

## Сравнение расчетных методов определения эффективной и органных доз у пациентов при компьютерно-томографических исследованиях

Л.А. Чипига

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Северо-Западный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

*В работе определены значения эффективных и органных доз у пациентов при проведении компьютерно-томографических исследований различных анатомических областей тела: голова, грудная клетка, брюшная полость, грудная клетка + брюшная полость + таз на наиболее распространенных типах томографов. Оценка доз осуществлялась с использованием компьютерных программ СТ-Ехро, ХСАТdose, NСICT и коэффициентов перехода от значений произведения дозы на длину сканирования к эффективной дозе согласно Методическим указаниям «Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований» (МУ 2.6.1. 2944-11). Результаты расчета доз в органах показали, что их значения, полученные с помощью различных программ, не существенно различаются между собой. 98% значений органных доз имели отклонение не выше 20% от среднего значения, рассчитанного с помощью трех вышеуказанных программ, а 71% — не превышали 10%. Различия в дозах между воксельным и математическим (MIRD-5) фантомами не превышали 22%. Для сканирования головы наблюдалось двукратное завышение эффективной дозы, оцененное на основе данных МУ 2.6.1. 2944-11, по сравнению с расчетами по программам. Для исследований других анатомических областей тела различия в эффективной дозе были незначительными. Результаты сравнения эффективных доз, определенных согласно МУ 2.6.1. 2944-11, с эффективными дозами, определенными с помощью специализированных компьютерных программ, показали применимость МУ 2.6.1. 2944-11 для заполнения форм государственной отчетности (Форма 3-ДОЗ) и оценки риска при обосновании КТ-исследования (МР 2.6.1.098-15).*

**Ключевые слова:** компьютерная томография, эффективная доза, органный доза, произведение дозы на длину сканирования, антропоморфные фантомы.

### Введение

Компьютерная томография (КТ) среди других технологий медицинской диагностики с использованием ионизирующего излучения является высокоинформативным методом, однако данный метод обуславливает относительно высокие уровни облучения пациентов [1, 2]. В связи с быстрым ростом количества компьютерных томографов увеличивается доступность данного метода лучевой диагностики в России и возрастает коллективная доза медицинского облучения [3]. Отечественная система радиационной безопасности построена на концепции эффективной дозы как инструмента оценки рисков возникновения радиационно-индуцированных заболеваний при профессиональном облучении и облучении населения<sup>1,2</sup>. Современные ми-

ровые тенденции развития радиационной безопасности в медицине предусматривают использование индивидуализированных рисков, которые оцениваются с учетом возраста и пола пациента [4, 5]. В связи с этим предлагается либо модифицировать эффективную дозу [6, 7], либо оценивать риск на основе значений органных доз с учетом возраста и пола пациента в модели репрезентативного индивидуума или даже для индивидуального пациента.

В связи с вышеизложенным возникает ряд задач, связанных с оценкой доз облучения пациентов при проведении КТ-исследований, которые можно структурировать следующим образом:

– анализ рисков (включая радиогенный) на этапе обоснования проведения исследования;

<sup>1</sup> Нормы радиационной безопасности (НРБ 99/2009). [Radiation Safety Standards (RSS-99/2009) (In Russ.)]

<sup>2</sup> Методические рекомендации. Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенодиагностических исследований (МР 2.6.1.0098-15). [Guidelines. Radiation risk assessment in patients at carrying out of radiology and nuclear medicine imaging (MR 2.6.1.0098-15) (In Russ.)]

**Чипига Лариса Александровна**

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева.

**Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: larisa.chipiga@gmail.com

– оценка эффективной дозы для стандартного пациента с целью заполнения форм государственной отчетности (форма 3-ДОЗ) и сравнения с РДУ;

– возможная оценка органных и эффективной доз в модели индивидуализированного пациента с целью оптимизации проведения исследования;

– ретроспективная оценка органных доз облучения пациентов при возможном проведении эпидемиологических исследований.

Решение этих задач в той или иной степени связано с необходимостью выбора метода или компьютерного средства для расчета эффективных и органных доз облучения пациентов.

В настоящее время в России эффективные дозы у пациентов при проведении КТ-исследований оцениваются с помощью коэффициентов перехода от значения произведения дозы на длину сканирования (DLP) к эффективной дозе, согласно Методическим указаниям (МУ 2.6.1.2944-11) «Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований». Для определения органных доз может использоваться специализированное программное обеспечение: CT-Expo [8], ImpactDose [9], ImPACT [10], VirtualDoseCT [11], NCICT [12], XCATdose [13].

**Цель исследования** – оценка возможности использования наиболее распространенных компьютерных программ (CT-Expo, XCATdose и NCICT) для решения вышеуказанных задач на основе демонстрации реальных значений органных и эффективных доз. Дозы были определены с учетом различий протоколов и физико-технических характеристик проведения исследований на томографах разных фирм-производителей. Также оценивалась корректность метода оценки значений эффективной дозы, используемого в МУ 2.6.1. 2944-11.

### Материалы и методы

#### Объекты исследования

В настоящей работе были рассмотрены томографы четырех наиболее распространенных в России фирм-производителей [1, 2]: GE (США), Philips (Нидерланды), Toshiba (Япония) и Siemens (Германия). Сведения о томографах представлены в таблице 1.

Таблица 1

Обследованные рентгеновские компьютерные томографы [Table 1]

Investigated computed tomographs]			
Фирма-изготовитель [Manufacture]	Наименование [CT model]	Количество колец детекторов [Number of slices]	Год выпуска [Year of manufacture]
Toshiba Medical Systems	Aquilion	64	2008
GE Healthcare	LightSpeed	16	2008
Philips Healthcare	Ingenuity Core	64	2013
Siemens Healthcare	Somatom Definition DH	64	2009

На основе данных об использовании этих томографов в клинической практике были собраны параметры проведения КТ-исследований у взрослых пациентов для следующих областей тела: голова, грудная клетка (ГК), брюшная полость (БП) и исследования, включающего несколько зон сканирования (ГК+БП+таз). Информация о количестве исследований, по которым были собраны данные, приведена в таблице 2.

#### Параметры проведения исследований

Исследования проводились по стандартным клиническим протоколам. На всех обследованных томографах собирались технические параметры, влияющие на дозу облучения пациентов: режим сканирования, сила тока и напряжение на рентгеновской трубке, время ротации трубки, коллимация (количество и ширина срезов), значение питч-фактора, длина сканирования, а также значения  $CTDI_{vol}$  и DLP для каждого КТ-исследования с консоли томографов (табл. 3). За исключением исследования головы, все исследования выполнялись при напряжении 120 кВ с автоматической модуляцией силы тока. Исследования БП проводились с использованием контрастного вещества в 3–4 фазы. Верификация значений  $CTDI_{vol}$ , отображаемых на консоли томографа, осуществлялась путем измерений универсальным дозиметром Black Piranha (RTI, Швеция) в специальных дозиметрических КТ-фантомах цилиндрической формы диаметром 160 и 320 мм.

Таблица 2

Количество КТ-исследований взрослых пациентов (по видам), для которых были собраны технические характеристики их проведения

[Table 2]

Number of CT examinations of adult patients]					
Область сканирования [Anatomical region]	Toshiba	GE	Philips	Siemens	Всего
Голова [Head]	18	15	23	19	75
ГК [Chest]	20	20	16	29	85
БП [Abdomen]	16	14	11	23	64
ГК+БП+таз [Chest+Abdomen+Pelvis]	6	7	0	11	24
Всего [Total]	60	56	50	82	248

Таблица 3

Параметры проведения КТ-исследований

[Table 3]

Parameters of CT examinations]

Аппарат [CT unit]	Сила тока, мА [Tube current, mA]	Коллимация, мм [Collimation, mm]	Питч-фактор [Pitch]	Время ротации трубки, с [Time of tube rotation, s]	CTDI <sub>vol</sub> , мГр [CTDI <sub>vol</sub> , mGy]	DLP, мГр·см [DLP, mGy·cm]
<b>Голова [Head]</b>						
Toshiba	350	16	0,56	0,5	65	1244
GE	450	20	0,9	0,6	55	991
Philips	280	40	0,4	0,5	48	877
Siemens	370	40	0,6	0,5	37	605
<b>Грудная клетка [Chest]</b>						
Toshiba	420	32	1,3	0,5	20	665
GE	300	20	1,4	0,7	15	402
Philips	350	40	0,9	0,5	13	441
Siemens	300	40	1,4	0,5	7	235
<b>Брюшная полость [Abdomen]</b>						
Toshiba	280	32	0,9	0,5	19	1926
GE	270	20	0,9	0,7	19	1590
Philips	350	40	0,8	0,5	15	1622
Siemens	500	40	1,0	0,5	16	1403
<b>Грудная клетка + брюшная полость + таз [Chest+Abdomen+Pelvis]</b>						
Toshiba	350	32	1,1	0,5	18	1265
GE	420	20	1,4	0,7	21	1408
Siemens	470	40	1,0	0,5	15	902

Методы определения эффективной и органных доз облучения пациентов

Для расчета органных и эффективных доз использовали программы: CT-Expo 2.3.1, XCATdose 2.3 и NCICT beta version 1.00. Основные характеристики программ приведены в таблице 4. В качестве модели тела пациента

в разных программах используются различные фантомы: математический фантом гермафродита – MIRD-5 [14] в МУ 2.6.1. 2944-11, математические фантомы разного пола ADAM (мужской) и EVA (женский) (CT-Expo) [15], воксельные фантомы, описывающие репрезентативных мужчину и женщину (NCICT) [16] или их модификации, позволяющие описывать группы пациентов различного

Таблица 4

Основные характеристики методов расчета

[Table 4]

General characteristics of the computational methods]

Метод [Method]	Аппаратоспецифичный метод [CT model specific method]	Используются фантомы разных полов [Male and female phantom available]	Фантом [Phantom]	Параметры для определения доз [Parameters for dose estimation]
МУ 2.6.1.2944-11 [MG 2.6.1.2944-11]	-	-	MIRD-5	DLP
CT-Expo	+	+	ADAM EVA	Параметры проведения исследования [Parameters of CT examination]
NCICT	+	+	UFHADM UFHADF	Параметры проведения исследования [Parameters of CT examination]
XCATdose	-	-	4D XCAT	CTDI <sub>vol</sub> , DLP, обхват области сканирования [CTDI <sub>vol</sub> , DLP, circumference of anatomical region]

телосложения в соответствии с выбранными антропометрическими параметрами (XCATdose) [17]. Кроме того, программы СТ-Ехро и NCICT позволяют рассчитывать органнне и эффективную дозу с учетом специфики модели томографа. В МУ 2.6.1. 2944-11 и программе XCATdose 2.3 в качестве исходных данных для расчетов используют значение  $CTDI_{vol}$  и DLP. Программа XCATdose оценивает значения доз у пациентов на основании такого антропометрического параметра, как обхват области исследования, т.е. с ее помощью возможна дальнейшая индивидуализация доз. В настоящей работе в качестве среднего обхвата областей исследования были выбраны следующие значения: голова – 56 см; грудная клетка, брюшная полость, ГК+БП+таз – 88,9 см [15].

Эффективные дозы также определялись на основании МУ 2.6.1. 2944-11 с использованием следующих коэффициентов перехода от значения DLP к эффективной дозе для разных областей сканирования: голова – 0,0023 мЗв/(мГр·см), ГК – 0,017 мЗв/(мГр·см), БП – 0,015 мЗв/(мГр·см).

В каждой программе используется своя шкала для задания зоны сканирования. Длины (ориентиры) областей сканирования приведены в таблице 5. Для расчета органнне и эффективной дозы различными методами использовались параметры протоколов проведения исследований, приведенные в таблице 3, и параметры, характеризующие области сканирования в каждом методе, приведенные в таблице 5.

Эффективная доза рассчитывалась на основе органнне доз, согласно Публикации МКРЗ 60 [18], по формуле:

$$E = \sum_T w_T \cdot \left[ \frac{H_T^M + H_T^F}{2} \right] \quad (1)$$

где  $w_T$  – тканевый взвешивающий коэффициент для органа  $T$ ,  $H_T^M$  и  $H_T^F$  – органнне дозы в фантомах мужчины и женщины соответственно.

### Результаты и обсуждение

На основании собранных данных о режимах проведения исследований для каждого томографа разными методами были рассчитаны значения органнне доз и на их основе по формуле (1) значения эффективных доз при сканировании 4 областей тела (табл. 6).

Рассмотрим влияние параметров протокола проведения исследования, связанного с каждым типом томографа, на значение эффективной дозы. В этом случае исходными данными для расчета были не только физико-технические параметры, но и область сканирования, которая предлагалась пользователю программой для данного вида исследования. Результаты расчета эффективной дозы (см. табл. 6) свидетельствуют, что наименьшее значение эффективной дозы было зафиксировано при проведении сканирования различных областей тела на томографе Siemens Somatom Definition DH. Непосредственно видно, какое значительное влияние оказывает выбор протокола исследования на значение эффективной дозы. В наибольшей степени это влияние было выражено при сканировании грудной клетки, где различие достигало 2,5 раз.

Использование для оценки эффективной дозы значения DLP с консоли томографа и соответствующего коэффициента перехода к эффективной дозе из МУ 2.6.1. 2944-11 хорошо согласуется с расчетами значения эффективной дозы с помощью тестируемых программ (рис. 1). Исключением является сканирование головы, где наблюдается двукратное завышение эффективной дозы, оцененное по коэффициентам из МУ, по сравнению с расчетами по программам. Это связано с завышенным значением коэффициента перехода (0,0023 мЗв/(мГр·см<sup>2</sup>) от значения DLP к эффективной дозе, приведенном в МУ 2.6.1. 2944-11. Его современное значение, содержащееся в подготовленном Изменении 1 к МУ 2.6.1. 2944-11, составляет 0,0014 мЗв/(мГр·см<sup>2</sup>).

Таблица 5

**Длины (ориентиры) областей сканирования, используемые при расчете эффективных доз в рассматриваемых программах**

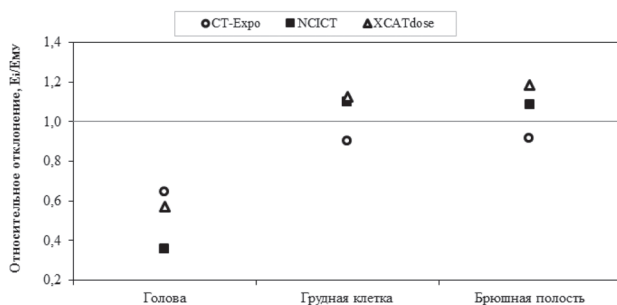
[Table 5]

**Lengths (coordinates) of anatomical regions used for calculation of the effective doses in the codes considered**

Область сканирования [Anatomical region]	СТ-Ехро*		XCATdose	NCICT**	
	Мужчина [Male]	Женщина [Female]		Мужчина [Male]	Женщина [Female]
Голова [Head]	15(79–94)	15(74–89)	Верхушка черепа – нижний край затылочной кости [Vertex of skull – scalp bottom]	15(1–16)	15(1–16)
Грудная клетка [Chest]	28(41–69)	26(39–65)	Верхушка легких – купол диафрагмы [Lung apex – cupula of the diaphragm]	28(29–57)	26(25–51)
Брюшная полость [Abdomen]	21(22–43)	21(20–41)	Купол диафрагмы – крыло подвздошной кости [Cupula of the diaphragm – superior iliac crest]	21(49–70)	21(45–66)
ГК+БП+таз [Chest+Abdomen+Pelvis]	68(0–68)	64(0–64)	Верхушка легких – ветвь седалищной кости [Lung apex – inferior ischium]	63(29–92)	62(25–87)

\* В программе СТ-Ехро начало шкалы совпадает с основанием таза.  
[\*In the СТ-Ехро code, the starting point matches the base of pelvis.]

\*\* В программе NCICT начало шкалы совпадает с верхушкой черепа.  
[\*\* In the NCICT code, the starting point matches the apex of skull.]



**Рис. 1.** Относительное отклонение  $E_i/E_{MG}$ , где  $E_i$  – значение эффективной дозы, полученное  $i$ -м методом,  $E_{MG}$  – значение эффективной дозы, полученное согласно МУ 2.6.1. 2944-11.

Данные приведены для томографа Siemens Somatom Definition DH

**[Fig. 1.** The ratio –  $E_i/E_{MG}$ , where  $E_i$  is the effective dose estimated by  $i$  method,  $E_{MG}$  is the effective dose estimated according to MG 2.6.1. 2944-11. The data are presented for the Siemens Somatom Definition DH tomograph]

Для сравнения дозы в органах рассчитывались с помощью всех программ при одинаковых физико-технических условиях (протокол исследования на томографе Siemens Somatom Definition DH). Области сканирования выбирались таковыми, что участвующие в сравнении доз органы полностью попадали в прямой пучок излучения.

Сравним значения органных доз, полученные с помощью трех программ: CT-Expo, NCICT и XCATdose (рис. 2). Как видно из представленных на рисунке 2 результатов расчета доз в органах, их значения, полученные с помощью различных программ, не сильно различаются между собой. Если проследить статистику отклонений значений органных доз от среднего значения, рассчитанного с помощью трех программ, то лишь одно значение дозы (каждая доза, рассчитанная с помощью программы XCATdose) будет отличаться от него более чем на 30% (33%). При этом 98% значений отклонений не будут превышать 20%, а 71% – не будут превышать 10%. Если же попарно сравнивать результаты расчетов органных доз мужчины и женщины, полученных с помощью NCICT и CT-Expo, то различия в дозах у воксельного и математического фантомов достигают 22% только для толстого кишечника в женских фантомах и гонад в мужских фантомах. Различия остальных значений органных доз не превышают 20%.

Попытаемся систематизировать наблюдаемые различия в значениях органных и эффективных доз, рассчитанных с помощью тестируемых программ:

1. Эффективные дозы определяются дозами в органах и тканях, которые полностью или частично попадают в зону сканирования. Органы, которые находятся на границе зоны сканирования и частично попадают в прямой пучок излучения, зависят от типа используемо-

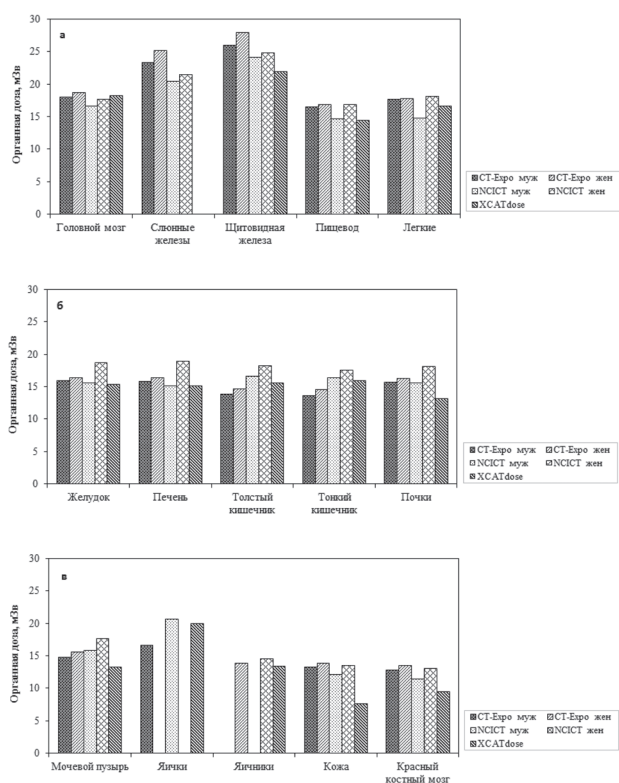
**Значения эффективной дозы (мЗв), определенные разными методами, для КТ-исследований различных областей тела с помощью указанных томографов**

Таблица 6

[Table 6

**The effective doses (mSv) estimated by the different methods for the CT examinations]**

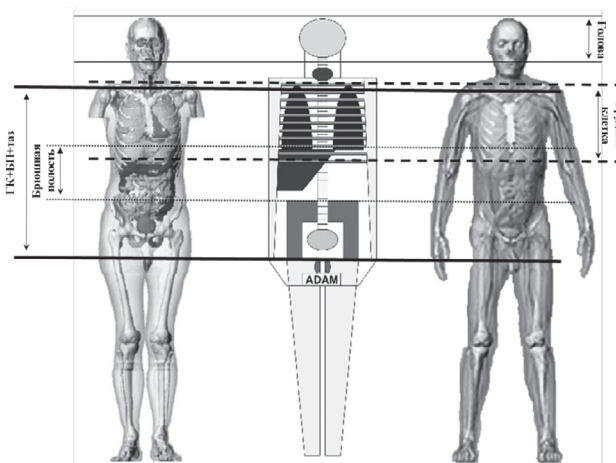
Аппарат [CT unit]	МУ 2.6.1. 2944-11 [MG 2.6.1. 2944-11]	CT-Expo	NCICT	XCATdose
<b>Голова [Head]</b>				
Toshiba	2,9	1,7	0,8	1,4
GE	2,3	1,4	0,7	1,2
Philips	2,0	1,4	0,6	1,1
Siemens	1,4	0,9	0,5	0,8
<b>Грудная клетка [Chest]</b>				
Toshiba	9,6	11,1	15,1	12,9
GE	6,8	6,5	9,5	9,6
Philips	7,5	7,2	8,2	8,4
Siemens	4,0	3,6	4,4	4,5
<b>Брюшная полость [Abdomen]</b>				
Toshiba	28,9	23,4	27,0	29,6
GE	23,9	23,4	25,5	29,6
Philips	24,3	20,4	21,3	23,3
Siemens	21,0	19,2	22,8	24,9
<b>ГК+БП+таз [Chest+Abdomen+Pelvis]</b>				
Toshiba	–	25,1	19,3	21,8
GE	–	27,1	22,4	25,4
Siemens	–	19,0	16,1	18,2



**Рис. 2.** Сравнение значений органных доз при сканировании всего тела, рассчитанных с помощью различных программ. Результаты приведены для протокола исследования на томографе Siemens Somatom Definition HD [Fig. 2. Comparison of the organ doses for whole body CT examination estimated by different software programs. The data presented for the Siemens Somatom Definition DH tomograph]

го фантома и зоны сканирования, определяемой программой расчета. На рисунке 3 приведены мужские фантомы, используемые в рассматриваемых программах. Особенностью программ NCICT и XCATdose является использование воксельных фантомов, которые обеспечивают большую приближенность к реальной анатомии пациента, чем фантомы, в которых органы представлены математическими фигурами (CT-Expo). Однако из рисунка 3 видно, что, например, при сканировании ГК у воксельных фантомов печень не попадает в прямой пучок излучения, тогда как у математического фантома ADAM (CT-Expo) часть печени находится в прямом пучке излучения. Таким образом, различие в используемых фантомах является одной из причин различий в значениях органных доз и, в меньшей степени, эффективной дозы.

2. Значения доз в органах, полностью находящиеся в прямом пучке поля излучения со спектром и геометрией, характерными для КТ-исследований, для двух тестируемых программ (CT-Expo и NCICT) не отличались более чем на 22%, в основном, за счет различия в используемых фантомах. Больше отклонение было зафиксировано только у дозы в коже, определенной программой XCATdose.



**Рис. 3.** Мужские фантомы, используемые в тестируемых программах: а – UFHADM (NCICT); б – ADAM (CT-Expo); в – 4D XCAT (XCATdose), и зоны сканирования [Fig. 3. The male phantoms used in the tested software programs: а – UFHADM (NCICT); б – ADAM (CT-Expo); в – 4D XCAT (XCATdose), and the anatomical regions]

3. Значения органных и эффективных доз существенно зависят от конкретного протокола исследования. Это связано как со спектром излучения и коллимацией прямого пучка, так и с заданием программой зоны сканирования. Органы, расположенные не полностью в пучке излучения или вне его, но рядом с границами прямого пучка, имеют наибольшую вариабельность значений доз. Все это предполагает возможность оптимизации параметров проведения исследования с целью уменьшения уровней облучения пациентов, т.е. позволяет на практике решать основную задачу радиационной защиты при медицинском облучении. Для решения оптимизационных задач больше подходят программы NCICT и XCATdose, использующие в качестве модели тела пациента современные воксельные фантомы с возможностью детально моделировать пациентов (NCICT) или даже индивидуализировать их на основе задания обхвата зоны сканирования (XCATdose).

4. Результаты сравнения расчетов значений эффективной дозы согласно МУ 2.6.1. 2944-11 с результатами расчетов с помощью специализированных компьютерных программ показали применимость используемой в МУ методики, за исключением сканирования головы. Этот недостаток действующих МУ 2.6.1. 2944-11 исправлен в подготовленном к ним «Изменении 1».

### Выводы

1. Использование для оценки эффективной дозы значения DLP с консоли томографа и соответствующего коэффициента перехода к эффективной дозе из МУ 2.6.1. 2944-11 приемлемо в случае заполнения форм государственной отчетности, информирования пациента о дозе и риске, обусловленном КТ-исследованием, или для оценки риска с целью обоснования исследования как метода диагностики.

2. Для оптимизации проведения исследования применительно к группе пациентов или даже к индивидуальному

пациенту необходимо использовать специализированное программное обеспечение. Из трех протестированных программ NCICT и XCATdose являются более предпочтительными для решения этого класса задач из-за использования в них современных воксельных фантомов, гибкости подхода в задании режимов проведения исследований и моделирования пациентов различного телосложения. Особое внимание следует уделить заданию области исследования, т.к. максимальная вариабельность органных доз наблюдается на границе прямого поля излучения.

3. Специализированное программное обеспечение возможно также использовать для ретроспективной оценки доз облучения пациентов при возможном проведении эпидемиологических исследований.

4. В работе рассчитаны и представлены абсолютные значения эффективных доз для современных, наиболее распространенных протоколов исследований разных областей тела: голова, грудная клетка, брюшная полость, грудная клетка + брюшная полость + таз на наиболее распространенных типах томографов.

#### Благодарности

Автор выражает благодарность Голикову Владиславу Юрьевичу и Водоватову Александру Валерьевичу (Научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Санкт-Петербург, Российская Федерация) за помощь в обсуждении результатов.

#### Литература

1. Братилова, А.А. Уровни облучения пациентов при проведении компьютерной томографии в медицинских организациях Санкт-Петербурга и Ленинградской области / А.А. Братилова, В.Ю. Голиков, С.А. Кальницкий // Радиационная гигиена. – 2014. – Т. 7, № 3. – С. 33–38.
2. Chipiga L., Bernhardsson C. Patient doses in computed tomography examinations in two regions of the Russian Federation. Radiation Protection Dosimetry, 2016, Vol. 169, №1-4, pp. 240-244.
3. Балонов, М.И. Современные уровни медицинского облучения в России / М.И. Балонов [и др.] // Радиационная гигиена. – 2015. – Т. 8, № 3. – С. 67–79.
4. Martin C.J. Effective dose: how should it be applied to medical exposures. The British Journal of Radiology, 2007, Vol. 80, pp.639–647.
5. Mattson S. Need for individual cancer risk estimates in X-ray and nuclear medicine imaging. Radiation Protection Dosimetry, 2016, Vol. 169, №1–4, pp.11–16.
6. Wall BF, Haylock JTM., Jansen MC, [Et al.] Radiation risks from medical X-ray examinations as a function of the age and sex of the patient. Health Protection Agency. Centre for Radiation. Chilton, Didcot, 2011, 66 p.
7. Голиков, В.Ю. Оценка рисков медицинского облучения на основе данных радиационно-гигиенической паспортизации в субъектах Российской Федерации / В.Ю. Голиков // Радиационная гигиена. – 2015. – Т. 8, № 4. – С. 4–6.
8. Stamm G., Nagel H.D. CT-Expo V 2.3. A Tool for Dose Evaluation in Computed Tomography. User's Guide, 2014, 59 p.
9. Kalender W.A., Schmidt B., Zankl M. [Et al.] A PC program for estimating organ dose and effective dose values in computed tomography. European Radiology, 1999, Vol. 9, pp. 555-562.
10. Lewis M.A., Edyvean S., Sassi S.A. [Et al.] Estimating patient dose on current CT scanners: Results of the ImPACT CT dose survey. Radiations Magazine, 2000, Vol. 26, pp. 17–18.
11. Ding A., Gao Y., Liu H. [Et al.] VirtualDose: a software for reporting organ doses from CT for adult and pediatric patients. Physics in Medicine and Biology, 2015, Vol. 60, pp. 5601–5625.
12. Lee C., Kim K.P., Bolch W.E. [Et al.] NCICT: a computational solution to estimate organ doses for pediatric and adult patients undergoing CT scans. Journal of Radiological Protection, 2015, Vol. 35, pp. 891–909.
13. Sahbaee P., Segars W.P., Samei E. [Et al.] Patient-based estimation of organ dose for a population of 58 adult patients across 13 protocol categories. Medical Physics, 2014, Vol. 41, № 7, pp. 072104-1– 072104-12.
14. Snyder W.S., Fisher H. L., Ford M. R., Warner G. G. Estimates of absorbed fractions for monoenergetic photon sources uniformly distributed in various organs of a heterogeneous phantom. Journal of Nuclear Medicine, 1969, Vol 3, pp. 7–52.
15. Kramer R. [Et al.] The calculation of dose from external photon exposures using reference human phantoms and Monte Carlo methods. I: The male (ADAM) and female (EVA) adult mathematical phantoms. Neuberberg-Munchen: Institut fur Strahlenschutz, GSF-Forschungszentrum fur Umwelt und Gesundheit, GSF-Report S-885, 1982.
16. Lee C., Lodwick D., Hurtado J. [Et al.] The UF family of reference hybrid phantoms for computational radiation dosimetry. Physics in Medicine and Biology, 2010, Vol. 55, №2, pp. 339–363.
17. Segars W.P., Bond J., Frush J. [Et al.] Population of anatomically variable 4D XCAT adult phantoms for imaging research and optimization. Medical Physics -2013, Vol. 40, №4, pp. 043701-1 – 043701-11.
18. ICRP, 1991. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21, №1-3, 1991.

Поступила: 25.10.2016 г.

**Чипига Лариса Александровна** – младший научный сотрудник лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия; медицинский физик, Северо-Западный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; e-mail: larisa.chipiga@gmail.com

**Для цитирования:** Чипига Л.А. Сравнение расчетных методов определения эффективной и органных доз у пациентов при компьютерно-томографических исследованиях // Радиационная гигиена. – 2017. – Т. 10, № 1. – С. 56–64. DOI: 10.21514/1998-426X-2017-10-1-56-64

## A comparison of computational methods for estimation of effective and organ doses to the patients from CT examination

Larisa A. Chipiga

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

North-West Medical Research Centre after V.A. Almazov, The Ministry Of Health Of The Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia

*The current study was devoted to estimation of effective and organ doses to the patients from the most common computed tomography (CT) examinations: head, chest, abdomen, chest+abdomen+pelvis in advanced scanners. Doses were estimated using dedicated software (CT-Expo, XCATdose, and NCICT) and conversion coefficients from the dose length product (DLP) to the effective dose according to Methodical guidance 2.6.1.2944-11 "Assessment of effective dose to the patients undergoing X-ray examinations". Results of the estimation of organ doses using tested software programs showed a lack of significant differences. Overall, 98% of organ doses estimated by each software program had a less than 20% difference compared with the average value of doses estimated by each software and 71% had less than 10% difference. Comparison of organ doses estimated for voxel and mathematical (MIRD-5) phantoms showed a difference up to 22%. The overestimation with a factor of two, in comparison with the software codes, was observed only for effective dose for the CT examination of a head determined according to existing guidelines. For other examinations, the differences in effective doses were insignificant. The effective dose assessed according to existing guidelines can be used to fill the report forms or rough risk estimate for justification of CT examinations.*

**Key words:** *computed tomography, effective dose, organ dose, dose length product, anthropomorphic phantoms.*

### References

1. Bratilova A.A., Golikov V.Yu., Kalnitsky S.A. Exposure levels of patients during computed tomography in medical organizations of Saint-Petersburg and Leningrad region. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2014, Vol.7, №3, pp. 33-38. (In Russian)
2. Chipiga L., Bernhardsson C. Patient doses in computed tomography examinations in two regions of the Russian Federation. *Radiation Protection Dosimetry*, 2016, Vol. 169, №1-4, pp. 240-244.
3. Balonov M.I., Golikov V.Yu., Zvonova I.A. [Et al.] Current levels of medical exposure in Russia. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2015, Vol.8, №3, pp. 67-79. (In Russian)
4. Martin C.J. Effective dose: how should it be applied to medical exposures. *The British Journal of Radiology*, 2007, Vol. 80, pp.639-647.
5. Mattson S. Need for individual cancer risk estimates in X-ray and nuclear medicine imaging. *Radiation Protection Dosimetry*, 2016, Vol. 169, №1-4, pp.11-16.
6. Wall BF, Haylock JTM., Jansen MC. [Et al.] Radiation risks from medical X-ray examinations as a function of the age and sex of the patient. Health Protection Agency. Centre for Radiation. Chilton, Didcot, 2011, 66 p.
7. Golikov V.Yu. Medical irradiation risk assessment based on the data of radiation-hygienic passportization in the regions of the Russian Federation. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*, 2015, Vol.8, №4, pp. 6-4. (In Russian)
8. Stamm G., Nagel H.D. CT-Expo V 2.3. A Tool for Dose Evaluation in Computed Tomography. User's Guide, 2014, 59 p.
9. Kalender W.A., Schmidt B., Zankl M. [Et al.] A PC program for estimating organ dose and effective dose values in computed tomography. *European Radiology*, 1999, Vol. 9, pp. 555-562.
10. Lewis M.A., Edyvean S., Sassi S.A. [Et al.] Estimating patient dose on current CT scanners: Results of the ImPACT CT dose survey. *Radiations Magazine*, 2000, Vol. 26, pp. 17-18.
11. Ding A., Gao Y., Liu H. [Et al.] VirtualDose: a software for reporting organ doses from CT for adult and pediatric patients. *Physics in Medicine and Biology*, 2015, Vol. 60, pp. 5601-5625.
12. Lee C., Kim K.P., Bolch W.E. [Et al.] NCICT: a computational solution to estimate organ doses for pediatric and adult patients undergoing CT scans. *Journal of Radiological Protection*, 2015, Vol. 35, pp. 891-909.
13. Sahbaee P., Segars W.P., Samei E. [Et al.] Patient-based estimation of organ dose for a population of 58 adult patients across 13 protocol categories. *Medical Physics*, 2014, Vol. 41, № 7, pp. 072104-1- 072104-12.
14. Snyder W.S., Fisher H. L., Ford M. R., Warner G. G. Estimates of absorbed fractions for monoenergetic photon sources uniformly distributed in various organs of a heterogeneous phantom. *Journal of Nuclear Medicine*, 1969, Vol 3, pp. 7-52.
15. Kramer R. [Et al.] The calculation of dose from external photon exposures using reference human phantoms and Monte Carlo methods. I: The male (ADAM) and female (EVA) adult mathematical phantoms. Neuberberg-Munchen: Institut fur Strahlenschutz, GSF-Forschungszentrum fur Umwelt und Gesundheit, GSF-Report S-885, 1982.
16. Lee C., Lodwick D., Hurtado J. [Et al.] The UF family of reference hybrid phantoms for computational radiation dosimetry. *Physics in Medicine and Biology*, 2010, Vol. 55, №2, pp. 339-363.

Larisa A. Chipiga

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

**Address for correspondence:** Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: larisa.chipiga@gmail.com



17. Segars W.P., Bond J., Frush J. [Et al.] Population of anatomically variable 4D XCAT adult phantoms for imaging research and optimization. *Medical Physics* -2013, Vol. 40, №4, pp. 043701-1 –043701- 11.
18. ICRP, 1991. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann. ICRP 21, №1-3, 1991.

Received: October 25, 2016

**For correspondence: Larisa A. Chipiga** – Junior researcher, Radiation Hygiene Laboratory for Healthcare Bodies, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being (Mira Str., 8, 197101, St. Petersburg, Russia; E-mail: larisa.chipiga@gmail.com); Medical physicist, North-West Medical Research Centre after V.A. Almazov, The Ministry Of Health Of The Russian Federation, Saint-Petersburg, Russia

**For citation: Chipiga L.A. A comparison of computational methods for estimation of effective and organ doses to the patients from ct examination // Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene, 2017, Vol. 10, No 1, pp. 56-64. (In Russ.) DOI: 10.21514/1998-426X-2017-10-1-56-64**