in adults 3.43 ± 0.08 mSv, in older persons 3.28 ± 0.19 mSv. The maximum radiation risk indicators were observed in groups of children (24.1×10^{-5}) and adolescents (23.3×10^{-5}). For adult patients the means risk was 14.4×10^{-5} . In groups of women radiation risk was 1.3–2.3 times as high, as in male patients. The risk values in children, adolescents and adults are in the range 10×10^{-5} – 100×10^{-5} (*low*), for the older patients were 2.6×10^{-5} (*very low*).

Conclusion: Because of the study established effective radiation doses for chest CT of patients with the diagnosis of COVID-19 and the radiation risk for 1-3 times chest CT by age and sex of patients was calculated. It was found that the radiation risk for single, double and triple chest CT for patients under 65 is *low*, 65 and older is *very low*. Taking into account the radiation risk during CT is necessary to reduce the long-term consequences of radiation exposure on the population.

Key words: X-ray computed tomography, effective dose, radiation risks levels, sex, age, COVID-19

For citation: Matkevich E.I. Radiation Risk Assessment in Patients for Chest CT Diagnostics of COVID-19. Medical Radiology and Radiation Safety 2021;66(2):59–66.

DOI: 10.12737/1024-6177-2021-66-1-59-66

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2019 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2020. 113 с.
- Демин В.Ф., Бирюков А.П., Седанкин М.К., Соловьев В.Ю. Удельный риск радиогенного рака у профессионалов // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2020. Т. 65, №2. С.17–20. DOI:10.12737/1024-6177-2020-65-2-17-20.
- Linet MS, Slovis ThL, Miller DL, Kleinerman R, Lee Ch, Rajaraman P, et al. Cancer Risks Associated with External Radiation from Diagnostic Imaging Procedures. CA // Cancer J Clin 2012. V.62, No.2. P. 5–100. DOI:10.3322/caac.21132.
- Smith-Bindman R, Lipson J, Marcus R, et al. Radiation Dose Associated with Common Computed Tomography Examinations and the Associated Lifetime attributable Risk of Cancer // Arch Intern Med. 2009. V.169. No.22. P.2078–86. DOI:10.1001/archinternmed.2009.427.
- Mathews JD, Forsythe AV, Brady Z, et al. Cancer Risk in 680000 People Exposed to Computed Tomography Scans in Childhood or Adolescence: Data linkage study of 11 Million Australians // BMJ. 2013. V.346. P.2360–2378. DOI:10.1136/bmj.f2360.
- Hall EJ, Brenner DJ. Cancer Risks from Diagnostic radiology // Br J Radiol. 2008. V.81, No. 965. P.362–78, DOI:10.1259/bjr/01948454.
- Hendee WR, O'Connor MK, Radiation Risks of Medical Imaging: Separating Fact from Fantasy // Radiology. 2012. V.264, No.2. P. 312–21. DOI:10.1148/radiol.12112678.
- Cardis E, Howe G, Ron E, et al. // Cancer consequences of the Chernobyl Accident: 20 years on // J Radiol Prot. 2006. V.26, No.2. P.127–40. DOI: 10.1088/0952-4746/26/2/001. PMID: 16738412.
- Galle P. The Sievert: an Enigmatic Unit. // Cell. Mol. Biol. (Noisy-le-grand). 2001. V.47, No.3. P.565–7. PMID: 11441965.
- Методические указания МУК 2.6.7.3652-20. Методы контроля в КТ-диагностике для оптимизации радиационной защиты. М., 2020.
- Методические указания МУ 2.6.1.3584-19. Изменения в МУ 2.6.1.2944-11 Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований. М., 2011.
- Методические рекомендации МР 2.6.1.0215-20. Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгено-радиологических исследований.
- ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103 // Ann. ICRP 2007. V.332, No.3.P.2–4. Available at: <https://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20103> (Accessed March 10, 2021).
- ICRP, 1991. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60 // Ann. ICRP 21. 1991. V.1-3, P.1-211. Available at: <http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%2060> (Accessed March 10, 2021).
- Damilakis J, Frijia G, Hierath M, et al. European Study on Clinical Diagnostic Reference Levels for X-ray Medical Imaging. Deliverable 2.1: Report and Review on Existing Clinical DRLs. March 2018. Available at: http://www.eurosafeimaging.org/wp/wp-content/uploads/2017/09/D2.1_Report-and-review-on-existing-clinical-DRLs_final_published-on-website.pdf. (Accessed March 10, 2021).
- Molen AJ, Schilham A, Stoop P, et al. A National Survey on Radiation Dose in CT in The Netherlands // Insights Imaging. 2013. V.4, No.3. P.383–90. DOI: 10.1007/s13244-013-0253-9.
- Bekanntmachung der Aktualisierten Diagnostischen Referenzwerte. Bekanntmachung der Aktualisierten Diagnostischen Referenzwerte für Diagnostische und Interventionelle Röntgenuntersuchungen. Tabelle 7: Diagnostische Referenzwerte für Computertomographie (CT)-Untersuchungen am Erwachsenen 22 Juni 2016. Available at: https://www.bfs.de/DE/themen/ion/anwendung-medizin/diagnostik/referenzwerte/referenzwerte_node.html. (Accessed 10 March 2021).
- Shrimpton PC, Hillier MC, Lewis MA, Dunn M. National Survey of Doses from CT in the UK: 2003 // Br J Radiol. 2006. V.79, No.948. P. 968–80. DOI:10.1259/bjr/93277434.
- Brat H, Zanca F, Montandon S, et al. Local Clinical Diagnostic Reference Levels for Chest and Abdomen CT Examinations in Adults as a Function of Body Mass Index and Clinical Indication: a Prospective Multicenter Study // Eur Radiol. 2019. V.29, P.6794–804. <https://doi.org/10.1007/s00330-019-06257-x>
- Маткевич Е.И., Сеницын В.Е., Башков А.Н. Сравнение доз облучения пациентов при проведении однофазной и многофазной компьютерной томографии в многопрофильном лечебном учреждении // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2016. Т.61, № 6. С.50–56.
- Маткевич Е.И., Сеницын В.Е., Зеликман М.И. и др. Основные направления снижения дозы облучения пациентов при компьютерной томографии // Russian Electronic Journal of Radiology (REJR). 2018. Т.8, №3. С.60–73. DOI:10.21569/2222-7415-2018-8-3-60-73
- Григорьев Ю.Г. Радиационная безопасность космических полетов. М.: Атомиздат, 1975. С.40–44.
- Tsalafoutas IA, Koukourakis GV. Patient Dose Considerations in Computed Tomography Examinations // World J. Radiol. 2010. V.2, No7. P.262–8. DOI: 10.4329/wjr.v2.i7.262.
- Kopp M, Loewe T, Wuest W, et al. Individual Calculation of Effective Dose and Risk of malignancy based on Monte Carlo simu-

- lations after whole body Computed tomography // Scientific Reports. 2020. V.10, P.9475. DOI: 10.1038/s41598-020-66366-2.
25. Arruda GA, Weber RRS, Bruno AC, Pavoni JF. The Risk of Induced Cancer and Ischemic Heart Disease Following Low Dose lung irradiation for COVID-19: estimation based on a virtual case // Int. J. Radiat. Biol. 2021. V.97, No2. P.120-5. DOI:10.1080/09553002.2021.1846818.
26. Маткевич Е.И., Синицын В.Е., Иванов И.В. Направления оптимизации лучевой нагрузки при компьютерной томографии. М.-Воронеж: Элист, 2018. 200 с.

REFERENCES

1. On the state of sanitary and epidemiological welfare of the population in the Russian Federation in 2019: State report. Moscow, 2020. 113 p. (In Russian). Available at: https://www.rospotreb-nadzor.ru/upload/iblock/8e4/gosdoklad-za-2019_seb_29_05.pdf (Accessed March 10, 2021).
2. Demin VF, Biryukov AP, Sedankin MK, Solov'ev VY. Specific risk of radiogenic cancer for professionals. Medical Radiology and Radiation Safety. 2020;65;2:17-20. (In Russian). DOI:10.12737/1024-6177-2020-65-2-17-20.
3. Linet MS, Slovis THL, Miller DL, et al. Cancer risks associated with external radiation from diagnostic imaging procedures. Cancer J Clin. 2020; 62(2):75-100. DOI:10.3322/caac.21132.
4. Smith-Bindman R, Lipson J, Marcus R, et al. Radiation dose associated with common computed tomography examinations and the associated lifetime attributable risk of cancer. Arch Intern Med. 2009; 169(22):2078-86. DOI:10.1001/archinternmed.2009.427.
5. Mathews JD, Forsythe AV, Brady Z, et al. Cancer risk in 680000 people exposed to computed tomography scans in childhood or adolescence: data linkage study of 11 million Australians. BMJ. 2013;346:f2360-f2378. DOI:10.1136/bmj.f2360.
6. Hall EJ, Brenner DJ. Cancer risks from diagnostic radiology. Br J Radiol. 2008;81; (965):362-78. DOI:10.1259/bjr/01948454.
7. Hendee WR, O'Connor MK. Radiation risks of medical imaging: separating fact from fantasy. Radiology. 2012;264;(2):312-21. DOI:10.1148/radiol.12112678.
8. Cardis E, Howe G, Ron E, et al. Cancer consequences of the Chernobyl accident: 20 years on. J Radiol Prot. 2006;26;(2):127-40. DOI: 10.1088/0952-4746/26/2/001. PMID: 16738412.
9. Galle P. The Sievert: an Enigmatic Unit. Cell Mol Biol (Noisy-le-grand). 2001;47;(3):565-7. PMID: 11441965.
10. Methodical guidelines MUK 2.6.7.3652-20. Control methods in CT diagnostics to optimize radiation protection. Moscow Publ., 2020. (In Russian). Available at: https://www.rospotreb_nadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=15989&sphrase_id=2970544 (Accessed March 10, 2021).
11. Methodical guidelines MU 2.6.1.2944-11. Monitoring of the effective doses of patient due to medical x-ray examinations. Moscow Publ., 2011. (Edition of MU 2.6.1.3584-19, 10.30.2019). Available at: https://www.rospotreb_nadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=15996&sphrase_id=2970477 (Accessed 10 March 2021).
12. Methodical recommendations MR 2.6.1.0215-20. Assessment of radiation risk in patients during X-ray and radiological studies. Moscow Publ., 2020 (In Russian). Available at: https://www.rospotreb_nadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=15991&sphrase_id=2970473 (Accessed 10 March).
13. ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 2007;37:2-4:1-332. Available at: <https://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20103> (Accessed March 10, 2021).
14. ICRP, 1991. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21; 1991;1-3:1-211. Available at: <http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%2060> (Accessed 10 March 2021).
15. Damilakis J, Frija G, Hierath M, et al. European Study on Clinical Diagnostic Reference Levels for X-ray Medical Imaging. Deliverable 2.1: Report and review on existing clinical DRLs. March 2018. Available at: http://www.eurosafeimaging.org/wp/wp-content/uploads/2017/09/D2.1_Report-and-review-on-existing-clinical-DRLs_final_published-on-website.pdf. (Accessed 10 March 2021).
16. Molen AJ, Schilham A, Stoop P, et al. A national survey on radiation dose in CT in The Netherlands. Insights Imaging. 2013;4;3:383-90. DOI: 10.1007/s13244-013-0253-9.
17. Bekanntmachung der aktualisierten diagnostischen Referenzwerte. Bekanntmachung der aktualisierten diagnostischen Referenzwerte für diagnostische und interventionelle Röntgenuntersuchungen. Tabelle 7: Diagnostische Referenzwerte für Computertomographie (CT)-Untersuchungen am Erwachsenen 22 Juni 2016. Available at: https://www.bfs.de/DE/themen/ion/anwendung-medizin/diagnostik/referenzwerte/referenzwerte_node.html. (Accessed 10 March 2021).
18. Shrimpton PC, Hillier MC, Lewis MA, Dunn M. National survey of doses from CT in the UK: 2003. Br J Radiol. 2006;79;(948):968-80. DOI:10.1259/bjr/93277434.
19. Brat H, Zanca F, Montandon S, et al. Local clinical diagnostic reference levels for chest and abdomen CT examinations in adults as a function of body mass index and clinical indication: a prospective multicenter study. Eur Radiol. 2019;29:6794-804. <https://doi.org/10.1007/s00330-019-06257-x>
20. Matkevich EI, Sinitsyn VE, Bashkov AN. Comparison of Radiation Dose of Patients During Single-phase and Multiphase Computed Tomography in the Multidisciplinary Treatment Clinic. Medical Radiology and Radiation Safety. 2016;61;(6):50-6 (In Russian) <http://medradiol.fmbafmbc.ru/vypuski?id=231>. (Accessed March 10, 2021).
21. Matkevich EI, Sinitsyn VE, Zelikman MI, et al. Main directions of reducing patient irradiation doses in computed tomography. Russian Electronic Journal of Radiology (REJR). 2018;8;(3):60-73 (In Russian). DOI:10.21569/2222-7415-2018-8-3-60-73 (In Russian).
22. Grigoriev YuG Long-term effects of radiation damage. In: Radiation Safety of Space Flights. Radiobiological aspects. Moscow, Atomizdat Publ. 1975. P.40-4 (In Russian).
23. Tsalafoutas IA, Koukourakis GV. Patient dose considerations in computed tomography examinations. World J. Radiol. 2010;2;(7):262-8. DOI: 10.4329/wjr.v2.i7.262.
24. Kopp M, Loewe T, Wuest W, et al. Individual calculation of effective dose and risk of malignancy based on Monte Carlo simulations after whole body Computed tomography. Scientific Reports. 2020;10:9475. DOI: 10.1038/s41598-020-66366-2.
25. Arruda GA, Weber RRS, Bruno AC, Pavoni JF. The risk of induced cancer and ischemic heart disease following low dose lung irradiation for COVID-19: estimation based on a virtual case. Int. J. Radiat. Biol. 2021;97;(2):120-5. DOI:10.1080/09553002.2021.1846818.
26. Matkevich EI, Sinitsyn VE, Ivanov IV. Optimization of radiation exposure in computed tomography. Moscow-Voronezh, Elist, Publ. 2018 (In Russian).