DOI: 10.21870/0131-3878-2021-30-4-24-39

УДК 616-073.756.8:614.876

Методика оценки радиационных рисков медицинского облучения на примере многократного прохождения компьютерной томографии

Кашеев В.В., Пряхин Е.А., Курашвили Ю.Б.¹

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

¹ АО «Русатом Оверсиз», Москва

Статья представляет методику оценки радиационного риска многократного облучения, применимую для различных рентгенорадиологических исследований общего назначения. В работе представлены результаты расчёта величины пожизненного атрибутивного риска (LAR) онкологической заболеваемости с использованием данной методики на примере многократного прохождения компьютерной томографии (КТ). Авторами был предложен метод, позволяющий оценить радиационный ущерб здоровью человека в течение всей оставшейся жизни для случаев многократного прохождения различных медицинских радиологических процедур на основе эквивалентных доз, полученных органами и тканями организма пациента. В ходе работы были рассчитаны таблицы величины LAR на единицу дозы для мужчин и женщин для возрастов от 0 до 95 лет, с шагом в 5 лет, для следующих локализаций: мочевого пузыря, молочная железа, толстый кишечник, костный мозг, печень, лёгкие, пищевод, яичники, желудок, щитовидная железа и остальные солидные. Авторы рассмотрели пример облучения женщины при прохождении КТ в течение жизни и сравнили полученные результаты с радиационными рисками, рассчитанными с использованием математической модели Публикации 103 МКРЗ. Было установлено, что предложенный авторами метод оценки величины LAR при многократном прохождении КТ даёт отличие, не превышающее 12%, в сравнении с оценкой риска с помощью математической модели. Оценка рисков была выполнена с учётом половозрастных характеристик пациента, а также с использованием медико-демографических данных российской популяции.

Ключевые слова: радиационный риск, методика оценки радиационного риска, медицинское облучение, компьютерная томография, эквивалентные дозы, математическая модель, Публикация 103 МКРЗ, пожизненный атрибутивный риск (LAR), многократное облучение.

Введение

На данный момент как в мире, так и в России наблюдается тенденция к развитию различных методов лучевой диагностики для выявления всевозможных заболеваний. К подобным методам можно отнести компьютерную томографию (КТ), радионуклидную диагностику, рентгенографию и т.д. При этом к наиболее опасным с точки зрения радиационного облучения пациента относятся интервенционная рентгенология, КТ, выполняемая с контрастом или в сочетании с радионуклидной диагностикой. Поэтому проблема оценки радиационного риска медицинского облучения становится всё более актуальной.

В связи с развитием технологий и усовершенствованием медицинских диагностических устройств происходит снижение дозовой нагрузки на организм пациента. Но при этом коллективная доза медицинского облучения увеличивается за счёт использования новых высокоинформативных, высокодозных исследований. Наблюдаемый рост в первую очередь связан с увеличением выполняемых процедур КТ [1]. Так, в связи с распространением коронавирусной инфекции в мире число КТ органов грудной клетки на душу населения в последние два года резко возросло. Причём, эта тенденция наблюдается как у взрослых, так и у детей [2]. Необходимо учитывать,

Кашеев В.В. – зав. лаб., к.б.н.; Пряхин Е.А.* – науч. сотр. МРНЦ им. А.Ф. Цыба – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России. Курашвили Ю.Б. – Советник Вице-Президента, д.м.н. АО «Русатом Оверсиз».

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

что на практике в течение жизни человек проходит различные диагностические процедуры как минимум несколько раз в течение жизни. Кроме того, как международные рекомендации, так и национальные требования говорят о том, что пациента необходимо информировать о возможных радиационных рисках от проводимых медицинских радиологических процедур [3-5].

Оценка радиационного риска на индивидуальном уровне требует расчёта эквивалентных доз органов и тканей, подвергшихся радиационному воздействию вследствие медицинского облучения [6-8]. При этом, в случае если это воздействие на организм происходит многократно, необходим корректный расчёт вреда здоровью пациента, так как радиационные риски могут сильно варьировать в зависимости от типа проводимой процедуры. К сожалению, современные методические рекомендации, выпущенные в России, не позволяют учитывать историю облучения пациента при оценке возможных радиационных рисков медицинского облучения [6]. Необходимо понимать, что в большинстве случаев польза проводимых обследований, связанных с облучением организма, может быть несравнимо выше, чем возможный радиационный ущерб. С другой стороны, требуют особого внимания лица из групп риска, которые наиболее сильно чувствительны к радиационному воздействию, например, дети [2]. 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 [9].

Основной целью данной работы является создание простого табличного метода, позволяющего корректно рассчитывать радиационный риск при многократном прохождении различных радиологических диагностических процедур.

Материалы и методы

Расчёт величины пожизненного атрибутивного риска (LAR) заболеваемости раком основан на международной математической модели МКРЗ (Публикация 103) [10]. В данной статье рассматривается методика оценки величины LAR при многократном прохождении КТ. Более детально этот метод описан в наших более ранних работах [11, 12].

Для корректной оценки радиационного риска на организм в результате многократного облучения необходимо учитывать так называемую функцию здорового дожития: $S^{sol}(s, l, gs, a)$ – функция здорового дожития, обозначающая вероятность индивидуума пола s дожить от возраста gs до возраста a и не заболеть солидным раком локализации l ; $S^{lkm}(s, gs, a)$ – функция здорового дожития, обозначающая вероятность индивидуума пола s дожить от возраста gs до возраста a и не заболеть лейкемией.

Формулы для вычисления $S^{sol}(s, l, gs, a)$ и $S^{lkm}(s, gs, a)$ выглядят следующим образом:

$$S^{sol}(s, l, gs, a) = \exp\left[-10^{-5} \cdot \sum_{k=gs}^{a-1} \lambda_0^{tmort}(k, s) - \lambda_0^{mort}(l, s, k) + \lambda_0^{inc}(l, s, k)\right], \quad (1)$$

$$S^{lkm}(s, gs, a) = \exp\left[-10^{-5} \cdot \sum_{k=gs}^{a-1} \lambda_0^{tmort}(k, s) - \lambda_0^{mort}(s, k) + \lambda_0^{inc}(s, k)\right]. \quad (2)$$

Здесь $\lambda_0^{tmort}(k, s)$ – показатели фоновой смертности от всех причин среди людей пола s и возраста k , приведённые на 100000 человек; $\lambda_0^{inc}(l, s, k)$ и $\lambda_0^{inc}(s, k)$ – показатели фоновой заболеваемости солидным раком локализации l и лейкемией соответственно, среди людей пола s и возраста k , приведённые на 100000 человек; $\lambda_0^{mort}(l, s, k)$ и $\lambda_0^{mort}(s, k)$ – показатели фоновой

смертности от солидного рака локализации l и от лейкемии соответственно, среди людей пола s и возраста k , приведённые на 100000 человек.

Избыточный абсолютный риск (EAR) заболеваемости раком после многократного облучения с учётом функции здорового дожития путём суммирования $EARs$ по возрастам на момент облучения с соответствующей дозой облучения. Формулы для определения избыточного абсолютного риска пролонгированного облучения выглядят так:

$$EAR^{sol}(gs, a, l, s, \{D_g\}) = S^{sol}(s, l, gs, a) \cdot \sum_{g=0}^a EARs^{sol}(g, a, l, s, D_g), \quad (3)$$

$$EAR^{lkm}(gs, a, s, \{D_g\}) = S^{lkm}(s, gs, a) \cdot \sum_{g=0}^a EARs^{lkm}(g, a, s, D_g). \quad (4)$$

Здесь l – локализация солидной опухоли; s – пол; a – возраст, на который рассчитывается риск; gs – текущий возраст, в котором человек был жив и не болен онкозаболеванием локализации l (в случае расчёта EAR^{sol}) или лейкемией (в случае расчёта EAR^{lkm}); g – возраст на момент облучения; D_g – доза однократного облучения в возрасте g .

Кроме того, зная избыточный абсолютный риск заболеваемости раком после многократного облучения, можно оценить пожизненный атрибутивный риск возникновения рака определённой локализации после многократного облучения. Он рассчитывается суммированием значений избыточного абсолютного риска по возрасту a , т.е. по следующим формулам:

$$LAR^{sol}(gs, l, s, \{D_g\}) = \left(\frac{1}{DDREF}\right) \cdot \sum_{a=0}^{a_{max}} EAR^{sol} LAR(gs, a, l, s, \{D_g\}), \quad (5)$$

$$LAR^{lkm}(gs, s, \{D_g\}) = \sum_{a=0}^{a_{max}} EAR^{lkm} LAR(gs, a, s, \{D_g\}). \quad (6)$$

Необходимо отметить, что в данной формуле (5) для радиационного риска солидных раков коэффициент эффективности дозы и мощности дозы $DDREF$ учитывает уменьшение риска в случае хронического облучения или облучения в малой дозе. Публикация 103 МКРЗ [10] рекомендует значение $DDREF=2$.

В итоге можно определить суммарный риск возникновения рака:

$$LAR(gs, s, \{D_g\}) = LAR^{lkm}(gs, s, \{D_g\}) + \sum_{l=0}^{l_{max}} LAR^{sol}(gs, l, s, \{D_g\}). \quad (7)$$

Результаты и обсуждение

Как уже отмечалось выше, корректная оценка вреда здоровью пациента в результате многократного прохождения различных медицинских радиологических процедур имеет в настоящее время особую актуальность, так как в коллективную дозу медицинского облучения КТ вносит наибольший вклад [1, 13]. В данной работе рассмотрен пример облучения от нескольких различных процедур КТ.

Для оценки величины пожизненного атрибутивного риска заболеваемости различными локализациями рака в случае многократного облучения были просчитаны величины LAR на 1 мЗв эквивалентной дозы в органах и тканях, подвергающихся радиационному воздействию, в зависимости от возраста на момент облучения и текущего возраста пациента. Расчёты были выполнены для мужчин и женщин для возрастов от 0 до 95 лет, с шагом в 5 лет, для 11 локализаций рака: мочевого пузыря, молочная железа, толстый кишечник, костный мозг, печень, лёгкие, пищевод, яичники, желудок, щитовидная железа и остальные солидные. Результаты расчётов приведены в табл. 1-20.

Таблица 1

Значения LAR ($\times 10^6$) на 1 мЗв эквивалентной дозы (мочевой пузырь, мужчины)

Возраст на момент облучения (годы)	Текущий возраст (годы)																		
	0-4	5-9	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	70-74	75-79	80-84	85-89	90+
0-4	5,92	5,95	5,96	5,96	5,97	5,99	6,03	6,10	6,19	6,25	6,24	6,13	5,90	5,50	4,92	4,23	3,59	3,31	3,35
5-9	0	5,45	5,46	5,47	5,48	5,50	5,54	5,60	5,68	5,74	5,74	5,64	5,43	5,07	4,54	3,91	3,34	3,08	3,13
10-14	0	0	4,99	5,00	5,03	5,05	5,09	5,15	5,22	5,28	5,27	5,19	5,00	4,67	4,19	3,62	3,10	2,88	2,92
15-19	0	0	0	4,57	4,60	4,64	4,67	4,73	4,80	4,85	4,85	4,77	4,60	4,31	3,87	3,36	2,88	2,68	2,73
20-24	0	0	0	0	4,19	4,23	4,30	4,34	4,41	4,46	4,46	4,39	4,24	3,97	3,58	3,11	2,68	2,50	2,56
25-29	0	0	0	0	0	3,84	3,90	3,99	4,05	4,10	4,10	4,04	3,90	3,66	3,31	2,88	2,49	2,34	2,39
30-34	0	0	0	0	0	0	3,52	3,60	3,73	3,77	3,77	3,72	3,59	3,38	3,05	2,67	2,32	2,18	2,24
35-39	0	0	0	0	0	0	0	3,21	3,32	3,47	3,47	3,42	3,31	3,12	2,82	2,47	2,16	2,04	2,10
40-44	0	0	0	0	0	0	0	0	2,90	3,02	3,19	3,15	3,05	2,88	2,61	2,30	2,01	1,90	1,96
45-49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,54	2,68	2,90	2,81	2,66	2,42	2,13	1,87	1,78	1,84
50-54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,13	2,31	2,59	2,45	2,24	1,98	1,74	1,66	1,72
55-59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,70	1,91	2,27	2,07	1,83	1,62	1,55	1,61
60-64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,29	1,53	1,92	1,70	1,51	1,45	1,51
65-69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,91	1,15	1,58	1,41	1,36	1,41
70-74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,60	0,83	1,32	1,27	1,33
75-79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,38	0,61	1,19	1,24
80-84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,25	0,49	1,16
85-89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,15	0,35

Таблица 2

Значения LAR ($\times 10^6$) на 1 мЗв эквивалентной дозы (мочевой пузырь, женщины)

Возраст на момент облучения (годы)	Текущий возраст (годы)																		
	0-4	5-9	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	70-74	75-79	80-84	85-89	90+
0-4	5,41	5,43	5,44	5,43	5,41	5,39	5,39	5,39	5,40	5,38	5,32	5,21	5,04	4,78	4,42	3,98	3,57	3,45	3,72
5-9	0	5,05	5,05	5,06	5,04	5,02	5,02	5,02	5,03	5,01	4,96	4,86	4,70	4,47	4,13	3,73	3,35	3,24	3,50
10-14	0	0	4,68	4,69	4,70	4,68	4,68	4,68	4,69	4,68	4,63	4,54	4,39	4,17	3,87	3,50	3,14	3,05	3,29
15-19	0	0	0	4,34	4,35	4,36	4,36	4,36	4,37	4,36	4,32	4,24	4,10	3,9	3,62	3,28	2,95	2,86	3,10
20-24	0	0	0	0	4,03	4,04	4,06	4,07	4,08	4,07	4,03	3,95	3,84	3,65	3,39	3,07	2,77	2,69	2,91
25-29	0	0	0	0	0	3,75	3,76	3,80	3,8	3,8	3,76	3,69	3,58	3,41	3,17	2,88	2,6	2,53	2,74
30-34	0	0	0	0	0	0	3,48	3,51	3,55	3,54	3,51	3,45	3,35	3,19	2,97	2,70	2,44	2,38	2,58
35-39	0	0	0	0	0	0	0	3,22	3,26	3,31	3,28	3,22	3,13	2,99	2,78	2,53	2,29	2,24	2,43
40-44	0	0	0	0	0	0	0	0	2,96	3,01	3,07	3,01	2,93	2,8	2,61	2,38	2,15	2,1	2,29
45-49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,69	2,74	2,82	2,74	2,62	2,44	2,23	2,02	1,98	2,15
50-54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,40	2,46	2,56	2,45	2,29	2,09	1,9	1,86	2,03
55-59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,07	2,16	2,3	2,15	1,96	1,79	1,75	1,91
60-64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,72	1,83	2,01	1,84	1,68	1,65	1,80
65-69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,33	1,47	1,73	1,58	1,55	1,69
70-74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,94	1,1	1,48	1,46	1,59
75-79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,58	0,77	1,37	1,50
80-84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,34	0,61	1,41
85-89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,19	0,44

Таблица 3

Значения LAR ($\times 10^6$) на 1 мЗв эквивалентной дозы (молочная железа, женщины)

Возраст на момент облучения (годы)	Текущий возраст (годы)																		
	0-4	5-9	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	70-74	75-79	80-84	85-89	90+
0-4	64,53	64,77	64,83	64,87	64,90	64,85	64,71	64,45	63,94	62,97	60,45	53,88	47,02	40,00	32,91	26,15	20,24	16,43	14,80
5-9	0	50,56	50,60	50,67	50,69	50,65	50,54	50,34	49,94	49,18	47,21	42,08	36,73	31,24	25,71	20,42	15,81	12,83	11,56
10-14	0	0	39,45	39,50	39,59	39,56	39,47	39,31	39,00	38,41	36,87	32,86	28,68	24,40	20,08	15,95	12,35	10,02	9,03
15-19	0	0	0	30,73	30,80	30,90	30,83	30,70	30,46	30,00	28,80	25,67	22,40	19,06	15,68	12,46	9,64	7,83	7,05
20-24	0	0	0	0	23,87	23,94	24,08	23,98	23,79	23,43	22,49	20,05	17,50	14,88	12,25	9,73	7,53	6,11	5,51
25-29	0	0	0	0	0	18,45	18,55	18,73	18,58	18,30	17,57	15,66	13,67	11,62	9,56	7,60	5,88	4,78	4,30
30-34	0	0	0	0	0	0	14,17	14,31	14,51	14,29	13,72	12,23	10,67	9,08	7,47	5,93	4,59	3,73	3,36
35-39	0	0	0	0	0	0	0	10,80	10,96	11,16	10,72	9,55	8,34	7,09	5,83	4,64	3,59	2,91	2,62
40-44	0	0	0	0	0	0	0	0	8,02	8,17	8,37	7,46	6,51	5,54	4,56	3,62	2,80	2,28	2,05
45-49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,51	5,64	5,83	5,08	4,33	3,56	2,83	2,19	1,78	1,60

Продолжение таблицы 3

Возраст на момент облучения (годы)	Текущий возраст (годы)																		
	0-4	5-9	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	70-74	75-79	80-84	85-89	90+
50-54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,67	3,79	3,97	3,38	2,78	2,21	1,71	1,39	1,25
55-59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,35	2,46	2,64	2,17	1,72	1,34	1,08	0,98
60-64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,43	1,53	1,70	1,35	1,04	0,85	0,76
65-69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,80	0,89	1,05	0,81	0,66	0,60
70-74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,40	0,47	0,64	0,52	0,46
75-79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,17	0,23	0,40	0,36
80-84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,07	0,12	0,28
85-89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,03	0,06

Таблица 4

Значения LAR ($\times 10^6$) на 1 мЗв эквивалентной дозы (толстый кишечник, мужчины)

Возраст на момент облучения (годы)	Текущий возраст (годы)																		
	0-4	5-9	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	70-74	75-79	80-84	85-89	90+
0-4	13,50	13,56	13,58	13,54	13,51	13,46	13,40	13,33	13,22	13,00	12,64	12,11	11,41	10,46	9,09	7,51	6,07	5,09	4,60
5-9	0	12,01	12,03	12,06	12,03	11,99	11,93	11,87	11,78	11,59	11,27	10,81	10,19	9,33	8,10	6,69	5,39	4,51	4,07
10-14	0	0	10,62	10,65	10,71	10,68	10,63	10,58	10,50	10,34	10,06	9,65	9,10	8,33	7,23	5,96	4,79	3,99	3,60
15-19	0	0	0	9,38	9,43	9,52	9,48	9,43	9,37	9,23	8,98	8,62	8,13	7,44	6,45	5,31	4,25	3,54	3,18
20-24	0	0	0	0	8,25	8,33	8,45	8,42	8,36	8,24	8,02	7,70	7,27	6,65	5,76	4,73	3,78	3,13	2,81
25-29	0	0	0	0	0	7,22	7,33	7,51	7,47	7,36	7,17	6,89	6,50	5,95	5,15	4,22	3,36	2,78	2,49
30-34	0	0	0	0	0	0	6,29	6,45	6,67	6,58	6,41	6,16	5,81	5,32	4,60	3,76	2,99	2,47	2,21
35-39	0	0	0	0	0	0	0	5,45	5,64	5,88	5,73	5,51	5,20	4,76	4,11	3,36	2,66	2,19	1,96
40-44	0	0	0	0	0	0	0	0	4,66	4,86	5,13	4,94	4,66	4,26	3,68	3,00	2,37	1,94	1,73
45-49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,86	4,08	4,42	4,18	3,82	3,29	2,68	2,11	1,73	1,54
50-54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,07	3,33	3,74	3,42	2,95	2,40	1,88	1,54	1,36
55-59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,30	2,59	3,07	2,64	2,14	1,68	1,37	1,21
60-64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,59	1,88	2,37	1,92	1,50	1,22	1,08
65-69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,99	1,24	1,72	1,34	1,08	0,96
70-74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,54	0,75	1,20	0,96	0,85
75-79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,27	0,44	0,86	0,76
80-84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,15	0,28	0,67
85-89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,07	0,16

Таблица 5

Значения LAR ($\times 10^6$) на 1 мЗв эквивалентной дозы (толстый кишечник, женщины)

Возраст на момент облучения (годы)	Текущий возраст (годы)																		
	0-4	5-9	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	70-74	75-79	80-84	85-89	90+
0-4	7,93	7,96	7,96	7,95	7,91	7,86	7,78	7,67	7,50	7,27	6,94	6,50	5,90	5,16	4,28	3,36	2,52	2,00	1,82
5-9	0	7,05	7,06	7,07	7,03	6,99	6,93	6,83	6,68	6,47	6,18	5,78	5,25	4,59	3,81	2,98	2,23	1,77	1,61
10-14	0	0	6,24	6,25	6,26	6,22	6,17	6,08	5,94	5,76	5,51	5,15	4,68	4,09	3,39	2,65	1,98	1,56	1,42
15-19	0	0	0	5,51	5,52	5,54	5,49	5,41	5,30	5,13	4,91	4,59	4,17	3,64	3,02	2,35	1,75	1,38	1,25
20-24	0	0	0	0	4,85	4,87	4,89	4,82	4,72	4,58	4,38	4,10	3,72	3,25	2,69	2,09	1,55	1,22	1,10
25-29	0	0	0	0	0	4,24	4,26	4,30	4,21	4,08	3,90	3,65	3,32	2,89	2,39	1,86	1,38	1,08	0,98
30-34	0	0	0	0	0	0	3,68	3,71	3,76	3,64	3,48	3,26	2,96	2,58	2,13	1,66	1,22	0,96	0,86
35-39	0	0	0	0	0	0	0	3,17	3,20	3,25	3,11	2,91	2,64	2,31	1,90	1,47	1,09	0,85	0,76
40-44	0	0	0	0	0	0	0	0	2,68	2,73	2,78	2,60	2,36	2,06	1,70	1,31	0,97	0,75	0,67
45-49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,22	2,26	2,33	2,11	1,84	1,51	1,17	0,86	0,67	0,60
50-54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,76	1,81	1,89	1,64	1,35	1,04	0,76	0,59	0,53
55-59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,32	1,38	1,47	1,21	0,93	0,68	0,52	0,47
60-64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,92	0,98	1,08	0,83	0,60	0,47	0,41
65-69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,57	0,63	0,74	0,54	0,41	0,37
70-74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,30	0,36	0,48	0,37	0,33
75-79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,14	0,18	0,33	0,29
80-84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,06	0,11	0,26
85-89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,03	0,06

Таблица 6

Значения LAR ($\times 10^6$) на 1 мЗв эквивалентной дозы (костный мозг, мужчины)

Возраст на момент облучения (годы)	Текущий возраст (годы)																		
	0-4	5-9	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	70-74	75-79	80-84	85-89	90+
0-4	10,47	6,31	2,69	1,15	0,49	0,21	0,09	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5-9	0	10,49	6,29	2,68	1,14	0,48	0,20	0,09	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10-14	0	0	10,46	6,27	2,67	1,13	0,48	0,20	0,09	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15-19	0	0	0	10,40	6,24	2,65	1,12	0,47	0,20	0,08	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20-24	0	0	0	0	7,59	5,12	2,64	1,35	0,69	0,35	0,18	0,09	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
25-29	0	0	0	0	0	7,49	5,05	2,60	1,33	0,68	0,34	0,17	0,08	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
30-34	0	0	0	0	0	0	7,35	4,97	2,55	1,30	0,65	0,32	0,16	0,08	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00
35-39	0	0	0	0	0	0	0	7,20	4,88	2,48	1,25	0,62	0,30	0,15	0,07	0,03	0,02	0,01	0,00
40-44	0	0	0	0	0	0	0	0	7,60	6,05	3,98	2,59	1,66	1,05	0,65	0,40	0,24	0,15	0,09
45-49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,14	5,65	3,67	2,35	1,49	0,93	0,56	0,34	0,21	0,13
50-54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,58	5,21	3,34	2,12	1,31	0,80	0,48	0,29	0,19
55-59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,95	4,74	3,01	1,86	1,13	0,68	0,42	0,27
60-64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,29	4,27	2,65	1,60	0,97	0,59	0,38
65-69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,62	3,76	2,27	1,37	0,84	0,54
70-74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,91	3,23	1,95	1,19	0,77
75-79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,18	2,76	1,69	1,09
80-84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,53	2,39	1,55
85-89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,05	2,20

Таблица 7

Значения LAR ($\times 10^6$) на 1 мЗв эквивалентной дозы (костный мозг, женщины)

Возраст на момент облучения (годы)	Текущий возраст (годы)																		
	0-4	5-9	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	70-74	75-79	80-84	85-89	90+
0-4	4,81	3,90	2,73	1,91	1,33	0,93	0,64	0,44	0,31	0,21	0,14	0,09	0,06	0,04	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
5-9	0	4,80	3,88	2,71	1,89	1,32	0,91	0,63	0,43	0,30	0,20	0,13	0,09	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,00
10-14	0	0	4,77	3,85	2,69	1,87	1,30	0,90	0,62	0,42	0,28	0,19	0,12	0,08	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01
15-19	0	0	0	4,73	3,81	2,65	1,84	1,27	0,87	0,59	0,40	0,27	0,17	0,11	0,07	0,04	0,02	0,01	0,01
20-24	0	0	0	0	5,15	4,60	3,78	3,09	2,51	2,01	1,59	1,23	0,93	0,69	0,49	0,34	0,22	0,15	0,12
25-29	0	0	0	0	0	4,94	4,40	3,60	2,92	2,34	1,84	1,43	1,08	0,80	0,57	0,39	0,26	0,18	0,13
30-34	0	0	0	0	0	0	4,70	4,18	3,39	2,71	2,14	1,66	1,26	0,93	0,66	0,45	0,30	0,20	0,16
35-39	0	0	0	0	0	0	0	4,45	3,94	3,15	2,49	1,93	1,46	1,08	0,77	0,53	0,35	0,24	0,18
40-44	0	0	0	0	0	0	0	0	9,28	9,01	8,41	7,73	6,98	6,17	5,31	4,43	3,64	3,17	3,07
45-49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7,50	7,24	6,65	6,01	5,31	4,57	3,82	3,13	2,73	2,64
50-54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,97	5,73	5,17	4,57	3,93	3,28	2,70	2,35	2,28
55-59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,68	4,45	3,94	3,38	2,83	2,32	2,02	1,96
60-64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,58	3,39	2,91	2,43	2,00	1,74	1,69
65-69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,66	2,51	2,09	1,72	1,50	1,45
70-74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,91	1,80	1,48	1,29	1,25
75-79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,30	1,27	1,11	1,08
80-84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,85	0,96	0,93
85-89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,59	0,80

Таблица 8

Значения LAR ($\times 10^6$) на 1 мЗв эквивалентной дозы (печень, мужчины)

Возраст на момент облучения (годы)	Текущий возраст (годы)																		
	0-4	5-9	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	70-74	75-79	80-84	85-89	90+
0-4	5,87	5,90	5,90	5,89	5,86	5,83	5,77	5,69	5,58	5,40	5,14	4,82	4,48	4,11	3,67	3,22	2,84	2,59	2,45
5-9	0	5,14	5,14	5,16	5,14	5,11	5,06	4,99	4,89	4,73	4,51	4,23	3,92	3,60	3,22	2,82	2,48	2,26	2,14
10-14	0	0	4,47	4,48	4,50	4,48	4,43	4,38	4,29	4,15	3,95	3,71	3,44	3,15	2,82	2,47	2,17	1,98	1,87
15-19	0	0	0	3,86	3,89	3,92	3,89	3,84	3,76	3,64	3,47	3,25	3,02	2,77	2,47	2,16	1,90	1,73	1,64
20-24	0	0	0	0	3,33	3,36	3,41	3,37	3,30	3,19	3,04	2,85	2,65	2,43	2,17	1,89	1,66	1,51	1,43
25-29	0	0	0	0	0	2,84	2,88	2,95	2,90	2,80	2,67	2,50	2,32	2,13	1,90	1,66	1,46	1,32	1,25
30-34	0	0	0	0	0	0	2,40	2,46	2,54	2,46	2,34	2,20	2,04	1,87	1,66	1,45	1,27	1,16	1,09
35-39	0	0	0	0	0	0	0	2,00	2,07	2,16	2,06	1,93	1,79	1,64	1,46	1,27	1,12	1,01	0,96
40-44	0	0	0	0	0	0	0	0	1,64	1,71	1,81	1,70	1,57	1,44	1,28	1,12	0,98	0,89	0,84
45-49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,30	1,38	1,49	1,38	1,26	1,12	0,98	0,86	0,78	0,73

Продолжение таблицы 8

Возраст на момент облучения (годы)	Текущий возраст (годы)																		
	0-4	5-9	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	70-74	75-79	80-84	85-89	90+
50-54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,00	1,08	1,21	1,11	0,99	0,86	0,75	0,68	0,64
55-59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,73	0,82	0,97	0,87	0,75	0,66	0,59	0,56
60-64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,51	0,61	0,76	0,66	0,58	0,52	0,49
65-69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,34	0,42	0,58	0,50	0,46	0,43
70-74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,20	0,28	0,44	0,40	0,38
75-79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,11	0,18	0,35	0,33
80-84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,06	0,12	0,29
85-89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,03	0,07

Таблица 9

Значения LAR ($\times 10^6$) на 1 мЗв эквивалентной дозы (печень, женщины)

Возраст на момент облучения (годы)	Текущий возраст (годы)																		
	0-4	5-9	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	70-74	75-79	80-84	85-89	90+
0-4	3,04	3,05	3,05	3,03	3,02	2,99	2,96	2,91	2,84	2,74	2,60	2,43	2,22	1,98	1,69	1,38	1,10	0,92	0,86
5-9	0	2,67	2,67	2,67	2,66	2,64	2,60	2,56	2,50	2,41	2,29	2,14	1,96	1,74	1,49	1,22	0,97	0,81	0,75
10-14	0	0	2,33	2,34	2,34	2,32	2,29	2,26	2,20	2,13	2,02	1,89	1,73	1,54	1,31	1,07	0,85	0,71	0,66
15-19	0	0	0	2,03	2,04	2,05	2,02	1,99	1,94	1,87	1,78	1,67	1,52	1,35	1,15	0,94	0,75	0,63	0,58
20-24	0	0	0	0	1,77	1,77	1,78	1,75	1,71	1,65	1,57	1,47	1,34	1,19	1,02	0,83	0,66	0,55	0,51
25-29	0	0	0	0	0	1,52	1,53	1,55	1,51	1,46	1,39	1,30	1,19	1,05	0,90	0,73	0,58	0,48	0,45
30-34	0	0	0	0	0	0	1,30	1,32	1,33	1,29	1,22	1,14	1,05	0,93	0,79	0,65	0,51	0,43	0,39
35-39	0	0	0	0	0	0	0	1,11	1,12	1,14	1,08	1,01	0,93	0,82	0,70	0,57	0,45	0,38	0,35
40-44	0	0	0	0	0	0	0	0	0,92	0,94	0,96	0,89	0,82	0,73	0,62	0,50	0,40	0,33	0,30
45-49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,75	0,77	0,79	0,72	0,64	0,55	0,44	0,35	0,29	0,27
50-54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,60	0,61	0,64	0,57	0,48	0,39	0,31	0,26	0,24
55-59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,45	0,47	0,50	0,43	0,35	0,27	0,23	0,21
60-64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,32	0,34	0,38	0,31	0,24	0,20	0,18
65-69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,21	0,23	0,27	0,21	0,18	0,16
70-74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,12	0,14	0,19	0,16	0,14
75-79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,06	0,08	0,14	0,13
80-84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,03	0,05	0,11
85-89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,03

Таблица 10

Значения LAR ($\times 10^6$) на 1 мЗв эквивалентной дозы (лёгкие, мужчины)

Возраст на момент облучения (годы)	Текущий возраст (годы)																		
	0-4	5-9	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	70-74	75-79	80-84	85-89	90+
0-4	5,75	5,77	5,78	5,79	5,82	5,86	5,92	6,00	6,08	6,13	6,10	5,98	5,74	5,42	4,99	4,56	4,22	4,11	4,19
5-9	0	5,93	5,93	5,95	5,98	6,02	6,08	6,16	6,25	6,30	6,27	6,13	5,88	5,53	5,08	4,62	4,27	4,15	4,22
10-14	0	0	6,09	6,11	6,14	6,19	6,25	6,33	6,42	6,47	6,44	6,30	6,03	5,65	5,17	4,69	4,32	4,19	4,26
15-19	0	0	0	6,27	6,31	6,37	6,43	6,52	6,61	6,67	6,63	6,48	6,19	5,79	5,27	4,76	4,37	4,23	4,30
20-24	0	0	0	0	6,46	6,53	6,63	6,72	6,82	6,87	6,84	6,67	6,36	5,93	5,38	4,84	4,42	4,27	4,33
25-29	0	0	0	0	0	6,67	6,77	6,93	7,04	7,09	7,05	6,88	6,55	6,08	5,49	4,92	4,48	4,31	4,37
30-34	0	0	0	0	0	0	6,86	7,03	7,27	7,33	7,29	7,10	6,74	6,24	5,62	5,01	4,54	4,36	4,41
35-39	0	0	0	0	0	0	0	7,03	7,27	7,38	7,34	7,14	6,78	6,24	5,62	5,01	4,54	4,40	4,46
40-44	0	0	0	0	0	0	0	0	7,08	7,39	7,51	7,29	6,93	6,40	5,78	5,17	4,67	4,45	4,50
45-49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,87	7,26	7,87	7,42	6,80	6,04	5,30	4,74	4,51	4,55
50-54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,30	6,82	7,68	7,01	6,20	5,42	4,82	4,56	4,60
55-59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,42	6,11	7,24	6,37	5,54	4,90	4,62	4,65
60-64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,40	5,22	6,55	5,66	4,98	4,68	4,70
65-69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,35	4,21	5,80	5,07	4,74	4,76
70-74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,36	3,25	5,17	4,81	4,82
75-79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,57	2,49	4,89	4,88
80-84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,07	2,10	4,95
85-89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,64	1,52

Таблица 11

Значения LAR ($\times 10^6$) на 1 мЗв эквивалентной дозы (лёгкие, женщины)

Возраст на момент облучения (годы)	Текущий возраст (годы)																		
	0-4	5-9	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	70-74	75-79	80-84	85-89	90+
0-4	11,40	11,45	11,46	11,47	11,48	11,48	11,48	11,47	11,42	11,29	11,03	10,62	10,04	9,28	8,32	7,27	6,26	5,75	5,84
5-9	0	11,65	11,66	11,68	11,68	11,69	11,68	11,67	11,62	11,48	11,21	10,79	10,19	9,41	8,43	7,35	6,33	5,80	5,89
10-14	0	0	11,86	11,88	11,90	11,90	11,90	11,88	11,83	11,68	11,41	10,97	10,35	9,54	8,54	7,44	6,39	5,85	5,94
15-19	0	0	0	12,07	12,09	12,13	12,13	12,11	12,05	11,90	11,61	11,16	10,52	9,69	8,66	7,53	6,46	5,91	5,99
20-24	0	0	0	0	12,27	12,31	12,37	12,35	12,29	12,13	11,83	11,36	10,70	9,84	8,78	7,62	6,53	5,96	6,04
25-29	0	0	0	0	0	12,44	12,50	12,61	12,54	12,38	12,07	11,58	10,90	10,00	8,91	7,72	6,60	6,02	6,09
30-34	0	0	0	0	0	0	12,56	12,66	12,81	12,64	12,32	11,81	11,10	10,18	9,05	7,83	6,68	6,08	6,15
35-39	0	0	0	0	0	0	0	12,58	12,73	12,92	12,58	12,05	11,32	10,36	9,19	7,94	6,77	6,15	6,20
40-44	0	0	0	0	0	0	0	0	12,43	12,62	12,87	12,31	11,55	10,56	9,35	8,05	6,85	6,22	6,27
45-49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12,02	12,25	12,59	11,80	10,76	9,51	8,18	6,94	6,29	6,33
50-54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11,26	11,57	12,06	10,99	9,69	8,31	7,04	6,36	6,40
55-59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10,12	10,54	11,22	9,88	8,45	7,14	6,44	6,47
60-64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8,59	9,15	10,08	8,60	7,25	6,52	6,54
65-69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,74	7,43	8,76	7,37	6,61	6,62	6,62
70-74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,73	5,58	7,49	6,71	6,70
75-79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,85	3,83	6,80	6,78
80-84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,66	2,95	6,87
85-89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,91	2,12

Таблица 12

Значения LAR ($\times 10^6$) на 1 мЗв эквивалентной дозы (пищевод, мужчины)

Возраст на момент облучения (годы)	Текущий возраст (годы)																		
	0-4	5-9	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	70-74	75-79	80-84	85-89	90+
0-4	1,39	1,39	1,40	1,40	1,41	1,41	1,43	1,45	1,46	1,46	1,40	1,28	1,10	0,86	0,61	0,42	0,28	0,19	0,16
5-9	0	1,30	1,30	1,30	1,31	1,31	1,33	1,35	1,36	1,35	1,30	1,19	1,02	0,80	0,57	0,40	0,27	0,18	0,15
10-14	0	0	1,21	1,22	1,22	1,23	1,24	1,26	1,27	1,26	1,21	1,11	0,95	0,75	0,54	0,38	0,26	0,18	0,16
15-19	0	0	0	1,14	1,15	1,16	1,17	1,19	1,20	1,19	1,14	1,05	0,90	0,71	0,52	0,37	0,26	0,19	0,16
20-24	0	0	0	0	1,09	1,10	1,12	1,13	1,14	1,13	1,09	1,00	0,86	0,69	0,51	0,37	0,26	0,20	0,17
25-29	0	0	0	0	0	1,06	1,07	1,10	1,10	1,09	1,05	0,96	0,84	0,67	0,51	0,37	0,27	0,21	0,19
30-34	0	0	0	0	0	0	1,03	1,05	1,09	1,07	1,03	0,95	0,83	0,68	0,52	0,39	0,29	0,23	0,21
35-39	0	0	0	0	0	0	0	1,00	1,04	1,08	1,04	0,96	0,84	0,69	0,54	0,42	0,32	0,26	0,24
40-44	0	0	0	0	0	0	0	0	0,97	1,01	1,07	0,99	0,87	0,73	0,59	0,46	0,37	0,31	0,28
45-49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,92	0,97	1,05	0,94	0,80	0,65	0,53	0,43	0,37	0,34
50-54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,85	0,92	1,03	0,89	0,74	0,61	0,51	0,45	0,42
55-59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,77	0,87	1,02	0,87	0,73	0,62	0,55	0,52
60-64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,70	0,83	1,04	0,88	0,76	0,68	0,64
65-69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,63	0,79	1,09	0,95	0,85	0,81
70-74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,54	0,75	1,18	1,08	1,02
75-79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,44	0,69	1,36	1,30
80-84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,36	0,70	1,65
85-89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,26	0,61

Таблица 13

Значения LAR ($\times 10^6$) на 1 мЗв эквивалентной дозы (пищевод, женщины)

Возраст на момент облучения (годы)	Текущий возраст (годы)																		
	0-4	5-9	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	70-74	75-79	80-84	85-89	90+
0-4	0,67	0,67	0,67	0,68	0,67	0,67	0,67	0,66	0,64	0,63	0,60	0,55	0,50	0,43	0,36	0,28	0,22	0,17	0,14
5-9	0	0,67	0,67	0,67	0,67	0,66	0,66	0,65	0,63	0,62	0,59	0,54	0,49	0,43	0,35	0,28	0,22	0,17	0,14
10-14	0	0	0,67	0,67	0,67	0,67	0,66	0,65	0,64	0,62	0,59	0,55	0,50	0,43	0,36	0,29	0,22	0,18	0,15
15-19	0	0	0	0,69	0,69	0,69	0,69	0,68	0,66	0,64	0,61	0,56	0,51	0,45	0,37	0,30	0,23	0,19	0,16
20-24	0	0	0	0	0,72	0,73	0,73	0,72	0,70	0,68	0,65	0,60	0,54	0,48	0,40	0,32	0,25	0,21	0,18
25-29	0	0	0	0	0	0,78	0,78	0,79	0,77	0,74	0,71	0,65	0,60	0,52	0,44	0,36	0,28	0,23	0,21
30-34	0	0	0	0	0	0	0,85	0,85	0,86	0,83	0,79	0,74	0,67	0,59	0,50	0,41	0,32	0,27	0,25
35-39	0	0	0	0	0	0	0	0,94	0,95	0,96	0,91	0,85	0,77	0,68	0,58	0,48	0,38	0,32	0,29
40-44	0	0	0	0	0	0	0	0	1,04	1,06	1,08	1,00	0,91	0,81	0,69	0,57	0,46	0,38	0,36
45-49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,15	1,17	1,20	1,10	0,97	0,83	0,69	0,55	0,47	0,44

Продолжение таблицы 13

Возраст на момент облучения (годы)	Текущий возраст (годы)																		
	0-4	5-9	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	70-74	75-79	80-84	85-89	90+
50-54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,25	1,29	1,34	1,19	1,02	0,84	0,68	0,58	0,55
55-59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,33	1,38	1,47	1,26	1,05	0,85	0,73	0,69
60-64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,35	1,44	1,58	1,31	1,07	0,91	0,87
65-69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,28	1,41	1,66	1,35	1,16	1,10
70-74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,08	1,27	1,71	1,47	1,39
75-79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,78	1,05	1,87	1,77
80-84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,55	0,97	2,26
85-89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,36	0,85

Таблица 14

Значения LAR ($\times 10^6$) на 1 мЗв эквивалентной дозы (яичники, женщины)

Возраст на момент облучения (годы)	Текущий возраст (годы)																		
	0-4	5-9	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	70-74	75-79	80-84	85-89	90+
0-4	5,49	5,52	5,52	5,42	5,32	5,19	5,03	4,84	4,59	4,25	3,81	3,34	2,87	2,40	1,94	1,52	1,17	0,97	0,91
5-9	0	4,82	4,83	4,84	4,74	4,63	4,49	4,31	4,09	3,77	3,38	2,96	2,54	2,12	1,71	1,34	1,03	0,85	0,79
10-14	0	0	4,22	4,22	4,23	4,13	4,00	3,84	3,64	3,36	3,00	2,62	2,25	1,87	1,50	1,17	0,90	0,74	0,69
15-19	0	0	0	3,66	3,67	3,68	3,56	3,42	3,24	2,99	2,67	2,33	1,99	1,66	1,33	1,03	0,79	0,65	0,61
20-24	0	0	0	0	3,15	3,16	3,18	3,05	2,89	2,66	2,37	2,07	1,77	1,46	1,17	0,91	0,70	0,57	0,53
25-29	0	0	0	0	0	2,69	2,70	2,72	2,58	2,37	2,11	1,84	1,56	1,29	1,03	0,80	0,61	0,50	0,47
30-34	0	0	0	0	0	0	2,25	2,27	2,30	2,11	1,88	1,63	1,39	1,15	0,91	0,71	0,54	0,44	0,41
35-39	0	0	0	0	0	0	0	1,83	1,85	1,88	1,67	1,45	1,23	1,01	0,81	0,62	0,47	0,38	0,36
40-44	0	0	0	0	0	0	0	0	1,44	1,46	1,49	1,29	1,09	0,90	0,71	0,55	0,41	0,34	0,31
45-49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,09	1,11	1,15	0,97	0,80	0,63	0,48	0,36	0,30	0,28
50-54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,80	0,83	0,86	0,71	0,56	0,43	0,32	0,26	0,24
55-59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,56	0,59	0,63	0,49	0,38	0,28	0,23	0,21
60-64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,37	0,40	0,44	0,33	0,25	0,20	0,19
65-69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,23	0,25	0,29	0,22	0,18	0,16
70-74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,12	0,14	0,19	0,15	0,14
75-79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,06	0,08	0,14	0,13
80-84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,03	0,05	0,11
85-89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,03

Таблица 15

Значения LAR ($\times 10^6$) на 1 мЗв эквивалентной дозы (желудок, мужчины)

Возраст на момент облучения (годы)	Текущий возраст (годы)																		
	0-4	5-9	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	70-74	75-79	80-84	85-89	90+
0-4	10,77	10,82	10,84	10,83	10,80	10,74	10,66	10,55	10,37	10,09	9,67	9,12	8,47	7,71	6,79	5,83	4,97	4,39	4,12
5-9	0	9,50	9,51	9,54	9,52	9,47	9,40	9,30	9,15	8,90	8,53	8,05	7,47	6,80	5,98	5,13	4,37	3,85	3,61
10-14	0	0	8,32	8,34	8,39	8,35	8,29	8,20	8,07	7,85	7,53	7,11	6,60	6,00	5,27	4,51	3,84	3,38	3,16
15-19	0	0	0	7,25	7,29	7,36	7,31	7,23	7,12	6,93	6,65	6,28	5,83	5,29	4,65	3,97	3,37	2,96	2,77
20-24	0	0	0	0	6,29	6,35	6,45	6,38	6,29	6,12	5,87	5,54	5,15	4,67	4,10	3,50	2,96	2,60	2,43
25-29	0	0	0	0	0	5,42	5,50	5,64	5,55	5,41	5,19	4,90	4,55	4,13	3,62	3,08	2,60	2,28	2,13
30-34	0	0	0	0	0	0	4,63	4,74	4,90	4,78	4,59	4,33	4,02	3,65	3,19	2,72	2,29	2,00	1,86
35-39	0	0	0	0	0	0	0	3,91	4,05	4,22	4,06	3,83	3,56	3,22	2,82	2,40	2,01	1,76	1,64
40-44	0	0	0	0	0	0	0	0	3,26	3,40	3,59	3,39	3,15	2,85	2,49	2,11	1,77	1,54	1,43
45-49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,62	2,77	3,00	2,79	2,52	2,20	1,86	1,56	1,35	1,26
50-54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,03	2,19	2,47	2,23	1,95	1,64	1,37	1,19	1,10
55-59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,48	1,67	1,98	1,72	1,45	1,21	1,05	0,97
60-64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,03	1,21	1,52	1,28	1,07	0,92	0,85
65-69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,66	0,82	1,13	0,94	0,81	0,75
70-74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,38	0,52	0,83	0,71	0,66
75-79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,20	0,32	0,63	0,58
80-84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,11	0,22	0,51
85-89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,05	0,13

Таблица 16
Значения LAR ($\times 10^6$) на 1 мЗв эквивалентной дозы (желудок, женщины)

Возраст на момент облучения (годы)	Текущий возраст (годы)																		
	0-4	5-9	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	70-74	75-79	80-84	85-89	90+
0-4	19,36	19,43	19,45	19,42	19,33	19,16	18,91	18,56	18,07	17,37	16,47	15,36	14,02	12,43	10,64	8,75	6,98	5,88	5,53
5-9	0	17,00	17,02	17,04	16,96	16,81	16,60	16,29	15,85	15,25	14,46	13,48	12,30	10,91	9,33	7,67	6,11	5,14	4,83
10-14	0	0	14,83	14,85	14,88	14,76	14,57	14,30	13,92	13,38	12,69	11,84	10,80	9,57	8,19	6,73	5,35	4,50	4,23
15-19	0	0	0	12,89	12,91	12,95	12,79	12,55	12,22	11,75	11,14	10,39	9,48	8,41	7,18	5,90	4,69	3,94	3,70
20-24	0	0	0	0	11,14	11,17	11,23	11,02	10,73	10,32	9,79	9,13	8,33	7,38	6,31	5,18	4,11	3,45	3,24
25-29	0	0	0	0	0	9,55	9,60	9,68	9,42	9,06	8,60	8,02	7,32	6,48	5,54	4,54	3,60	3,02	2,83
30-34	0	0	0	0	0	0	8,12	8,18	8,28	7,97	7,55	7,05	6,43	5,70	4,86	3,99	3,16	2,64	2,48
35-39	0	0	0	0	0	0	0	6,82	6,90	7,00	6,64	6,19	5,65	5,01	4,27	3,50	2,77	2,32	2,17
40-44	0	0	0	0	0	0	0	0	5,64	5,73	5,84	5,45	4,97	4,40	3,76	3,07	2,43	2,03	1,90
45-49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,57	4,66	4,79	4,37	3,87	3,30	2,70	2,13	1,78	1,66
50-54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,59	3,69	3,85	3,41	2,90	2,37	1,87	1,56	1,46
55-59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,70	2,82	3,00	2,55	2,09	1,64	1,37	1,28
60-64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,92	2,04	2,25	1,83	1,44	1,20	1,12
65-69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,24	1,37	1,61	1,27	1,05	0,98
70-74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,70	0,83	1,11	0,92	0,86
75-79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,34	0,46	0,81	0,75
80-84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,16	0,28	0,66
85-89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,07	0,17

Таблица 17
Значения LAR ($\times 10^6$) на 1 мЗв эквивалентной дозы (щитовидная железа, мужчины)

Возраст на момент облучения (годы)	Текущий возраст (годы)																		
	0-4	5-9	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	70-74	75-79	80-84	85-89	90+
0-4	5,11	5,14	5,14	5,08	4,99	4,91	4,79	4,61	4,37	4,04	3,61	3,16	2,71	2,19	1,63	1,15	0,73	0,41	0,35
5-9	0	3,35	3,36	3,37	3,31	3,26	3,18	3,06	2,90	2,68	2,40	2,10	1,80	1,45	1,08	0,76	0,48	0,27	0,23
10-14	0	0	2,18	2,18	2,20	2,16	2,11	2,03	1,92	1,78	1,59	1,39	1,19	0,96	0,72	0,51	0,32	0,18	0,16
15-19	0	0	0	1,41	1,42	1,43	1,40	1,35	1,28	1,18	1,05	0,92	0,79	0,64	0,48	0,34	0,21	0,12	0,10
20-24	0	0	0	0	0,91	0,91	0,93	0,89	0,85	0,78	0,70	0,61	0,52	0,42	0,32	0,22	0,14	0,08	0,07
25-29	0	0	0	0	0	0,57	0,58	0,59	0,56	0,52	0,46	0,41	0,35	0,28	0,21	0,15	0,09	0,05	0,05
30-34	0	0	0	0	0	0	0,35	0,36	0,37	0,34	0,31	0,27	0,23	0,19	0,14	0,10	0,06	0,03	0,03
35-39	0	0	0	0	0	0	0	0,21	0,22	0,23	0,20	0,18	0,15	0,12	0,09	0,06	0,04	0,02	0,02
40-44	0	0	0	0	0	0	0	0	0,12	0,13	0,14	0,12	0,10	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,01
45-49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,07	0,07	0,08	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01
50-54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01
55-59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00
60-64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
65-69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
70-74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
75-79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
80-84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
85-89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00

Таблица 18
Значения LAR ($\times 10^6$) на 1 мЗв эквивалентной дозы (щитовидная железа, женщины)

Возраст на момент облучения (годы)	Текущий возраст (годы)																		
	0-4	5-9	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	70-74	75-79	80-84	85-89	90+
0-4	48,88	49,06	49,11	48,75	48,02	46,90	45,07	42,43	39,27	35,54	30,99	25,67	19,99	14,26	8,98	5,43	3,37	2,19	1,89
5-9	0	32,26	32,29	32,34	31,85	31,11	29,90	28,15	26,05	23,58	20,55	17,03	13,26	9,46	5,96	3,60	2,23	1,45	1,25
10-14	0	0	21,05	21,08	21,13	20,64	19,83	18,67	17,28	15,64	13,63	11,30	8,79	6,27	3,95	2,39	1,48	0,96	0,83
15-19	0	0	0	13,61	13,64	13,69	13,16	12,39	11,46	10,37	9,04	7,49	5,83	4,16	2,62	1,58	0,98	0,64	0,55
20-24	0	0	0	0	8,65	8,68	8,73	8,22	7,60	6,88	6,00	4,97	3,87	2,76	1,74	1,05	0,65	0,42	0,37
25-29	0	0	0	0	0	5,37	5,40	5,45	5,04	4,56	3,98	3,30	2,57	1,83	1,15	0,70	0,43	0,28	0,24
30-34	0	0	0	0	0	0	3,27	3,30	3,34	3,03	2,64	2,19	1,70	1,21	0,76	0,46	0,29	0,19	0,16
35-39	0	0	0	0	0	0	0	1,95	1,98	2,01	1,75	1,45	1,13	0,81	0,51	0,31	0,19	0,12	0,11
40-44	0	0	0	0	0	0	0	0	1,12	1,14	1,16	0,96	0,75	0,53	0,34	0,20	0,13	0,08	0,07
45-49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,61	0,62	0,64	0,50	0,35	0,22	0,13	0,08	0,05	0,05

Продолжение таблицы 18

Возраст на момент облучения (годы)	Текущий возраст (годы)																		
	0-4	5-9	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	70-74	75-79	80-84	85-89	90+
50-54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,31	0,32	0,33	0,24	0,15	0,09	0,06	0,04	0,03
55-59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,14	0,15	0,16	0,10	0,06	0,04	0,02	0,02
60-64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,06	0,06	0,07	0,04	0,02	0,02	0,01
65-69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,01
70-74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
75-79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00
80-84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00	0,00
85-89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00

Таблица 19

Значения LAR ($\times 10^6$) на 1 мЗв эквивалентной дозы (остальные солидные, мужчины)

Возраст на момент облучения (годы)	Текущий возраст (годы)																		
	0-4	5-9	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	70-74	75-79	80-84	85-89	90+
0-4	36,80	36,98	37,03	36,42	35,93	35,59	35,28	35,02	34,71	34,11	33,01	31,27	28,71	25,05	20,28	15,37	11,20	8,60	7,59
5-9	0	29,99	30,04	30,12	29,72	29,44	29,19	28,97	28,70	28,19	27,27	25,84	23,72	20,72	16,81	12,80	9,38	7,25	6,41
10-14	0	0	24,40	24,47	24,61	24,38	24,17	23,98	23,75	23,32	22,56	21,36	19,62	17,16	13,96	10,67	7,86	6,11	5,43
15-19	0	0	0	19,89	20,01	20,21	20,03	19,87	19,68	19,32	18,67	17,68	16,25	14,22	11,60	8,90	6,60	5,17	4,60
20-24	0	0	0	0	16,20	16,36	16,62	16,48	16,32	16,01	15,47	14,65	13,46	11,80	9,65	7,43	5,55	4,37	3,90
25-29	0	0	0	0	0	13,14	13,35	13,69	13,55	13,29	12,84	12,15	11,17	9,80	8,04	6,22	4,67	3,70	3,31
30-34	0	0	0	0	0	0	10,60	10,87	11,26	11,04	10,66	10,09	9,28	8,15	6,70	5,21	3,93	3,14	2,82
35-39	0	0	0	0	0	0	0	8,48	8,79	9,18	8,86	8,38	7,71	6,79	5,59	4,37	3,32	2,66	2,40
40-44	0	0	0	0	0	0	0	0	6,66	6,96	7,37	6,98	6,42	5,66	4,67	3,66	2,80	2,26	2,04
45-49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,04	5,34	5,81	5,35	4,72	3,91	3,08	2,37	1,92	1,74
50-54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,61	3,93	4,46	3,94	3,28	2,59	2,01	1,64	1,49
55-59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,41	2,74	3,30	2,75	2,18	1,70	1,40	1,27
60-64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,50	1,80	2,31	1,84	1,44	1,19	1,09
65-69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,86	1,10	1,56	1,23	1,02	0,93
70-74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,46	0,65	1,04	0,87	0,80
75-79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,23	0,38	0,75	0,69
80-84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,13	0,25	0,59
85-89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,06	0,14

Таблица 20

Значения LAR ($\times 10^6$) на 1 мЗв эквивалентной дозы (остальные солидные, женщины)

Возраст на момент облучения (годы)	Текущий возраст (годы)																		
	0-4	5-9	10-14	15-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-64	65-69	70-74	75-79	80-84	85-89	90+
0-4	37,70	37,85	37,89	37,47	37,06	36,44	35,49	34,22	32,65	30,76	28,48	25,77	22,67	19,26	15,68	12,31	9,44	7,67	7,08
5-9	0	31,45	31,48	31,53	31,19	30,67	29,89	28,84	27,53	25,96	24,06	21,80	19,21	16,35	13,35	10,52	8,09	6,59	6,10
10-14	0	0	26,18	26,22	26,28	25,85	25,20	24,33	23,25	21,94	20,35	18,46	16,30	13,90	11,38	8,99	6,94	5,67	5,26
15-19	0	0	0	21,68	21,74	21,82	21,28	20,56	19,65	18,56	17,24	15,65	13,84	11,83	9,71	7,70	5,96	4,89	4,53
20-24	0	0	0	0	17,81	17,87	17,99	17,39	16,64	15,72	14,62	13,29	11,77	10,08	8,30	6,59	5,12	4,21	3,91
25-29	0	0	0	0	0	14,48	14,57	14,72	14,10	13,33	12,41	11,29	10,02	8,60	7,09	5,65	4,40	3,63	3,38
30-34	0	0	0	0	0	0	11,67	11,79	11,96	11,32	10,54	9,61	8,54	7,34	6,07	4,85	3,79	3,13	2,92
35-39	0	0	0	0	0	0	0	9,31	9,45	9,63	8,97	8,19	7,28	6,28	5,20	4,17	3,26	2,70	2,52
40-44	0	0	0	0	0	0	0	0	7,32	7,46	7,64	6,98	6,22	5,37	4,46	3,58	2,81	2,34	2,18
45-49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,62	5,76	5,96	5,32	4,60	3,83	3,08	2,43	2,02	1,89
50-54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,19	4,33	4,55	3,94	3,29	2,65	2,09	1,75	1,64
55-59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3,00	3,15	3,38	2,83	2,29	1,81	1,51	1,42
60-64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,04	2,19	2,43	1,97	1,56	1,31	1,23
65-69	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,29	1,43	1,70	1,35	1,13	1,06
70-74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,73	0,87	1,17	0,98	0,92
75-79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,35	0,48	0,85	0,80
80-84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,17	0,30	0,69
85-89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,08	0,18

Был рассмотрен сценарий облучения из работы [11]: величины пожизненного атрибутивного риска LAR заболеваемости рассмотренными локализациями рака рассчитаны для женщины в возрасте 50 лет, которая прошла в течение жизни 5 процедур компьютерной томографии:

- КТ грудной клетки в возрасте 20 лет;
- КТ таза в 25 лет;
- КТ таза в 30 лет;
- КТ плечевого пояса в 45 лет;
- КТ грудной клетки в 50 лет.

Смоделированные с помощью программы «СТ-Ехро» [14] эквивалентные дозы для рассматриваемых КТ-обследований представлены в табл. 21. Используя табличные значения коэффициентов LAR из табл. 1-20, полученные по медико-демографическим данным российской популяции [15], а также данные по органным дозам из табл. 21, были оценены величины LAR_{Tab} – пожизненные атрибутивные риски заболеваемости различными локализациями рака в результате прохождения в течение жизни 5 процедур компьютерной томографии.

Таблица 21

Эквивалентные дозы в органах и тканях (мЗв) и пожизненный атрибутивный риск ($LAR \times 10^4$) для заболеваемости раком после пятикратного облучения женщины на компьютерном томографе в возрасте 20, 25, 30, 45 и 50 лет

КТ-исследования	Пищевод	Желудок	Толстый кишечник	Печень	Лёгкие	Молочная железа	Яичник	Мочевой пузырь	Щитовидная железа	Костный мозг	Всего
Эквивалентные дозы в органах и тканях, мЗв											
Грудной отдел (возраст 20 лет)	9,12	1,85	0,14	2,86	9,22	9,74	0,02	0,00	3,19	2,29	
Таз (возраст 25 лет)	0,00	1,02	9,96	0,74	0,05	0,03	12,27	13,76	0,00	4,78	
Таз (возраст 30 лет)	0,00	1,02	9,96	0,74	0,05	0,03	12,27	13,76	0,00	4,78	
Плечи (возраст 45 лет)	15,14	0,27	0,02	0,36	7,15	1,71	0,00	0,00	21,26	2,78	
Грудной отдел (возраст 50 лет)	9,12	1,85	0,14	2,86	9,22	9,74	0,02	0,00	3,19	2,29	
Всего	33,38	6,01	20,22	7,57	25,68	21,24	24,58	27,51	27,65	16,91	
Пожизненный атрибутивный риск, $LAR \times 10^4$											
LAR_{ICRP}	0,59	0,84	1,33	0,15	5,06	5,46	0,96	1,61	0,61	0,55	17,16
LAR_{Tab}	0,70	0,85	1,49	0,17	6,03	5,31	0,98	2,00	0,67	1,13	19,33

Рассмотрим пример расчёта величины LAR_{Tab} табличным методом для локализации «Пищевод». Так как текущий возраст пациентки равен 50 годам, и пациентка подвергалась медицинскому облучению в возрастах 20, 25, 30, 45 и 50 лет, соответствующие значения LAR на 1 мЗв из табл. 13 (колонка «Текущий возраст» 50-54) надо умножить на соответствующие органные дозы из табл. 21 (колонка «Пищевод»), а затем просуммировать:

$$LAR_{Tab}^{Пщ} = (0,65 \cdot 9,12 + 0,71 \cdot 0 + 0,79 \cdot 0 + 1,17 \cdot 15,14 + 1,25 \cdot 9,12) \cdot 10^{-6} = 3,5 \cdot 10^{-5}.$$

В работе [11] для этого же набора КТ-обследований приведены величины LAR, рассчитанные непосредственно по моделям риска Публикации 103 МКРЗ [10] с использованием точных возрастов при облучении (20, 25, 30, 45 и 50 лет), но при значении фактора DDREF=1. Поэтому для сравнения величины $LAR_{Tab}^{Пщ}$, полученной в данной работе с использованием приближённых

табличных коэффициентов риска, с аналогичной величиной, рассчитанной в работе [11], величину $LAR_{Tab}^{Пищ}$ надо умножить на 2:

$$LAR_{Tab}^{Пищ} = 2 \cdot 3,5 \cdot 10^{-5} = 7,0 \cdot 10^{-5}.$$

Аналогично, приближённым табличным методом рассчитываются величины LAR_{Tab} для других локализаций рака.

В табл. 21 приведено сравнение результатов расчёта пожизненных атрибутивных рисков заболеваемости раком для данного КТ-обследования, полученных приближённым табличным методом (LAR_{Tab}) и более сложным и точным методом [11] с использованием численных компьютерных расчётов (LAR_{ICRP}). Значения LAR в табл. 21 приведены на 10000 человек.

Из табл. 21 видно, что пожизненные атрибутивные риски, рассчитанные приближённым табличным методом, хорошо согласуются с аналогичными рисками, рассчитанными с помощью более точных математических моделей [11], требующих численных расчётов на компьютере. Различие между этими двумя методами расчёта не превышает 12%. Различие в величине рисков объясняется тем, что метод расчёта в работе [11] использует точные данные конкретного пациента, а коэффициенты риска из табл. 1-20 являются величинами, усреднёнными 5-летним возрастным интервалам. Кроме того, в данной работе при расчёте коэффициентов риска для табл. 1-20 использовались медико-демографические данные РФ за 2017 г. [15], а результаты расчётов в работе [11] были получены по более ранним медико-демографическим данным российской популяции 2008 г. [16]. Таким образом, зная величину органных доз, полученных пациентом при медицинском облучении в течение жизни, используя табл. 1-20, можно рассчитать величину LAR для отдельного пациента с учётом накопленной информации о ранее выполненных радиологических обследованиях.

Заключение

В данной статье разработана табличная методика оценки радиационных рисков медицинского облучения пациентов при многократном прохождении различных диагностических радиологических процедур.

Для оценки пожизненных атрибутивных рисков заболеваемости различными локализациями рака были рассчитаны таблицы коэффициентов радиационных рисков на 1 мЗв эквивалентной дозы в органах и тканях. Таблицы коэффициентов радиационных рисков рассчитаны для мужчин и женщин, для возрастов от 0 до 95 лет, с шагом в 5 лет, для 11 локализаций рака (табл. 1-20).

Таким образом, зная типичные распределения или точные измеренные значения эквивалентных доз, разработанная методика позволит врачам-радиологам проводить оценку радиационного риска медицинского облучения пациента с целью обоснования приемлемости назначаемых диагностических процедур без необходимости применения вычислительной техники и специализированного программного обеспечения.

Литература

1. **Кашеев В.В., Пряхин Е.А.** Медицинское диагностическое облучение: проблема радиационной безопасности. Обзор //Радиация и риск. 2018. Т. 27, № 4. С. 49-64.
2. **Кашеев В.В., Пряхин Е.А., Меняйло А.Н., Панин М.С., Селёва Н.Г., Кашеева П.В., Иванов С.А., Каприн А.Д., Иванов В.К.** Оценка радиационных рисков онкологической заболеваемости детей и подростков на основе данных протоколов сканирования при обследовании на рентгеновских компьютерных томографах //Радиация и риск. 2020. Т. 29, № 2. С. 21-31.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. МР 2.6.1.0215-20. Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований. Методические рекомендации. М.: Роспотребнадзор, 2020.
7. **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.
8. **Ivanov V.K., Kashcheev V.V., Chekin S.Yu., Menyaylo A.N., Pryakhin E.A., Tsyb A.F., Mettler F.A.** Estimation of risk from medical radiation exposure based on effective and organ dose: how much difference is there? //Radiat. Prot. Dosim. 2013. V. 155, N 3. P. 317-328. DOI: 10.1093/rpd/nct008.
9. Communicating radiation risks in pediatric imaging: information to support health care discussions about benefit and risk. Geneva: WHO, 2016. 88 p.
10. 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.
11. **Иванов В.К., Кашеев В.В., Чекин С.Ю., Меняйло А.Н., Пряхин Е.А., Цыб А.Ф., Меттлер Ф.А.** Оценка радиационных рисков на индивидуальном уровне при многократном использовании в диагностических целях компьютерной томографии //АНРИ. 2014. № 1. С. 65-77.
12. **Иванов В.К., Меняйло А.Н., Кашеев В.В., Чекин С.Ю., Горский А.И., Максюттов М.А., Туманов К.А.** Сравнительный анализ современных моделей оценки радиационных рисков МКРЗ и НКДАР ООН //АНРИ. 2011. № 3. С. 18-29.
13. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2016 году: информационный сборник. СПб.: НИИРГ им. П.В. Рамзаева, 2017. 125 с.
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. Злокачественные новообразования в России в 2017 году (заболеваемость и смертность): справочник /под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, Г.В. Петровой. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИРЦ» Минздрава России, 2018. 250 с.
16. Злокачественные новообразования в России в 2008 г. (заболеваемость и смертность): справочник /под ред. акад. РАМН В.И. Чиссова, проф. В.В. Старинского. М., 2010.

Methodology for assessment of radiation risks from medical exposure on the example of multiple computed tomography

Kashcheev V.V., Pryakhin E.A., Kurashvili Yu.B.¹

A. Tsyb MRRC, Obninsk;

¹ Rusatom Overseas, Moscow

Currently the application of diagnostic imaging procedures is extended. After the COVID-19 outbreak the number of radiological examinations have increased significantly. The number of repeated radiological examinations increased as well. Although the risk of cancer from single radiological scanning is small, risk from multiple imaging has not been estimated yet. The development of methodology for assessment of cancer risks from multiple radiological examinations is needed. This paper presents the procedure for assessment of radiation risks from multiple radiological examinations of any type. The validity of the developed approach was tested on the example of assessment of lifetime attributable risk (LAR) of cancer incidence from multiple computed tomography (CT) examinations, the results are discussed in the paper. The authors developed the method for estimating radiation detriment from multiple radiological CT scans for remaining life years. The method is based on equivalent radiation doses to organs and tissues of a patient's body. Tables of LARs values per dose unit for males and females within the age range 0-95 years and a step of 5 years were designed. The tables were computed for the following cancer sites: bladder, breast, colon, bone marrow, liver, lungs, esophagus, ovary, stomach, thyroid and other solid. The authors estimated cancer risks for a female, she was exposed to radiation from CT scanning. The female's risks assessed with the developed methodology were compared with radiation risks estimated with mathematical model ICRP (Publication 103). The comparison showed that the difference between risks estimated with the developed method and the risks estimated with the ICRP model did not exceed 12%. In models sex and age were accounted, medical and demographic data applicable to the Russian population were taken into account as well.

Key words: radiation risk, methodology for assessment of radiation risks, medical exposure, computed tomography, equivalent doses, mathematical model, ICRP Publication 103, lifetime attributable risk (LAR), multiple exposure.

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. **Kashcheev V.V., Pryakhin E.A., Menyajlo A.N., Panin M.S., Seleva N.G., Kashcheeva P.V., Ivanov S.A., Kaprin A.D., Ivanov V.K.** Radiation risks assessment of children cancer incidence based on computed tomography examination protocols. *Radiatsiya i risk – Radiation and Risk*, 2020, vol. 29, no. 2, pp. 21-31. (In Russian).
3. 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.
4. 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).
5. 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).
6. MR 2.6.1.0215-20. Assessment of radiation risk in patients during X-ray and radiological studies. Guideline. Moscow, Rospotrebnadzor, 2020. (In Russian).

Kashcheev V.V. – Head of Lab., C. Sc., Biol.; **Pryakhin E.A.*** – Researcher/ A. Tsyb MRRC. **Kurashvili Yu.B.** – Adviser of Vice-President, MD. Rusatom Overseas.

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

7. **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, vol. 103, no. 6, pp. 732-739.
8. **Ivanov V.K., Kashcheev V.V., Chekin S.Yu., Menyaylo A.N., Pryakhin E.A., Tsyb A.F., Mettler F.A.** Estimation of risk from medical radiation exposure based on effective and organ dose: how much difference is there? *Radiat. Prot. Dosim.*, 2013, vol. 155, no. 3, pp. 317-328. DOI: 10.1093/rpd/nct008.
9. Communicating radiation risks in pediatric imaging: information to support health care discussions about benefit and risk. Geneva, WHO, 2016. 88 p.
10. 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.
11. **Ivanov V.K., Kashcheev V.V., Chekin S.Yu., Menyaylo A.N., Pryakhin E.A., Tsyb A.F., Mettler F.A.** Estimating personal radiation risks attributed to multiple computed tomography scanning. *ANRI*, 2014, no. 1, pp. 65-77. (In Russian).
12. **Ivanov V.K., Menyailo A.N., Kashcheev V.V., Chekin S.Yu., Gorsky A.I., Maksiutov 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).
13. The radiation doses to the Russian population in 2016: information collection. St. Petersburg, Ramzaev's NIIRG Publ., 2017. 125 p. (In Russian).
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. *Malignant neoplasms in Russia in 2017* (morbidity and mortality). Eds.: A.D. Kaprin, V.V. Starinskiy, G.V. Petrova. Moscow, P. Hertsen MORI, 2018. 250 p. (In Russian).
16. *Malignant neoplasms in Russia in 2008* (morbidity and mortality). Eds.: V.I. Chissov, V.V. Starinskiy. Moscow, 2010. (In Russian).