

Анализ методов статистической оценки стандартных доз облучения пациентов при компьютерной томографии в Федеральном медицинском биофизическом центре им. А.И. Бурназяна

Маткевич Е.И., Сивенков А.Г., Башков А.Н., Самойлов А.С.

Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна
Федерального медико-биологического агентства, Москва, Россия

Сопоставлены результаты оценки стандартных доз облучения пациентов при компьютерной томографии основных анатомических областей в Федеральном медицинском биофизическом центре им. А.И. Бурназяна при применении трёх статистических методов. Использованы данные по 4854 исследованиям за 2024 г. Для большинства анатомических областей стандартная доза, рассчитанная по методу 1 (пациенты из всей выборки, средняя масса тела 76–85 кг) была выше, чем по методу 2 (отобранные из всей выборки пациенты с массой 70 ± 5 кг), различия были статистически значимыми ($p < 0,001$). Сравнение стандартных доз, вычисленных по методу 1 и методу 3 (расчёт по модели линейной аппроксимации для всей выборки и установление по этой модели дозы для «стандартного» пациента массой тела 70 кг) показало, что они близки – при использовании обоих методов стандартная доза отражает сходный характер распределения массы тела пациентов. При сравнении между собой методов 2 и 3, использующих критерий «стандартного» пациента, установлено, что стандартные дозы, рассчитанные по методу 2, ниже, чем рассчитанные по методу 3 в 1,1 – 1,5 раза. За одно исследование для наиболее протяженных смежных областей они составили: органы грудной клетки, брюшной полости и забрюшинного пространства и таза без контраста – 6,3 мЗв (метод 2) и 9,34 мЗв (метод 3); органы брюшной полости и забрюшинного пространства с контрастом – 18,8 мЗв (метод 2) и 20,11 мЗв (метод 3). Заключение: Проанализированы результаты применения трёх статистических методов оценки стандартных доз облучения пациентов при компьютерной томографии. Корректность оценок и сопоставления стандартных доз в целях контроля за условиями облучения пациентов определяется единообразием методических подходов для принятия решения о необходимости оптимизации этих условий.

Ключевые слова: ионизирующие излучения, лучевая диагностика, компьютерная томография, стандартные дозы облучения, статистические методы оценки, малые выборки.

Введение

При медицинских обследованиях как населения, так и персонала предприятий, работающих с техногенными источниками ионизирующего излучения, в последние годы увеличивается количество лучевых методов диагностики, при этом большая их доля приходится на компьютерную томографию (КТ). Одним из направлений по снижению медицинского облучения является принцип оптимизации, кото-

рый осуществляется путем внедрения в практику референтных диагностических уровней (РДУ) [1–3]. В настоящее время действует ряд нормативно-методических документов^{1,2,3}, в которых приводятся рекомендации и/или методики по определению доз облучения пациента. Цель РДУ заключается в том, чтобы помочь избежать такой дозы облучения пациента, которая не способствует клинической цели медицинской задачи визуализации (избыточна) [4], то есть для контроля доз облучения пациентов РДУ – как индикатор си-

¹ МР 2.6.1.0296-22. Оптимизация радиационной защиты пациентов в лучевой диагностике посредством применения референтных диагностических уровней: 2.6.1. Радиационная гигиена. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. М.: Роспотребнадзор, 2022. 57 с. [MR 2.6.1.0296-22 Optimization of radiation protection of patients in radiodiagnosics by using reference diagnostic levels: 2.6.1. Radiation hygiene. Ionizing radiation, radiation safety. Moscow: Rosпотребнадзор, 2022. 57 p. (In Russ.)].

² МУ 2.6.1.2944-11. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований. Методические указания. М.: Роспотребнадзор, 2011. 32 с. (в ред. МУ 2.6.1.3584-19, М.: Роспотребнадзор, 2019) [MU 2.6.1.2944-11 Methodical guidelines Ionizing radiation, radiation safety. Control of effective doses of radiation to patients during medical X-ray examinations. Moscow: Rosпотребнадзор, 2011. 32 p. (as amended by MU 2.6.1.3584-19, Moscow: Rosпотребнадзор, 2019. 32 p.) (In Russ.)].

³ МУ 2.6.7.3652-20. Методы контроля в КТ-диагностике для оптимизации радиационной защиты. М.: Роспотребнадзор, 2020. 28 с. [MU 2.6.7.3652-20. Methodical guidelines. Control methods in CT diagnostics for optimization of radiation protection. Moscow: Rosпотребнадзор, 2020. 28 p. (In Russ.)].

Маткевич Елена Ивановна

Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна

Адрес для переписки: 123098, Россия, Москва, ул. Маршала Новикова, д.23; E-mail: ei.matkevich@yandex.ru

туаций аномально высокого облучения (переоблучения пациентов)⁴. Это достигается сравнением численного значения РДУ (региональных или национальных) и среднего или другого соответствующего значения, наблюдаемого на практике у подходящей референтной группы пациентов или подходящего референтного фантома [5–7].

Для расчета РДУ используют стандартные дозы (СД) облучения пациентов в медицинских учреждениях региона или страны. Для вычисления СД формируют референтную группу из пациентов с близкими физическими параметрами по массе и размерам тела, поскольку от них зависит доза облучения [3, 8–10]. Для сопоставимости данных рекомендуется ориентироваться на пациентов со стандартной массой тела. Однако, в то же время, как указано в МКРЗ 135 [3], РДУ должны определяться на основе данных, полученных в реальной клинической практике.

Как указывается в нормативном документе⁵, в медицинских организациях следует регулярно проводить анализ дозовых нагрузок при типичных КТ-исследованиях и сравнивать их с установленными РДУ. Это необходимо для внутреннего контроля качества и своевременной оптимизации протоколов исследований.

Однако при расчетах СД могут использоваться различные статистические методы, и эти методы могут обуславливать значительные различия при определении СД. Сравнительная оценка разных методов вычисления СД на одном и том же представителем контингенте пациентов до настоящего времени не проводилась, однако имеет важное практическое значение. Это определяет актуальность данного исследования.

Цель исследования – сравнить результаты применения различных методов статистической оценки стандартных доз облучения пациентов при компьютерной томографии основных анатомических областей в ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России.

Материалы и методы

Проведен анализ эффективных доз облучения пациентов, направляемых на КТ-диагностику в Центр лучевой диагностики из отделений многопрофильной клиники ФМБЦ им. А.И. Бурназяна в 2024 году. Для этого из архивной системы Центра лучевой диагностики ФГБУ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России выбраны и систематизированы дозы облучения пациентов при 4854 КТ-исследованиях, из них: без внутривенного контрастного усиления (КТ без КУ) (нативных) – 1932 и с внутривенным контрастным усилением (КТ с КУ) – 2922 по основным анатомическим областям.

Все исследования распределены согласно форме № 30, утвержденной приказом Росстата от 29 ноября 2024 г. № 594, по следующим анатомическим областям⁶: 1 – голова, 2 – шея, 3 – органы грудной клетки (ОГК), 4 – сердце и сосуды, 5 – органы брюшной полости (ОБП) и забрюшинного пространства (ЗБП), 6 – органы малого таза (ОМТ), 7 – позвоночник и спинной мозг, 8 – кости, суставы, мягкие ткани конечностей, 9 – органы грудной клетки, брюшной полости и забрюшинного пространства и таза. При этом под КТ-исследованием подразумевали полный цикл обследования органа (части тела) пациента, который может включать несколько КТ-сканирований⁷.

Общие сведения о пациентах, проходивших КТ-исследования в ФМБЦ им. А.И. Бурназяна в 2024 г, представлены в таблицах 1 и 2. По результатам оценки характера распределения этих показателей по критерию Колмогорова-Смирнова установлено, что они близки к нормальному. Для возраста и массы тела приведены средние арифметические значения и стандартные ошибки среднего арифметического значения ($M \pm m$).

Таблица 1

Общие сведения о пациентах, проходивших исследования на КТ-томографе Canon Aquilion One 320 в 2024 г.

[Table 1

General information about patients undergoing CT-examination on the Canon Aquilion One 320 CT-scanner in 2024]

Показатели [Indicators]	Значения показателей [Values of indicators]	
	КТ без КУ [non-contrast CT]*	КТ с КУ [contrast-enhanced CT]*
Возраст по всей выборке, $M \pm m$, лет [Age for the entire sample, $M \pm m$, years]	58,9 ± 0,21	

⁴ СанПиН 2.6.41.15-25 «Санитарно-эпидемиологические требования в области радиационной безопасности населения при обращении источников ионизирующего излучения», 2025. 144 с. [SanPiN 2.6.41.15-25 "Sanitary and epidemiological requirements in the field of radiation safety of the population when handling ionizing radiation sources", 2025. 144 p. (In Russ.)].

⁵ Методические рекомендации № 121. Применение референтных диагностических уровней для взрослых пациентов в лучевой диагностике. М.: ДЗМ, 2020. 35 с. [Methodological recommendations No. 121. Application of diagnostic reference levels to adult patients in diagnostic radiology. Moscow: DZM, 2020. 35 p. (In Russ.)].

⁶ Приказ Росстата от 29.11.2024 N 594 «Об утверждении формы федерального статистического наблюдения № 30 «Сведения о медицинской организации» и указаний по ее заполнению». М., 2024. 134 с. [Order of Rosstat dated 29.11.2024 N 594 «On approval of federal statistical observation form N 30 "Information about a medical organization" and instructions for filling it out". Moscow, 2024. 134 p. (In Russ.)].

⁷ Методические рекомендации по обеспечению радиационной безопасности. Заполнение форм федерального государственного статистического наблюдения N 3-ДОЗ от 16.02.2007 №0100/1659-07-26. М., 2007. 23 с. [Methodological recommendations for ensuring radiation safety. Filling out forms of federal state statistical observation No. 3-DOZ dated 16.02.2007 No. 0100/1659-07-26. Moscow, 2007. 23p. (In Russ.)].

Показатели [Indicators]	Значения показателей [Values of indicators]	
	КТ без КУ [non-contrast CT]*	КТ с КУ [contrast-enhanced CT]*
Возраст мужчин, М ± m, лет [Age of men, M ± m, years]	56,5 ± 0,38	60,9 ± 0,32
Возраст женщин, М ± m, лет [Age of women, M ± m, years]	57,9 ± 0,36	60,2 ± 0,25
Масса тела по всей выборке, М ± m, кг [Body weight for the entire sample, M ± m, kg]	78,0 ± 0,31	
Масса тела мужчин, М ± m, кг [Men's body weight, M ± m, kg]	86,9 ± 0,61	83,5 ± 0,4
Масса тела женщин, М ± m, кг [Body weight of women, M ± m, kg]	72,0 ± 0,35	72,5 ± 0,4

* М – среднее арифметическое значение; m – стандартная ошибка среднего арифметического значения [M is the arithmetic mean; m is the standard error of the arithmetic mean].

Таблица 2

Распределение по полу пациентов при исследованиях на КТ-томографе Canon Aquilion One 320 в 2024 г.

[Table 2]

Gender distribution of patients in CT-examination on the Canon Aquilion One 320 CT-scanner in 2024]

Анатомические области [Anatomical areas]	Количество КТ-исследований [Number of CT-scans]						Итого [Finally]
	КТ без контрастного усиления [non-contrast CT]			КТ с контрастным усилением [contrast-enhanced CT]			
	мужчин [men]	женщин [women]	всего [total]	мужчин [men]	женщин [women]	всего [total]	
1. Голова [Head]	266	297	563	44	45	89	652
2. Шея [Neck]	2	3	5	8	5	13	18
3. ОГК [Thorax]	299	292	591	27	35	62	653
4. Сердце и сосуды [Heart and blood vessels]	44	32	76	138	129	267	343
5. ОБП и ЗБП [Abdomen and retroperitoneal space]	159	121	280	183	248	431	711
6. ОМТ [Pelvis]	3	5	8	2	1	3	11
7. Позвоночник и спинной мозг [Spine and spinal cord]	62	82	144	1	0	1	145
8. Кости, суставы и мягкие ткани конечностей [Bones, joints and soft tissues of the extremities]	51	52	103	0	0	0	103
9. ОГК, ОБП, ЗБП и ОМТ [Thorax, abdomen and retroperito- neal space, and pelvic organs]	85	77	162	845	1211	2056	2218
Всего [Total]	971	961	1932	1248	1674	2922	4854

Как видно из таблицы 1, у мужчин и женщин средний возраст был сопоставим, а средняя масса тела у мужчин и женщин имела значительные различия – при КТ БК и КТ КУ, соответственно, у мужчин – 86,9 ± 0,61 кг и 83,5 ± 0,4 кг, у женщин – 72,0 ± 0,35 кг и 72,5 ± 0,4 кг. Количество пациентов в каждой группе в зависимости от пола не имело существенных отличий (табл. 2).

В соответствии с МУК 2.6.7.3652-20 для контроля доз облучения пациентов при проведении КТ-исследований определяли DLP, на основании значения DLP рассчитывалась индивидуальная эффективная доза (D_{eff} , мЗв), в соответствии с утвержденными методиками МУ 2.6.1.2944-11 по стандартной формуле:

$$D_{\text{eff}} = \sum_i DLP_i * e^{i}_{DLP}, \text{ мЗв},$$

где DLP_i – значение, регистрируемое с консоли КТ-томографа Canon Aquilion One 320, мГр·см;

e^{i}_{DLP} – дозовый коэффициент для i -ой анатомической области, мЗв/(мГр·см).

Согласно методическим рекомендациям МР 2.6.1.0296-22, стандартная доза (СД) при рентгенорадиологических исследованиях определяется как среднее значение дозовой характеристики в репрезентативной выборке пациентов, обследованных в типовом режиме с использованием типового протокола. Для компьютерной томографии дозовой характеристикой может выступать CTD_{vol} , DLP или оценка эффективной дозы, полученная расчётным путём. При этом указано, что формирование выборки должно отражать типичную клиническую практику, а не ограничиваться только пациентами со стандартной массой тела.

В проведенном исследовании выполнены расчеты и сопоставление стандартной эффективной дозы ($СД_{\text{эф}}$) пациентов при использовании трех статистических методов:

– метод 1 – по всей выборке из 4854 КТ-исследований пациентов с массой тела от 40 до 160 кг вычисляли медианы [25- и 75-% квартили] эффективной дозы облучения по основным анатомическим областям тела (Me [25th, 75th], мЗв);

– метод 2 – по выборке из 1203 отобранных «Стандартных» пациентов [11] с массой тела 70 ± 5 кг вычисляли медианы [25- и 75-% квартили] эффективной дозы облучения по основным анатомическим областям тела (Me [25th, 75th], мЗв)⁸;

– метод 3 – по выборке из 4234 КТ-исследований пациентов с массой тела от 40 до 160 кг для каждой из наиболее часто исследуемых в нашем лечебном учреждении областей (голова; ОГК; ОБП и ЗБП; ОГК, ОБП, ЗБП и ОМТ) методом линейной аппроксимации набора данных об индивидуальных эффективных дозах облучения пациентов с разной массой тела рассчитывали коэффициенты модели, затем для соответствующей анатомической области определяли

стандартные эффективные дозы облучения для «стандартного» пациента массой 70 кг, вычисления проводили по уравнению:

$$Y_n = a_n + b_n \cdot X,$$

где Y_n – стандартная эффективная доза облучения пациента массой тела 70 кг при КТ исследовании анатомической области n , мЗв;

a_n, b_n – коэффициенты уравнения регрессии, рассчитанные для основных анатомических областей;

X – масса тела «стандартного» пациента 70 кг.

Основная информация о КТ-томографе и параметрах протоколов сканирования представлена в таблице 3. Все анатомические области были отсканированы с использованием указанных параметров, коллимация и питч выставлялись в зависимости от области сканирования. Использовалась автоматическая настройка силы тока (мА) в рентгеновской трубке в зависимости от толщины и плотности тканей пациента.

Таблица 3

Характеристика КТ-томографа и параметры использованных протоколов

[Table 3]

Characteristics of the CT-scanner and parameters of the protocols used]

Параметры [Parameters]	КТ-томографе [CT-scanner] Canon Aquilion One 320
Количество рядов детекторов Number of detector rows]	320
Год установки [Year of installation]	2020
Питч [Pitch]	0,641 – 1,5
Время ротации трубки, с [Tube rotation time, s]	0,5
Напряжение, кВ [Voltage, kV]	120
Толщина среза, мм [Slice thickness, mm]	1
Сила тока на трубке, мАс [Amperage on the tube, mAs]	Automatic Exposure Control system (AEC) (SURE Exposure)

Этапы проведенного исследования включали:

– сбор данных о DLP и расчет индивидуальных эффективных доз облучения по каждому из всех КТ-исследований пациентов;

– формирование подвыборок по каждой анатомической области и в зависимости от использования КУ или без использования КУ;

– для каждой из сформированных подвыборок применение трех вышеописанных статистических методов для оценки СД.

⁸ МР 2.6.1.0066-12. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Применение референтных диагностических уровней для оптимизации радиационной защиты пациента в рентгенологических исследованиях общего назначения. Методические рекомендации (утв. Роспотребнадзором 23.07.2012). М., 2012. 12 с. [MR 2.6.1.0066-12. 2.6.1. Ionizing radiation, radiation safety. The use of reference diagnostic levels to optimize patient radiation protection in general-purpose X-ray examinations. Methodological recommendations (approved by Rosпотребнадзор on 07/23/2012). Moscow, 2012. 12 p. (In Russ.)].

При оценке стандартной эффективной дозы облучения ($СД_{eff}$) за одно КТ-исследование для каждой анатомической области для однофазных и многофазных КТ при использовании методов 1 и 2 вычисляли медиану ($Me[25th, 75th]$, мЗв), при использовании метода 3 рассчитывали стандартную эффективную дозу для «стандартного» пациента с массой тела 70 кг с использованием программного обеспечения STATISTICA. Формирование групп и статистическая обработка данных проводились с помощью электронных таблиц редактора Excel Microsoft Office 10.

Результаты

В таблице 4 сопоставлены стандартные дозы облучения ($Me [25th, 75th]$, мЗв), рассчитанные по методу 1 (по всей выборке – 4854 КТ-исследования) и по методу 2 (в группе пациентов с массой тела 70 ± 5 кг – 1203 КТ-исследования) за одно КТ-исследование по всем анатомическим областям на КТ-томографе Canon Aquilion One 320 в 2024 г.

Таблица 4

Стандартные дозы облучения пациентов ($Me [25th, 75th]$, мЗв) в группе по всей выборке (метод 1) и в группе пациентов с массой тела 70 ± 5 кг (метод 2) за одно КТ-исследование по анатомическим областям в 2024 г. (на КТ-томографе Canon Aquilion One 320)

[Table 4

Standard doses of radiation to patients ($Me [25th, 75th]$, mSv) in the group for the entire sample (method 1) and in the group of patients with body weight 70 ± 5 kg (method 2) for one CT-study by anatomical regions in 2024 (on a Canon Aquilion One 320 CT-scanner)]

Анатомические области [Anatomical areas]	Показатели [Indicators]*	КТ без контрастного усиления [non-contrast CT]		КТ с контрастным усилением [contrast-enhanced CT]	
		метод 1 [method 1]	метод 2 [method 2]	метод 1 [method 1]	метод 2 [method 2]
1. Голова [Head]	$СД_{eff}$	1,6 [1,4; 2,3]	1,5 [1,4; 2,0]	3,3 [2,5; 4,4]	3,85 [2,8; 4,4]
	$M \pm m$	79,2 \pm 1,47	70	77,5 \pm 1,78	70
	N	563	130	89	18
2. Шея [Neck]	$СД_{eff}$	1,95 [1,0; 4,0]	2,0	6,36 [4,7; 10,6]	10,6 [8,6; 10,6]
	$M \pm m$	85,0 \pm 9,14	70	75,0 \pm 4,64	70
	N	5	1	13	3
3. Органы грудной клетки [Thorax]	$СД_{eff}$	3,3 [2,2; 5,2]	2,0 [1,7; 3,3]	10,7 [6,9; 14,5]	8,8 [5,3; 11,4]
	$M \pm m$	76,6 \pm 0,8	70	79,8 \pm 3,09	70
	N	591	139	62	17
4. Сердце и сосуды [Heart and blood vessels]	$СД_{eff}$	4,0 [2,2; 5,0]	1,7 [1,1; 2,7]	8,0 [5,3; 12,7]	3,9 [3,1; 6,9]
	$M \pm m$	84,8 \pm 1,9	70	83,9 \pm 1,25	70
	N	76	17	267	65
5. Органы брюшной полости и забрюшинного пространства [Abdomen and retroperitoneal space]	$СД_{eff}$	7,8 [5,4; 12,8]	5,05 [4,3; 6,2]	21,7 [15,5; 32,0]	18,8 [15,0; 24,0]
	$M \pm m$	78,9 \pm 1,17	70	77,1 \pm 0,93	70
	N	280	58	431	103
7. Позвоночник и спинной мозг [Spine and spinal cord]	$СД_{eff}$	7,0 [4,1; 10,1]	5,3 [4,8; 7,2]	11,25	–
	$M \pm m$	78,4 \pm 1,4	70	60	–
	N	144	37	1	–
8. Кости, суставы и мягкие ткани конечностей [Bones, joints and soft tissues of the extremities]	$СД_{eff}$	2,2 [0,4; 4,3]	2,65 [1,0; 3,7]	–	–
	$M \pm m$	79,3 \pm 1,72	70	–	–
	N	103	24	–	–

Анатомические области [Anatomical areas]	Показатели [Indicators]*	КТ без контрастного усиления [non-contrast CT]		КТ с контрастным усилением [contrast-enhanced CT]	
		метод 1	метод 2	метод 1	метод 2
		[method 1]	[method 2]	[method 1]	[method 2]
9. Органы грудной клетки, брюшной полости и забрюшинного пространства и таза [Thorax, abdomen and retro-peritoneal space, and pelvis]	СД _{эфф}	10,3 [7,0; 16,7]	6,3 [5,7; 7,3]	23,0 [15,2; 28,6]	17,6 [12,9; 23,2]
	M ± m	77,8 ± 1,56	70	75,7 ± 0,34	70
	N	162	38	2065	551
Всего [Total]	N	1932	445	2922	758

* СД_{эфф} – стандартная эффективная доза облучения (Me [25th, 75th], мЗв, метод 1 – оценка по всей выборке пациентов (4854 КТ-исследований), метод 2 – оценка по выборке пациентов с массой тела 70 ± 5 кг (1203 КТ-исследований). M – среднее арифметическое значение массы тела пациентов; m – стандартная ошибка среднего арифметического значения, N – количество пациентов в группе. [SDeff – standard effective dose of radiation (Me [25th, 75th], mSv, method 1 – assessment for the entire sample of patients (4854 CT studies), method 2 – assessment for a sample of patients with body weight 70 ± 5 kg (1203 CT studies). M is the arithmetic mean of the patients' body weight; m is the standard error of the arithmetic mean, N – is the number of patients in the group].

Для большинства анатомических областей (ОГК, ОБП, смежные области) стандартная доза, рассчитанная по методу 1 (пациенты из всей выборки, средняя масса тела от 75 до 85 кг), была выше, чем по методу 2 (отобранные из всей выборки пациенты с массой 70 ± 5 кг); различия между медианами стандартной дозы были статистически значимыми (p < 0,001). Это может быть связано с тем, что в общей выборке средняя масса тела пациентов в 1,1 – 1,2 раза превышала стандартную. Для СД головы различия оказались на границе статистической значимости (p = 0,045). Для областей Шея и Кости, суставы и мягкие ткани конечностей зависимости дозы облучения от массы тела пациента не выявлено.

С использованием статистического метода 3 были выполнены расчеты стандартных доз облучения пациентов, которым выполнялись КТ-исследования в 1, 3, 5 и 9 анатомических областях. Полученные модели линейной аппроксимации зависимости дозы облучения от массы тела пациентов для этих анатомических областей при КТ без КУ и КТ с КУ представлены на рисунке 1.

В таблице 5 представлены результаты, полученные при использовании трёх методов статистической оценки СД облучения пациентов за одно КТ-исследование по основным анатомическим областям. Как видно, при использовании метода 1 и метода 3 значения СД близки. Это обусловлено численным преобладанием в этих группах пациентов с массой тела выше 70 кг по сравнению с группой, в которой проводили оценку по методу 2. Как показано на рисунке 2, в общей выборке (метод 1) преобладали пациенты с массой тела от 75 до 85 кг. В связи с этим, медиана доз облучения, рассчитанная по методу 1, приближается к значениям, рассчитанным по методу 3 (по модели линейной аппроксимации).

Следует отметить, что при сравнении статистических методов 2 и 3, при которых, в отличие от метода 1, для оценки СД используется критерий «стандартного» пациента, установлено, что результаты оценок по методу 2 (с отбором пациентов с массой тела 70 ± 5 кг)

в 1,1–1,5 раза ниже, чем по методу 3 (с расчётом по модели линейной аппроксимации для пациента массой тела 70 кг). Так, значения СД при использовании методов 2 и 3 для наиболее протяженных смежных областей составили: при КТ без КУ для области 9 (ОГК, ОБП, ОМТ и таза) – 6,3 мЗв (метод 2) и 9,34 мЗв (метод 3), при КТ с КУ для области 5 (ОБП и ЗБП) – 18,8 мЗв (метод 2) и 20,11 мЗв (метод 3).

В связи с этим, при сравнениях СД в разных выборках пациентов целесообразно использовать один и тот же статистический метод: по отобранным пациентам с массой тела 70 ± 5 кг, если имеется не менее 20 пациентов с массой тела 70 ± 5 кг (метод 2), в противном случае – по всей выборке из не менее 50 пациентов (метод 1). Оценка СД с использованием линейной аппроксимации зависимости дозы от массы тела (метод 3) была выполнена, но из новых методических рекомендаций этот метод исключен.

При анализе данных таблицы 5, касающихся КТ с контрастным усилением, следует обратить внимание на следующий момент. В повседневной практике при первичных КТ используют 3–4 фазы, а при повторных сканированиях в целях снижения лучевой нагрузки на пациента иногда используют 2–3 фазы. В связи с этим, даже при более протяженной анатомической области сканирования 9 (органы грудной клетки, брюшной полости и забрюшинного пространства и таза) при среднем количестве фаз 2,8 доза облучения была несколько меньше (17,6 – 18,24 мЗв), чем при КТ менее протяженной анатомической области 5 (органы брюшной полости и забрюшинного пространства) (18,8 – 20,11 мЗв), так как для области 5 среднее количество фаз сканирования составляло 3,7. Это подтверждает положение о том, что оценку доз при КТ с контрастированием важно проводить за одну фазу, так как это позволяет устранить влияние варибельности протоколов. Однако, к сожалению, в нашем лечебном учреждении до настоящего времени для КТ с КУ сохранялся дозовый отчет только за полное исследование.

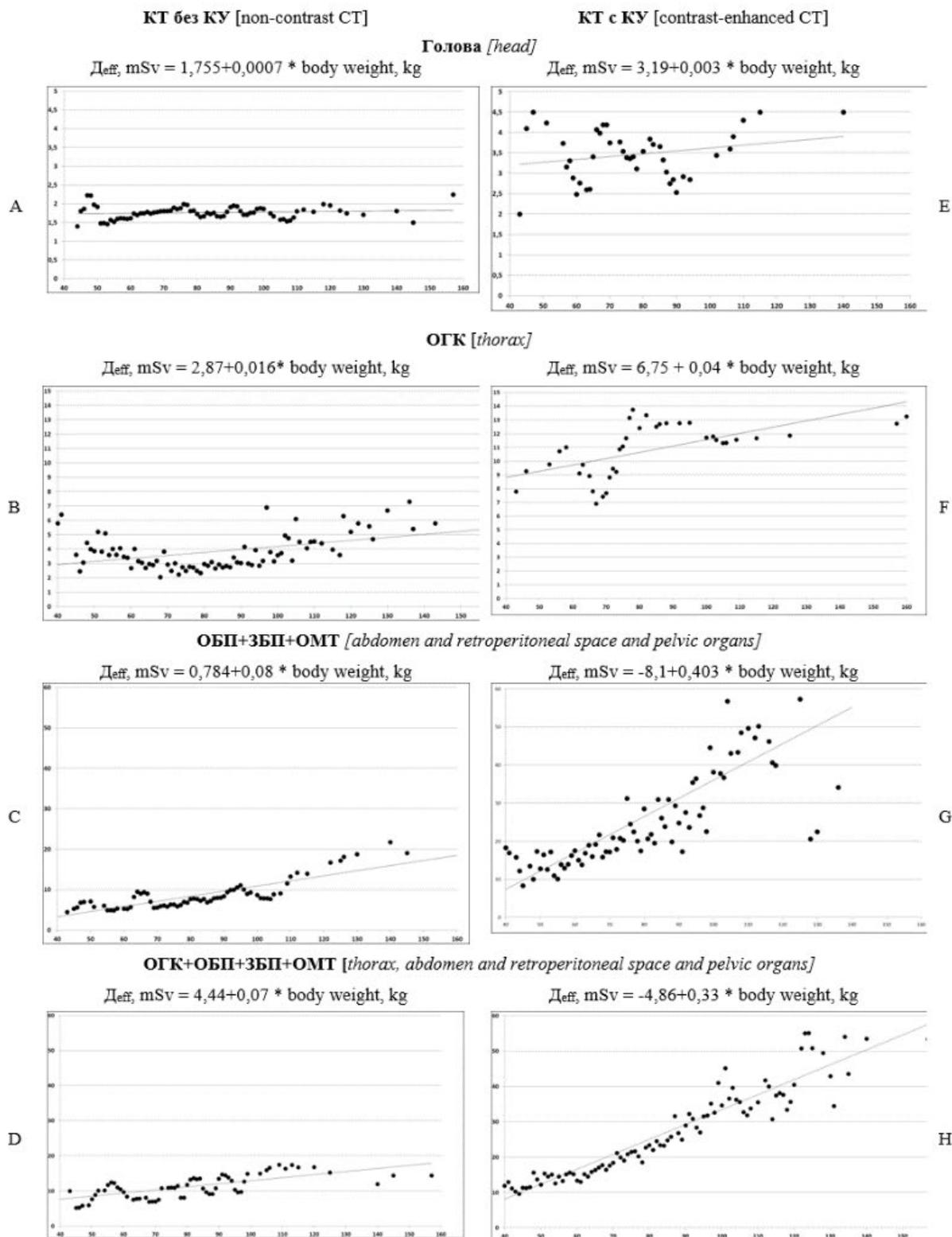


Рис. 1. Модели линейной аппроксимации для зависимости эффективной дозы облучения (D_{eff} , mSv) от массы тела пациента при КТ без КУ (А,В,С,Д) и при КТ с КУ (Е,Ф,Г,Н) в 2024 г.; по оси абсцисс – масса тела пациента (кг); по оси ординат – эффективная доза (мЗв) за одно КТ-исследование

[Fig. 1. Linear approximation models for the dependence of the effective radiation dose (D_{eff} , mSv) on the patient's body weight for CT without CE (A, B, C, D) and for CT with CE (E, F, G, H) in 2024; the abscissa axis is the patient's body weight (kg); ordinate axis is effective dose (mSv) for one CT-examination]

Таблица 5

Сравнение методов оценки стандартной дозы облучения пациентов за одно КТ-исследование по анатомическим областям на КТ-томографе Canon Aquilion One 320

[Table 5]

Comparison of methods for assessing the effective dose of radiation to patients in a single CT-scan of anatomical areas on the Canon Aquilion One 320 CT-scanner]

Анатомические области [Anatomical areas]	Показатели [Indicators]*	КТ без контрастного усиления [non-contrast CT]			Среднее количество фаз сканирования	КТ с контрастным усилением [contrast-enhanced CT]		
		Метод 1 (Медиана по всей выборке)** [Method 1 (Median for the entire sample)**]	Метод 2 (Медиана по выборке 70 ± 5 кг)*** [Method 2 (Median of the sample 70 ± 5 kg)***]	Метод 3 (по всей выборке по модели аппроксимации для 70 кг)**** [Method 3 (for the entire approximation model sample for 70 kg)****]		Метод 1 (Медиана по всей выборке)** [Method 1 (Median for the entire sample)**]	Метод 2 (Медиана по выборке 70 ± 5 кг)*** [Method 2 (Median of the sample 70 ± 5 kg)***]	Метод 3 (по всей выборке для 70 кг)**** по модели аппроксимации [Method 3 (for the entire approximation model sample for 70 kg)****]
1. Голова [Head]	СД _{эфф}	1,6 [1,4; 2,3]	1,5 [1,4; 2,0]	1,81	2,1	3,3 [2,5; 4,4]	3,85 [2,8; 4,4]	3,4
	M ± m	79,2 ± 1,47	70	79,2 ± 1,47		77,5 ± 1,78	70	77,5 ± 1,78
	N	563	130	563		89	18	89
3. Органы грудной клетки [Thorax]	СД _{эфф}	3,3 [2,2; 5,2]	2,0 [1,7; 3,3]	3,99	2,3	10,7 [6,9; 14,5]	8,8 [5,3; 11,4]	9,55
	M ± m	76,6 ± 0,8	70	76,6 ± 0,8		79,8 ± 3,09	70	79,8 ± 3,09
	N	591	139	591		62	17	62
5. Органы брюшной полости и забрюшинного пространства [Abdomen and retroperitoneal space]	СД _{эфф}	7,8 [5,4; 12,8]	5,05 [4,3; 6,2]	6,38	3,7	21,7 [15,5; 32,0]	18,8 [15,0; 24,0]	20,11
	M ± m	78,9 ± 1,17	70	78,9 ± 1,17		77,1 ± 0,93	70	77,1 ± 0,93
	N	280	58	280		431	103	431
9. Органы грудной клетки, брюшной полости и забрюшинного пространства и таза [Thorax, abdomen and retroperitoneal space, and pelvis]	СД _{эфф}	10,3 [7,0; 16,7]	6,3 [5,7; 7,3]	9,34	2,8	23,0 [15,2; 28,6]	17,6 [12,9; 23,2]	18,24
	M ± m	77,8 ± 1,56	70	77,8 ± 1,56		75,7 ± 0,34	70	75,7 ± 0,34
	N	162	38	162		2056	551	2056

* M – среднее арифметическое значение массы тела пациентов; m – стандартная ошибка среднего арифметического значения [M is the arithmetic mean of the patients' body weight; m is the standard error of the arithmetic mean]; N – количество пациентов в группе [N – is the number of patients in the group].

** метод 1 – оценка стандартной эффективной дозы облучения пациентов Me [25th, 75th], мЗв, по всей выборке пациентов для данной анатомической области; [* – method 1 – estimation of the standard effective radiation dose of patients Me [25th, 75th], mSv, for the entire patient sample for a given anatomical area].

***метод 2 – оценка стандартной эффективной дозы облучения пациентов Me [25th, 75th] (мЗв) по выборке пациентов массой 70 ± 5 кг для данной анатомической области; [method 2 – estimation of the standard effective radiation dose in patients with Me [25th, 75th], mSv, from a sample of patients weighing 70 ± 5 kg for a given anatomical area].

**** метод 3 – оценка стандартной эффективной дозы облучения пациентов, мЗв по всей выборке пациентов данной анатомической области, вычисленной по модели аппроксимации $CD_{эфф} = a + bX$, где $CD_{эфф}$ – стандартная эффективная доза, мЗв, рассчитанная методом аппроксимации для пациента массой 70 кг; [method 3 – assessment of the standard effective radiation dose of patients, mSv, for the entire sample of patients in this anatomical area, calculated using the approximation model $CD_{эфф} = a + bX$, where $CD_{эфф}$ is the standard effective dose, mSv, calculated by interpolation for a patient weighing 70 kg].

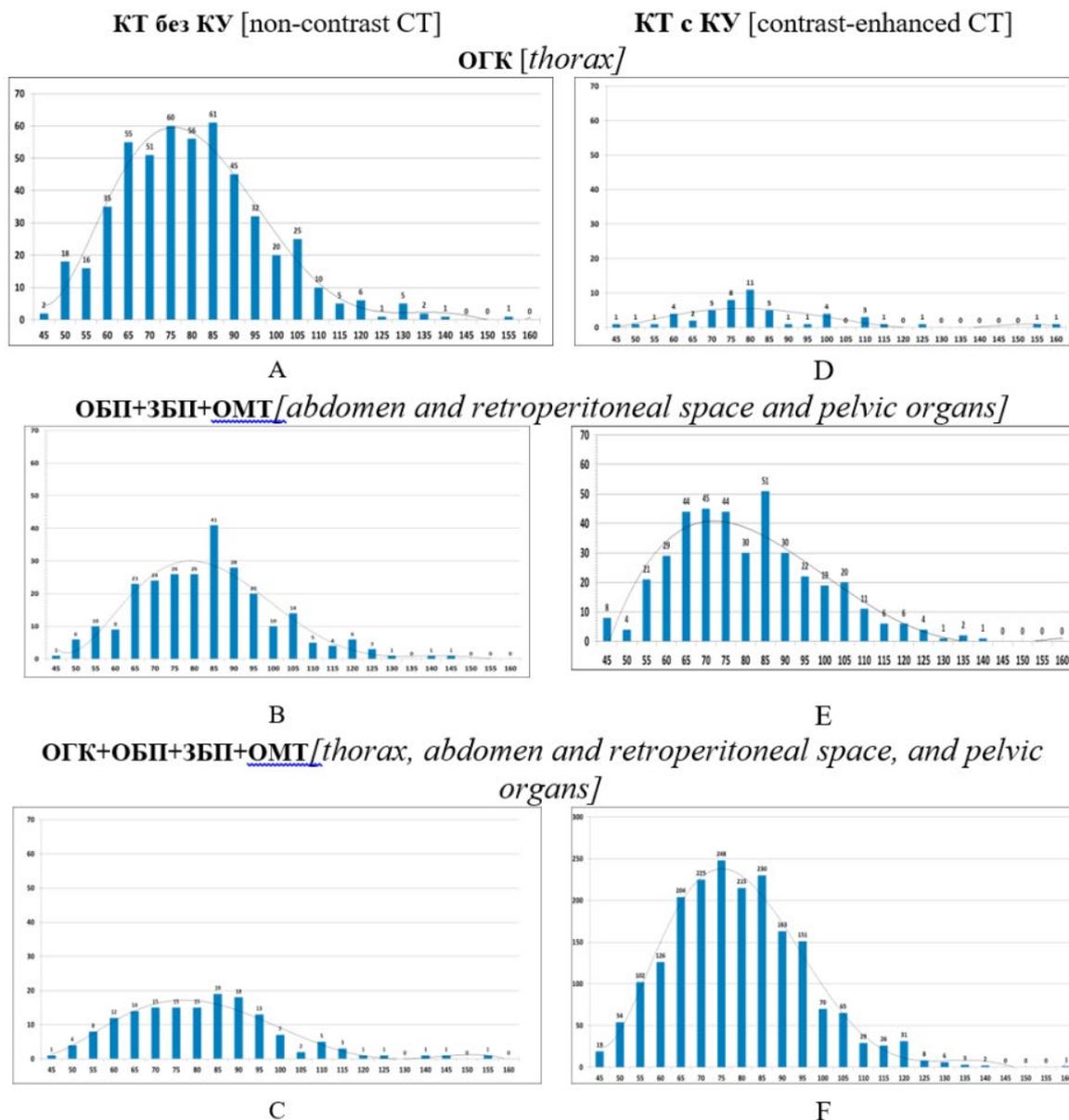


Рис. 2. Распределение пациентов с разной массой тела и линия тренда этого распределения в общей выборке пациентов при КТ без КУ (А,В,С) и КТ с КУ (Д,Е,Ф) на КТ-томографе Canon Aquilion One 320 в 2024 г.

По оси абсцисс – масса тела пациентов (кг); по оси ординат – количество пациентов

[Fig. 2. Distribution of patients with different body weights and the trend line of this distribution in the general sample of patients in CT without CE (A,B,C) and CT with CE (D,E,F) on the Canon Aquilion One 320 CT-scanner in 2024.

On the abscissa axis is the patients' body weight (kg); on the ordinate axis is the number of patients.]

Обсуждение

Известно, что дозовые параметры облучения пациентов при КТ одной и той же области подвержены большой вариативности, это затрудняет их корректное сопоставление. Так, в обзорном исследовании [12] была отмечена двух-трёх-кратная разница в значениях DRLs между исследованиями для одной и той же процедуры.

В связи с этим, в качестве критерия оценки дозы облучения пациентов в разных медицинских организациях широко используется стандартная доза. Однако при её расчетах могут применяться разные статистические методы. Так, в ICRP Publication 135 «Diagnostic Reference Levels in Medical Imaging» [3] указано, что DRLs должны

быть стандартизованы, т.е. приведены, насколько это возможно, для «пациента стандартного размера» для каждого рассматриваемого типа КТ-исследования в типичном режиме работы данного рентгеновского аппарата с типичным протоколом её выполнения».

В соответствии с новыми Методическими рекомендациями МР 2.6.1.0296-22 при расчете СД для рентгенорадиологического исследования и/или процедуры оценивается среднее значение выбранной дозовой характеристики для выборки пациентов при проведении рентгенорадиологического исследования и/или процедуры в типовом режиме работы аппарата для рентгеновской диагностики с типовым протоколом его выполнения. При этом для определения СД пациентов для каждого рентгенорадиологического исследования сбор данных

проводится по 20 «стандартным» пациентам по каждой возрастной группе. При отсутствии сведений об антропометрических параметрах пациентов в анкеты заносят параметры проведения исследований для 50 пациентов без учета их массы тела и роста. При этом указано, что при оценке СД приоритетным параметром является масса тела пациента.

Рассмотренные нами статистические методы 1 и 2 соответствуют рекомендованным, однако в наших выборках не учитывались рост и размеры торса, так как в реальной клинической практике это трудно выполнимо в связи с тем, что эти параметры не заносятся в информационную базу отделений лучевой диагностики.

Следует отметить, что в части ситуаций для расчета СД достаточно методов 1 и 2. Однако, если строго руководствоваться МР 2.6.1.0296-22, то в одних ситуациях для расчета СД при КТ применим метод 1 (когда количество КТ-исследований по каждой анализируемой анатомической области 50 и более), в других ситуациях применим метод 2 (когда есть возможность для КТ анализируемой анатомической области отобрать «стандартных» пациентов с массой тела $70 \text{ кг} \pm 10\%$ (64–78 кг). Но остается непонятным: как считать СД в часто встречаемых, особенно в небольших ЛПУ, ситуациях, когда по каждой анализируемой анатомической области количество КТ-исследований менее 50, а количество КТ-исследований пациентов с массой тела $70 \text{ кг} \pm 10\%$ (64–78 кг) менее 20? В этом случае, по нашему мнению, было бы возможно применять метод 3, приведенный в предшествующей версии методических рекомендаций МР 2.6.1.0066-12.

Вычисление СД с использованием в качестве статистического критерия метода линейной аппроксимации (метод 3) выполнено по аналогии с другим исследованием [8], а также с методикой, изложенной в предшествующей версии Методических рекомендаций МР 2.6.1.0066-12. Как установлено в данном исследовании, результаты оценки СД по методу 3 близки к медианным значениям СД по общей выборке (метод 1), поэтому метод 3, по нашему мнению, при больших выборках (более 50 пациентов) может дублировать метод 1, так как чем больше в выборке пациентов с массой тела выше 70 кг, тем СД больше приближается к средней дозе по этой выборке.

В нашем исследовании мы рассмотрели результаты применения метода 3, учитывая следующие моменты:

1) нередко при малочисленности групп пациентов нет возможности отобрать 20 и более пациентов с массой тела $70 \text{ кг} \pm 10\%$ (64–78 кг), тем более в настоящее время при современной тенденции у населения страны к увеличению средней массы тела до 75–85 кг; поэтому использование метода 3 (основанного на разработке моделей линейной аппроксимации дозы для каждой анатомической области) позволяет получить оценку СД приближающуюся к «стандартному» пациенту с массой тела $70 \text{ кг} \pm 10\%$ (64–78 кг), с опорой на выборки менее 50 КТ-исследований для каждой анатомической области;

2) при невозможности отобрать 20 и более пациентов с массой тела $70 \text{ кг} \pm 10\%$ (64–78 кг), в общей группе с числом пациентов менее 50 метод 3 позволяет сопоставлять результаты оценки СД с аналогичными литературными данными и с рекомендациями МКРЗ, в которых часто приводится эффективная доза облучения для «стандартного» пациента массой $70 \pm 3 \text{ кг}$.

Следует уточнить, что при малых выборках КТ-исследований при расчетах СД будут увеличиваться неопределенности (погрешности) в расчетах СД при всех трёх использованных статистических методах. В связи с этим, представляется необходимым проведение дополнительных исследований по сопоставлению результатов статистической оценки СД с использованием методов 1, 2 и 3 применительно к малым выборкам, учитывая увеличение погрешности оценок при уменьшении количества КТ-исследований в выборке.

Оценка РДУ по Москве была проведена в работе [13], но в ней отражены только дозы при рентгенографических исследованиях. В исследовании [14] обобщен опыт формирования региональных РДУ для КТ-исследований преимущественно в шести регионах России (города Москва, Санкт-Петербург, Дмитровград, Озерск, а также области Белгородская и Ленинградская). По этим данным значения РДУ в величинах DLP и эффективной дозы для однофазных КТ-исследований или одной фазы многофазных КТ-исследований составили: голова – 1200 мГр-см (2 мЗв), органы грудной клетки – 500 мГр-см (6 мЗв), органы брюшной полости – 800 мГр-см (11 мЗв), органы малого таза – 900 мГр-см (13 мЗв). Вычисленные в нашем исследовании по статистическим методам 1, 2 и 3 СД при КТ-исследованиях основных анатомических зон для КТ-томографа Canon Aquilion One 320 ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ниже этих значений и значений по МУК 2.6.7.3652-20 для головы в 1,1-1,3 раза, для ОГК в 1,5-3 раза, для ОБП в 1,4-2,2 раза.

Установленные в нашем исследовании стандартные эффективные дозы облучения пациентов при КТ разных областей тела близки к европейским стандартам [15] и могут быть использованы в последующем для расчета РДУ при КТ-исследованиях в медицинских учреждениях ФМБА России.

Заключение

Важность корректного вычисления СД в медицинских организациях определяется растущим уровнем применения ионизирующего излучения в медицинской диагностике, а также неприменением принципа нормирования в медицинском облучении пациентов. Значения СД используются для установления РДУ, которые являются не нормативом, а референтным значением при внутреннем (в рентгеновском отделении центра лучевой диагностики) контроле качества проведения этих процедур.

В настоящем исследовании представлены и проанализированы три метода оценки СД при КТ-исследованиях без КУ и с КУ. Результаты свидетельствуют о том, что корректность оценки и сопоставления таких СД зависит от единообразия методических подходов к их расчетам. При использовании одного и того же статистического метода такая оценка будет в полной мере соответствовать задачам контроля за условиями облучения пациентов и при необходимости оптимизации этих условий.

В связи с этим, в практическом аспекте при проведении внутреннего контроля доз в медицинской организации врачам-рентгенологам при оценке СД наиболее оптимально использовать статистические методы расчетов по выборке из не менее 20 пациентов со стандартной массой тела, как указано в МР 2.6.1.0296-22. Расчеты СД

в разные годы или на разных КТ-томографах следует проводить по одному и тому же статистическому методу. Эти положения применяются в отделении лучевой диагностики ФМБЦ им. А.И. Бурназяна при регулярной оценке СД и сопоставлении их с РДУ для всех исследуемых анатомических областей в целях постоянного контроля за дозами облучения пациентов.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Маткевич Е.И. – разработка дизайна исследования, определение цели и задач, оформление таблиц и иллюстраций, подготовка промежуточного и окончательного варианта рукописи.

Сивенков А.Г. – статистическая обработка результатов, подготовка иллюстраций.

Башков А.Н. – редакция промежуточного варианта рукописи.

Самойлов А.С. – определение направления исследований, редакция окончательного варианта рукописи.

Благодарности

Авторы благодарят профессора А.Ю. Бушманова за методическую помощь при проведении исследования, рецензентов – за подробный анализ материалов рукописи и высокопрофессиональные рекомендации по её доработке.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об источнике финансирования

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Литература

- Водоватов А.В. Практическая реализация концепции референтных диагностических уровней для оптимизации защиты пациентов при проведении стандартных рентгенографических исследований // Радиационная гигиена. 2017. Т. 10, № 1. С. 47-55.
- Стадник Л.Л., Шалепа О.Ю., Носик О.В. Оценка доз пациентов в рентгенографии и их оптимизация путем установления национальных диагностических рекомендованных уровней // Радиационная гигиена. 2014. Т. 7, № 4. С. 84-88.
- Vañó E., Miller D.L., Martin C.J. et al. ICRP Publication 135: Diagnostic Reference Levels in Medical Imaging. SAGE Journals. 2017; 46(1). 144 p. DOI: 10.1177/0146645317717209.
- Публикация МКРЗ 105. Радиационная защита в медицине. Ред. русского перевода М.И. Балонов. СПб: ФБУН НИИРГ, 2011. 66 с.
- Дружинина Ю.В., Лантух З.А., Водоватов А.В. и др. Разработка и применение референтных диагностических уровней для взрослых пациентов в лучевой диагностике // Медицинская физика. 2022. Т. 93, № 1. С. 81-96. DOI: 10.52775/1810-200X-2022-93-1-81-96.
- Балонов М.И., Голиков В.Ю., Водоватов А.В. и др. Научные основы радиационной защиты в современной медицине. Том 1. Лучевая диагностика: Монография, пособия. Под ред. проф. М.И. Балонова. СПб.: НИИРГ им. проф. П.В. Рамзаева, 2019. Т.1. 320 с.
- Акопова Н.А., Иванов С.И., Охрименко С.Е. Оптимизация доз облучения пациентов при проведении рентгенодиагностических исследований // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2016. Т. 61, № 4. С. 48-51.
- Маткевич Е.И., Сеницын В.Е., Иванов И.В. Обоснование нового подхода к критериям оценки дозы облучения пациентов при компьютерной томографии // Digital Diagnostics. 2022. Т. 3, № 4. С. 344-361. DOI: 10.17816/DD110857.
- 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 // European Radiology. 2019. Vol. 29, No 12. P. 6794-6804. DOI: 10.1007/s00330-019-06257-x.
- Li X., Steigerwalt D., Rehani M. T-shirt size as a classification for body habitus in computed tomography (CT) and development of sizebased dose reference levels for different indications // European Journal of Radiology. 2022. Vol. 151, No 3. P. 110289. DOI: 10.1016/j.ejrad.2022.110289.
- ICRP Publication 89. Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection: reference values. A report of age- and gender-related differences in the anatomical and physiological characteristics of reference individuals // Annals of the ICRP. 2002. Vol. 32, No (3-4). P. 5-265. PMID: 14506981.
- Garba I., Zarb F., McEntee M.F., Fabri S.G. Computed tomography diagnostic reference levels for adult brain, chest and abdominal examinations: A systematic review // Radiography. 2021. Vol. 27, No 2. P. 673-681. DOI: 10.1016/j.radi.2020.08.011.
- Дружинина Ю.В., Лантух З.А., Толкачев К.В. и др. Референтные диагностические уровни при проведении рентгенографических исследований в г. Москве // Радиационная гигиена. 2024. Т. 17, № 3. С. 103-113. DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-3-103-113.
- Дружинина П.С., Чипига Л.А., Водоватов А.В., Романович И.К. Перспективы установления референтных диагностических уровней для КТ в Российской Федерации. Сборник докладов и тезисов науч.-практ. конф. «Современные проблемы эпидемиологии, микробиологии и гигиены». Ростов-на-Дону, 21-22 октября 2020 года. Ростов н/Д., 2020. С. 158-160.
- Bongartz G., Golding S.J., Jurik A.G. et al. European guidelines on quality criteria for computed tomography. Report EUR 16262. Belgium: European Commission. 2004. 114 p.

Поступила: 11.04.2025

Маткевич Елена Ивановна – кандидат медицинских наук, врач-рентгенолог, заведующая отделением МРТ-диагностики Центра лучевой диагностики Федерального медицинского биофизического центра им. А.И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства. **Адрес для переписки:** 123098, Россия, Москва, ул. Маршала Новикова, д. 23; E-mail: ei.matkevich@yandex.ru

ORCID: 0000-0001-7729-2724

Сивенков Александр Геннадиевич – инженер лаборатории № 25 (лаборатория радиационно-гигиенических исследований) отдела ионизирующих и неионизирующих излучений Центра специальных исследований Федерального медицинского биофизического центра им. А.И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства, Москва, Россия

ORCID: 0000-0001-7980-7680

Башков Андрей Николаевич – кандидат медицинских наук, врач-рентгенолог, заведующий Центром лучевой диагностики Федерального медицинского биофизического центра им. А.И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства, Москва, Россия

ORCID: 0000-0002-4560-6415

Самойлов Александр Сергеевич – доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент Российской академии наук, генеральный директор Федерального медицинского биофизического центра им. А.И. Бурназяна Федерального медико-биологического агентства, Москва, Россия

ORCID: 0000-0002-9241-7238

Для цитирования: Маткевич Е.И., Сивенков А.Г., Башков А.Н., Самойлов А.С. Анализ методов статистической оценки стандартных доз облучения пациентов при компьютерной томографии в Федеральном медицинском биофизическом центре им. А.И. Бурназяна // Радиационная гигиена. 2025. Т. 18, № 2. С. 16–28. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-2-16-28

Analysis of statistical methods for estimating standard radiation doses for patients undergoing computed tomography at the A.I. Burnazyan Federal Medical Biophysical Center

Elena I. Matkevich, Alexander G. Sivenkov, Andrey N. Bashkov, Alexander S. Samoylov

State Research Center – Burnazyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

This study compares standard radiation dose estimates for patients undergoing computed tomography (CT) of major anatomical regions at the A.I. Burnazyan Federal Medical Biophysical Center using three different statistical approaches. A total of 4,854 CT examinations performed in 2024 were analyzed. For most anatomical regions, the standard dose calculated using Method 1 (entire patient cohort with an average body weight of 76–85 kg) was significantly higher than that obtained using Method 2 (patients selected with a body weight of 70 ± 5 kg), with statistically significant differences ($p < 0.001$). Comparison of doses calculated by Method 1 and Method 3 (linear regression modeling based on the entire cohort to estimate the dose for a "standard" 70 kg patient) revealed similar values, reflecting the influence of the overall weight distribution on the final dose estimates. When comparing Method 2 and Method 3—both applied to estimate the dose for a "standard" patient—it was found that Method 2 yielded lower values, with differences ranging from 1.1 to 1.5 folds. For example, for the most extensive combined anatomical regions, the effective dose per a non-contrast study was 6.3 mSv (Method 2) and 9.34 mSv (Method 3), and for the contrast-enhanced CT of the abdominal and retroperitoneal organs, 18.8 mSv (Method 2) and 20.11 mSv (Method 3). Conclusion: The application of three statistical methods for assessing standard effective radiation doses in CT was analyzed. The accuracy and comparability of standard dose estimates for the purpose of exposure control depend on the consistency of methodological approaches used to determine the need for dose optimization.

Key words: ionizing radiation, radiation diagnostics, computed tomography, radiation doses, standard radiation doses, statistical methods of assessment, small samples.

Authors' personal contribution

Elena I. Matkevich development of the study design, defined the goals and objectives, design of tables and illustrations, preparation of the intermediate and final version of the manuscript.

Alexander G. Sivenkov conducted statistical processing and prepared illustrations.

Andrey N. Bashkov prepared draft of the manuscript.

Alexander S. Samoylov – determination of the direction of the research, editing of the final version of the manuscript.

Acknowledgments

The authors thank Professor A.Yu. Bushmanov for methodological support during the study, and the reviewers for their detailed analysis of the manuscript and their highly professional recommendations for its improvement.

Conflict of interests

Authors declare the absence of conflict of interest.

Sources of funding

The study was not supported by sponsorship.

Elena I. Matkevich

Burnazyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency

Address for correspondence: Marshal Novikov Str., 23, Moscow, 123098, Russia; E-mail: ei.matkevich@yandex.ru

References

- Vodovатов AV. Practical implementation of the concept of diagnostic reference levels to optimize patient protection during standard radiographic examinations. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2017;10(1): 47-55. (In Russian).
- Stadnik LL, Shalepa OYu, Nosik OV. Assessment of patient doses in radiography and their optimization by establishing determining national diagnostic reference levels. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2014;7(4): 84-88. (In Russian).
- Vañó E, Miller DL, Martin CJ, Rehani MM, Kang K, Rosenstein M, et al. ICRP Publication 135: Diagnostic Reference Levels in Medical Imaging. *SAGE Journals*. 2017;46(1): 144. DOI: 10.1177/0146645317717209.
- ICRP Publication 105. Radiation Protection in Medicine. Ed. Russian translation by MI Balonov. St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene named after Prof. PV Ramzaev; 2011. 66 p. (In Russian).
- Druzhinina YuV, Lantukh ZA, Vodovатов AV, Morozov SP, Ryzhov SA, Sokolov EN, et al. Development and Application of Diagnostic Reference Levels for Adult Patients in Diagnostic Radiology. *Meditsinskaya Fizika = Medical Physics*. 2022;93(1): 81-96. DOI: 10.52775/1810-200X-2022-93-1-81-96. (In Russian).
- Balonov MI, Golikov VYu, Vodovатов AV, Chipiga LA, Zvonova IA, Kalnitsky SA, et al. Scientific foundations of radiation protection in modern medicine. Vol.1. Diagnostic radiology: Monograph, manuals. Ed. by Prof. MI Balonov. St. Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene named after Prof. PV Ramzaev; 2019. 320 p. (In Russian).
- Akopova NA, Ivanov SI, Okhrimenko SE. Optimization of radiation doses to patients during X-ray diagnostic examinations. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost = Medical radiology and radiation safety*. 2016;61(4): 48-51. (In Russian).
- Matkevich EI, Sinityn VE, Ivanov IV. Substantiation of a new approach to the criteria for assessing the radiation dose of patients during computed tomography. *Digital Diagnostics*. 2022;3(4): 344–361. DOI: 10.17816/DD110857.
- Brat H, Zanca F, Montandon S, Racine D, Rizk B, Meicher E, 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. *European Radiology*. 2019;29(12): 6794–6804. DOI: 10.1007/s00330-019-06257-x.
- Li X, Steigerwalt D, Rehani M. T-shirt size as a classification for body habitus in computed tomography (CT) and development of sizebased dose reference levels for different indications. *European Journal of Radiology*. 2022;151(3): 110289. DOI: 10.1016/j.ejrad.2022.110289.
- ICRP Publication 89. Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection: reference values. A report of age- and gender-related differences in the anatomical and physiological characteristics of reference individuals. *Annals of the ICRP*. 2002;32(3-4): 5-265. PMID: 14506981.
- Garba I, Zarb F, McEntee MF, Fabri SG. Computed tomography diagnostic reference levels for adult brain, chest and abdominal examinations: A systematic review. *Radiography*. 2021;27(2): 673–681. DOI: 10.1016/j.radi.2020.08.011/.
- Druzhinina YuV, Lantukh ZA, Tolkachev KV, Soldatov IV, Shatenok MP, Vodovатов AV, et al. Diagnostic reference levels of the city of Moscow during X-ray examinations. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2024;17(3): 103-113. DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-3-103-113. (In Russian).
- Druzhinina PS, Chipiga LA, Vodovатов AV, Romanovich IK. Prospects for establishing reference diagnostic levels for CT in the Russian Federation. Collection of reports and abstracts of the scientific and practical. conf. "Modern problems of epidemiology, microbiology and hygiene", Rostov-on-Don, October 21-22, 2020. Rostov-on-Don; 2020. P. 158-160. (In Russian).
- Bongartz G, Golding SJ, Jurik AG, Leonardi M, Meerten EVP, Geleijns J, et al. European guidelines on quality criteria for computed tomography. Report EUR 16262. Belgium: European Commission; 2004. 114 p.

Received: April 11, 2025

For correspondence: Elena I. Matkevich – Candidate of Medical Sciences, Radiologist, Head of the Department of MRI Diagnostics of the Radiology Center based on State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency (Marshal Novikov Str., 23, Moscow, 123098, Russia; E-mail: ei.matkevich@yandex.ru)

ORCID: 0000-0001-7729-2724

Alexander G. Sivenkov – Engineer of Laboratory No. 25 (Laboratory of Radiation and Hygienic research) of the Department of Ionizing and non-ionizing Radiation on State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

ORCID: 0000-0001-7980-7680

Andrey N. Bashkov – Candidate of Medical Sciences, Radiologist, Head of the Radiology Center based on State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

ORCID: 0000-0002-4560-6415

Alexander S. Samoylov – Doctor of Medical Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director General of State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

ORCID: 0000-0002-9241-7238

For citation: Matkevich E.I., Sivenkov A.G., Bashkov A.N., Samoylov A.S. Analysis of statistical methods for estimating standard radiation doses for patients undergoing computed tomography at the A.I. Burnazyan Federal Medical Biophysical Center. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2025. Vol. 18, No 2. P. 16–28. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-2-16-28.