

Определение коэффициентов перехода от произведения дозы на длину сканирования к эффективной дозе для компьютерно-томографических исследований всего тела с захватом нижних конечностей пациента

П.С. Дружинина¹, Л.А. Чипига^{1,2,3}, А.В. Водоватов^{1,4}, И.В. Солдатов⁵, З.А. Лантух⁵, К.В. Толкачев⁵

¹ 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

² Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

³ Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

⁴ Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

⁵ Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Департамент здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

На сегодняшний день в Российской Федерации существующая методика оценки эффективных доз пациентов при проведении компьютерной томографии в виде коэффициентов перехода от произведения дозы на длину сканирования предусматривает зону от головы до верхней трети бедра, но не учитывает возможности сканирования всего тела с захватом нижних конечностей. При этом для некоторых нозологий используются протоколы, которые могут захватывать и нижние конечности. Целью исследования было определить коэффициенты перехода от произведения дозы на длину сканирования к эффективной дозе для компьютерно-томографического сканирования всего тела с захватом нижних конечностей пациента. Коэффициенты для компьютерно-томографического сканирования всего тела с захватом нижних конечностей были определены для выборки компьютерных томографов, которые являются частью аппаратов позитронно-эмиссионной томографии, совмещенных с компьютерной томографией, разных моделей для взрослых и детей различных возрастных групп. В программном обеспечении NCIST 3.0 были рассчитаны поглощенные дозы в органах и тканях с учетом специфики модели аппаратов и длины сканирования. Эффективные дозы определялись в соответствии с методикой, представленной в 60 Публикации МКРЗ и в Нормах радиационной безопасности 99/2009. Отдельного внимания были удостоены коэффициенты перехода от произведения дозы на длину сканирования к поглощенной дозе в матке для возможности прогностической оценки доз в плоде у беременных женщин. В работе представлены усредненные значения полученных эффективных доз, поглощенных доз в матке и коэффициентов перехода по всем рассмотренным моделям аппаратов. Коэффициенты перехода для протоколов с автоматической модуляцией силы тока трубки оказались ниже по сравнению с протоколами без автоматической модуляции силы тока трубки, особенно для детей следующих возрастных групп: 0 лет – в 9 раз, 1 год – в 6 раз, 5 лет – в 5 раз, 10 лет – в 3 раза, 15 лет – в 2 раза; для взрослых различие составило около 20%. Сравнение коэффициентов перехода от произведения дозы на длину сканирования к эффективной дозе для компьютерно-томографического сканирования зоны всего тела, ограниченной верхней третью бедра, представленные в методических указаниях 2.6.1.3584-19, со значениями, полученными в настоящей работе для зоны всего тела с захватом нижних конечностей без автоматической модуляции силы тока трубки, показало, что для всех возрастных групп, за исключением новорожденных, коэффициенты перехода для зоны сканирования с захватом нижних конечностей ниже представленных в методических указаниях. Использование коэффициентов перехода из методических указаний 2.6.1.3584-19 для компьютерно-томографических исследований всего тела с захватом нижних конечностей будет приводить к существенной переоценке доз пациентов. Рассчитанные коэффициенты перехода от произведения дозы на длину сканирования к поглощенной дозе в матке и от произведения дозы на длину сканирования к эффективной дозе для компьютерно-томографического исследования всего тела с захватом нижних конечностей для разных возрастных групп пациентов целесообразно использовать для прогностической оценки поглощенной дозы в плоде у беременных женщин и для оценки эффективных доз пациентов.

Ключевые слова: коэффициенты перехода, позитронно-эмиссионная томография, компьютерная томография, эффективные дозы, органические дозы.

Дружинина Полина Сергеевна

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: druzhininapauline@gmail.com

Введение

Вклад гибридных методов диагностики, таких как, например, позитронно-эмиссионная томография, совмещенная с рентгеновской компьютерной томографией (ПЭТ/КТ), в общее число рентгенорадиологических исследований, увеличивается каждый год [1].

Наиболее распространенная зона сканирования при ПЭТ/КТ-исследованиях – все тело (от головы до верхней трети бедра)^{1,2}, при этом для некоторых нозологий могут использоваться протоколы с захватыванием нижних конечностей. Такие КТ-исследования могут проводиться как на низкодозовых, так и на высокодозовых протоколах. При этом вклад в дозу пациента от КТ-сканирования выше, чем вклад в дозу от внутреннего облучения от вводимого радиофармпрепарата.

Используемая на сегодняшний день в Российской Федерации методика оценки эффективных доз пациентов при КТ-исследованиях основана на применении коэффи-

циентов перехода (КП) от произведения дозы на длину сканирования (англ. – dose length product) (DLP) к эффективной дозе. Данная методика предусматривает зону сканирования от головы до верхней трети бедра, но не учитывает возможности сканирования всего тела с захватом нижних конечностей. Таким образом, **целью исследования** было разработать коэффициенты перехода от DLP к эффективной дозе для КТ-сканирования всего тела с захватом нижних конечностей пациента.

Материалы и методы

Коэффициенты для КТ-сканирования всего тела с захватом нижних конечностей были определены для выборки КТ-сканеров, которые являются частью ПЭТ/КТ аппаратов разных моделей, для взрослых и детей различных возрастных групп, указанных в таблице 1. Для каждого аппарата отдельно было определены дозы и КП для двух режимов: с автоматической модуляцией силы тока (АМСТ) и без АМСТ [2].

Таблица 1

Режимы сканирования взрослых и детей для КТ-сканеров^a, являющихся частью ПЭТ/КТ аппаратов разных моделей, для КТ-сканирования всего тела с захватом нижних конечностей пациента

[Table 1

Scanning parameters for adults and children for CT scanners^a which are part of PET/CT devices of different models, for CT scanning of the whole body including lower extremities]

Возрастная группа [Age group]	Коллимация, мм [Collimation, mm]	С автоматической модуляцией силы тока трубки (TCM strength 0,05) [With automatic tube current modulation (TCM strength 0,05)]		Без автоматической модуляции силы тока трубки [Without automatic tube current modulation]	
		CTDI _{vol,32} , мГр [CTDI _{vol} , mGy]	DLP, мГр·см [DLP, mGy·cm]	CTDI _{vol,32} , мГр [CTDI _{vol} , mGy]	DLP, мГр·см [DLP, mGy·cm]
GE LightSpeed (Average), General Electric					
0 лет [0 years]	10	1,2	62,4	10,8	561,6
1 год [1 year]	10	1,8	138,6		831,6
5 лет [5 years]	10	2,4	261,6		1177,2
10 лет [10 years]	10	3,6	496,8		1490,4
15 лет [15 years]	10	5,95 *	977,15 *		1771,2
Взрослые [Adults]	10	7,9 *	1349,45 *		1830,6
Optima 600, General Electric					
0 лет [0 years]	32	0,7	36,4	8	416
1 год [1 year]	32	1	77		616
5 лет [5 years]	32	1,3	141,7		872
10 лет [10 years]	32	1,7	234,6		1104
15 лет [15 years]	32	2,8 *	459,8 *		1312
Взрослые [Adults]	32	3,85 *	655,5 *		1356

¹ Роспотребнадзор. Методические указания МУК 2.6.7.3651-20 "Методы контроля в ПЭТ- диагностике для оптимизации радиационной защиты". 2020. 34 с. [МУК 2.6.7.3651-20 "Quality control methods in PET diagnostics for optimization of radiation protection". Rosпотребнадзор, 2020, 34 p. (In Russ.)]

² Смолярчук М.Я., Агафонова О.А., Морозов С.П. Р-36 Рекомендации по проведению и описанию исследований ПЭТ/КТ с 18F-фтордезоксиглюкозой, проводимых за счет средств МГФОМС в рамках территориальной программы города Москвы / Методические рекомендации № 39а. М.: 2017. 26 с. [Smolyarchuk M.Ya., Agafonova O.A., Morozov S.P. R-36 Recommendations for the conduct and description of PET/CT examinations with 18F-fluorodeoxyglucose, carried out at the expense of the Moscow City Compulsory Health Insurance Fund within the framework of the territorial program of the city of Moscow / Methodological recommendations No. 39a. Moscow; 2017. 26 p. (In Russ.)]

Brief reports

Продолжение таблицы 1

Возрастная группа [Age group]	Коллимация, мм [Collimation, mm]	С автоматической модуляцией силы тока трубки (TCM strength 0,05) [With automatic tube current modulation (TCM strength 0,05)]		Без автоматической модуляции силы тока трубки [Without automatic tube current modulation]	
		CTDI _{vol,32} , мГр [CTDI _{vol} , mGy]	DLP, мГр·см [DLP, mGy·cm]	CTDI _{vol,32} , мГр [CTDI _{vol} , mGy]	DLP, мГр·см [DLP, mGy·cm]
Somatom Definition (Average), Siemens					
0 лет [0 years]	10	0,7	36,4		348,4
1 год [1 year]	10	1,1	84,7		515,9
5 лет [5 years]	10	1,5	163,5	6,7	730,3
10 лет [10 years]	10	2,2	303,6		924,6
15 лет [15 years]	10	3,7*	607,7*		1095,5
Взрослые [Adults]	10	4,9*	837,05*		1135,7
Somatom Definition 64 (narrow BF), Siemens					
0 лет [0 years]	10	0,7	36,4		338
1 год [1 year]	10	1,1	84,7		500,5
5 лет [5 years]	10	1,4	152,6	6,5	708,5
10 лет [10 years]	10	2,1	289,8		897
15 лет [15 years]	10	3,6*	591,3*		1066
Взрослые [Adults]	10	4,75*	811,3*		1101,8
Somatom Definition 64 (wide BF), Siemens					
0 лет [0 years]	10	0,9	46,8		416
1 год [1 year]	10	1,4	107,8		616
5 лет [5 years]	10	1,8	196,2	8	872
10 лет [10 years]	10	2,6	358,8		1104
15 лет [15 years]	10	4,45*	730,85*		1312
Взрослые [Adults]	10	5,85*	999,05*		1356
Somatom Emotion 16, Siemens					
0 лет [0 years]	9,6	1,1	57,2		530,4
1 год [1 year]	9,6	1,7	130,9		785,4
5 лет [5 years]	9,6	2,2	239,8	10,2	1111,8
10 лет [10 years]	9,6	3,4	469,2		1407,6
15 лет [15 years]	9,6	5,65*	927,95*		1672,8
Взрослые [Adults]	9,6	7,45*	1272,85*		1728,9
Somatom Emotion 6, Siemens					
0 лет [0 years]	3,6	1,1	57,2		634,4
1 год [1 year]	3,6	1,6	123,2		939,4
5 лет [5 years]	3,6	2	218	12,2	1329,8
10 лет [10 years]	3,6	2,7	372,6		1683,6
15 лет [15 years]	3,6	4,3*	706,1*		1994,7
Взрослые [Adults]	3,6	5,8*	987,65*		2067,9

Возрастная группа [Age group]	Коллимация, мм [Collimation, mm]	С автоматической модуляцией силы тока трубки (TCM strength 0,05) [With automatic tube current modulation (TCM strength 0,05)]		Без автоматической модуляции силы тока трубки [Without automatic tube current modulation]	
		CTDI _{vol,32} , мГр [CTDI _{vol,32} , mGy]	DLP, мГр·см [DLP, mGy·cm]	CTDI _{vol,32} , мГр [CTDI _{vol,32} , mGy]	DLP, мГр·см [DLP, mGy·cm]
Somatom Emotion Duo, Siemens					
0 лет [0 years]	10	0,9	46,8	8,2	426,4
1 год [1 year]	10	1,4	107,8		631,4
5 лет [5 years]	10	1,8	196,2		893,8
10 лет [10 years]	10	2,7	372,6		1131,6
15 лет [15 years]	10	4,55*	747,25*		1344,8
Взрослые [Adults]	10	6*	1024,8*		1389,9
Somatom Sensation 40, Siemens					
0 лет [0 years]	24	0,6	31,2	6,8	353,6
1 год [1 year]	24	0,9	69,3		523,6
5 лет [5 years]	24	1,1	119,9		741,2
10 лет [10 years]	24	1,5	207		938,4
15 лет [15 years]	24	2,35*	385,85*		1115,2
Взрослые [Adults]	24	3,25*	553,15*		1152,6

* Общие параметры для всех КТ-сканеров: напряжение на трубке – 120 кВ, ток трубки – от 200 до 600 мА, время оборота трубки – 0,5 с, питч – 1 [Common parameters for all CT scanners: tube voltage – 120 kV, tube current – from 200 to 600 mA, tube rotation time – 0.5 s, pitch – 1].

* Значения CTDI_{vol,32} и DLP₃₂ представленные в программном обеспечении NCICT 3.0 для стандартного дозиметрического фантома 32 см диаметром были усреднены по полу для взрослых и детей 15 лет [CTDI_{vol,32} and DLP₃₂ values presented in the NCICT 3.0 software for a standard dosimetric phantom with a diameter of 32 cm and averaged by gender for adults and children 15 years old].

Для расчета поглощенных доз в органах использовалась программа NCICT 3.0 [3-5]. При моделировании условий облучения пациента в NCICT 3.0 учитывалась специфика модели томографа и длина сканирования. Длина сканирования соответствовала росту воксельного фантома в программе NCICT: 0 лет – 52 см, 1 год – 77 см, 5 лет – 109 см, 10 лет – 138 см, 15 лет – 161 см (девочка) и 167 см (мальчик), взрослые – 163 см (женщина) и 176 см (мужчина). Поглощенные дозы в органах были определены для фантомов, соответствующих мужчине и женщине каждой возрастной группы [6]. Далее поглощенные дозы в каждой возрастной группе были усреднены по полу.

Эффективная доза определялась в соответствии с методикой, представленной в 60 Публикации МКРЗ [7] и НРБ 99/2009³.

Коэффициенты перехода от DLP к эффективной дозе были определены для каждой модели аппарата согласно выражению (1) для стандартного дозиметрического фантома диаметром 32 см:

$$KП_{eff/DLP} = E_{eff}/DLP_{32}, \text{ мЗв}/(\text{мГр}\cdot\text{см}), \quad (1)$$

где: E_{eff} – эффективная доза пациента соответствующей возрастной группы, мЗв;

DLP_{32} – усредненное по полу значение произведения дозы на длину сканирования для стандартного дозиметрического фантома 32 см, мГр·см (табл. 1).

Отдельно были разработаны коэффициенты перехода от DLP_{32} к поглощенной дозе в матке для возможности прогностической оценки доз в плоде у беременных женщин. Согласно работе [8], поглощенные дозы в матке являются хорошим эквивалентом поглощенной дозы эмбриона или плода.

Коэффициенты перехода от DLP к поглощенной дозе в матке были определены согласно выражению (2):

$$KП_{D/DLP} = D/DLP_{32}, \text{ мЗв}/(\text{мГр}\cdot\text{см}), \quad (2)$$

где: D – поглощенная доза в матке у соответствующей возрастной группы, мЗв;

DLP_{32} – значение произведения дозы на длину сканирования для фантома взрослой женщины и фантома подростка женского пола возрастной группы 15 лет, мГр·см.

Итоговые значения эффективных доз, поглощенных доз в матке, коэффициентов перехода от DLP к поглощенной дозе в матке, коэффициентов перехода от DLP к эффективной дозе были определены как средние значения выборок данных величин, полученных на всех рассмотренных моделях аппаратов.

³ Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 07.07.2009 N 47 «Об утверждении СанПиН 2.6.1.2523-09» (вместе с «НРБ-99/2009. СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности. Санитарные правила и нормативы») (Зарегистрировано в Минюсте РФ 14.08.2009 N 14534). [Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation dated July 7, 2009 N 47 “On approval of SanPiN 2.6.1.2523-09” (together with “NRB-99/2009. SanPiN 2.6.1.2523-09. Radiation safety standards. Sanitary rules and regulations”) (Registered with the Ministry of Justice of the Russian Federation on August 14, 2009 N 14534). (In Russ.)]

Результаты

Поглощенные дозы в матке, эффективные дозы, коэффициенты перехода от DLP₃₂ к эффективной дозе, а также коэффициенты перехода от DLP₃₂ к поглощенной дозе в матке для КТ-исследований всего тела с захватом нижних конечностей пациента представлены в таблице 2.

Коэффициенты перехода от DLP₃₂ к эффективной дозе и коэффициенты перехода от DLP₃₂ к поглощенной дозе в матке, представленные в таблице 2, даны с учетом усред-

нения параметров сканирования девяти моделей ПЭТ/КТ аппаратов и DLP₃₂ между мужчинами и женщинами (для взрослых и детей 15-ти лет).

Вариабельность коэффициентов перехода среди аппаратов была небольшой и составила – для КП_{eff/DLP} 1,5%; для КП_{D/DLP} – 0,1%. Вариабельность эффективных доз среди всех возрастных групп среди аппаратов составила 25-29%. Вариабельность поглощенных доз в матке среди аппаратов составила 28% для детей 15 лет и 25% для взрослых.

Таблица 2

Поглощенные дозы в матке, эффективные дозы, коэффициенты перехода от DLP₃₂ к эффективной дозе, а также коэффициенты перехода от DLP₃₂ к поглощенной дозе в матке для КТ-исследований всего тела с захватом нижних конечностей для разных возрастных групп пациентов

[Table 2

Absorbed doses in uterus, effective doses, conversion coefficients from DLP₃₂ to effective dose, conversion coefficients from DLP₃₂ to absorbed dose in uterus for CT-examinations of whole body including lower extremities for different age groups of patients]

Область исследования [Scan area]	Возраст пациента, годы [Age of patient, years]					Взрослые [Adults]
	0 – 0,5	0,5 – 2	2 – 7	7 – 12	12 – 17	
32 см фантом [32 cm phantom]						
С автоматической модуляцией силы тока трубки (TCM strength 0,05) [With automatic tube current modulation (TCM strength 0,05)]						
Эффективная доза, мЗв* [Effective dose, mSv*]	0,26±0,07 (0,18 – 0,35)	0,56±0,14 (0,38 – 0,76)	0,90±0,23 (0,58 – 1,26)	1,72±0,48 (1,03 – 2,47)	4,42±1,27 (2,5 – 6,34)	7,28±2,04 (4,24 – 10,43)
Поглощенная доза в матке, мГр* [Absorbed dose in uterus, mGy*]	–	–	–	–	3,08±0,88 (1,76 – 4,41)	5,21±1,30 (3,3 – 7,24)
КП _{eff/DLP} , мЗв/(мГр·см)** [CC _{eff/DLP} , mSv/(mGy·cm)**]	0,0057 ± 0,0001	0,0055 ± 0,00003	0,0048 ± 0,00002	0,005 ± 0,00001	0,0065 ± 0,000005	0,0077 ± 0,00003
КП _{D/DLP} , мЗв/(мГр·см)** [CC _{D/DLP} , mSv/(mGy·cm)**]	–	–	–	–	0,0049 ± 0,00001	0,0071 ± 0,000004
Без автоматической модуляции силы тока трубки [Without automatic tube current modulation]						
Эффективная доза, мЗв* [Effective dose, mSv*]	23,7±5,5 (17,9 – 29,7)	23,1±5,4 (17,5-29,01)	21,6±5,1 (16,3-30,7)	19,05±4,5 (14,4- 27,0)	16,74±3,9 (12,7-23,8)	14,9±3,4 (12,2-22,3)
Поглощенная доза в матке, мГр* [Absorbed dose in uterus, mGy*]	–	–	–	–	11,1±2,6 (8,4-15,7)	9,96±2,5 (7,2-12,6)
КП _{eff/DLP} , мЗв/(мГр·см)** [CC _{eff/DLP} , mSv/(mGy·cm)**]	0,053 ± 0,0001	0,0349 ± 0,00001	0,0231 ± 0,000003	0,0161 ± 0,000003	0,0119 ± 0,00002	0,0104 ± 0,001
КП _{D/DLP} , мЗв/(мГр·см)** [CC _{D/DLP} , mSv/(mGy·cm)**]	–	–	–	–	0,008 ± 0,000002	0,0072 ± 0,0012

* Данные представлены в формате: среднее значение±SD (минимальное значение – максимальное значение) [Data are presented in the format: mean value±SD (minimum value – maximum value)].

** Данные представлены в формате: среднее значение±SD [Data are presented in the format: mean value±SD].

Обсуждение

На рисунке 1 представлено сравнение средних значений коэффициентов перехода при сканировании всего тела (с захватом нижних конечностей), полученных в данной работе для протоколов с автоматической модуляцией силы тока (АМСТ) и без АМСТ. Для сравнения приведены коэф-

фициенты перехода из МУ 2.6.1.3584-19⁴ при КТ-сканировании, ограниченном верхней третью бедра.

Коэффициенты перехода зависят от автоматической модуляции силы тока. КП для протоколов с АМСТ оказались ниже по сравнению с протоколами без АМСТ, особенно для детей: для детей возрастной группы 0 лет – в 9 раз, для детей возрастной группы 1 года – в 6 раз, для детей

⁴ Методические указания МУ 2.6.1.3584-19 "Изменения в МУ 2.6.1.2944-19 «Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований». [Guidelines MU 2.6.1.3584-19 "Changes to MU 2.6.1.2944-19 "Control of effective radiation doses to patients during medical x-ray examinations". (In Russ.)].

возрастной группы 5 лет – в 5 раз, для детей возрастной группы 10 лет – в 3 раза, для детей возрастной группы 15 лет – в 2 раза, для взрослых различие не такое существенное и составило 20%. Протоколы с автоматической силой тока позволяют снижать поглощенную дозу в радиочувствительных органах, что приводит к значительному снижению КП. Для младшей возрастной категории, где наблюдалось наибольшее различие, было проведено сопоставление доз в органах, полученных в режиме АМСТ и без АМСТ, для этого дозы в органах для каждой модели КТ бы-

ли нормированы на значения эффективных доз (рис. 2). Представленные разбросы поглощенных доз в органах, отнесенных к эффективным дозам, позволяют оценить как изменяются дозы в радиочувствительных органах с измерением профиля дозы в режиме АМСТ и без АМСТ. Полученные отношения демонстрируют, что АМСТ приводит к снижению относительных поглощенных доз в следующих радиочувствительных органах: тимус – в среднем на 9%, головной мозг – 7%, щитовидная железа – 14%; пищевод – 7%, легкие – 7%, молочная железа – 7%, гонады у мужчин – 15%.

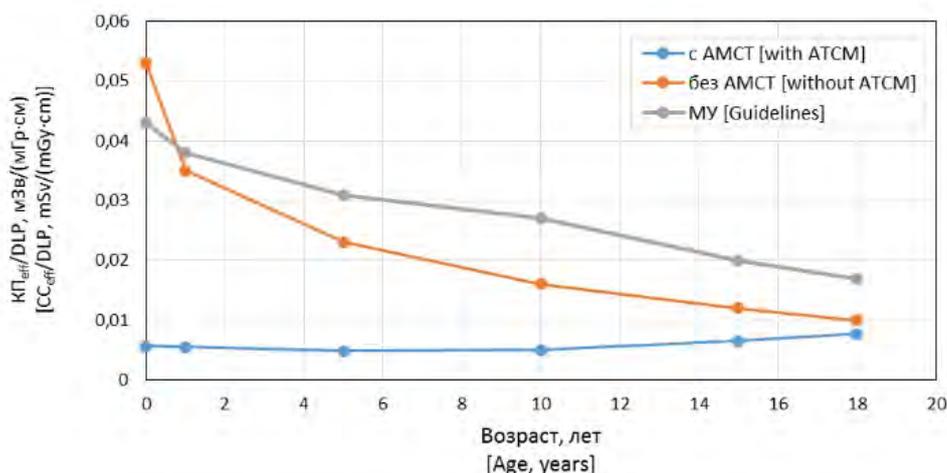


Рис. 1. Сравнение средних значений коэффициентов перехода при сканировании всего тела (с захватом нижних конечностей), полученных в данной работе для протоколов с автоматической модуляцией силы тока (АМСТ) и без АМСТ
[Fig. 1. Comparison of the average values of conversion coefficients for whole body scanning (including lower limbs) for protocols with automatic tube current modulation (ATCM) and without ATCM]

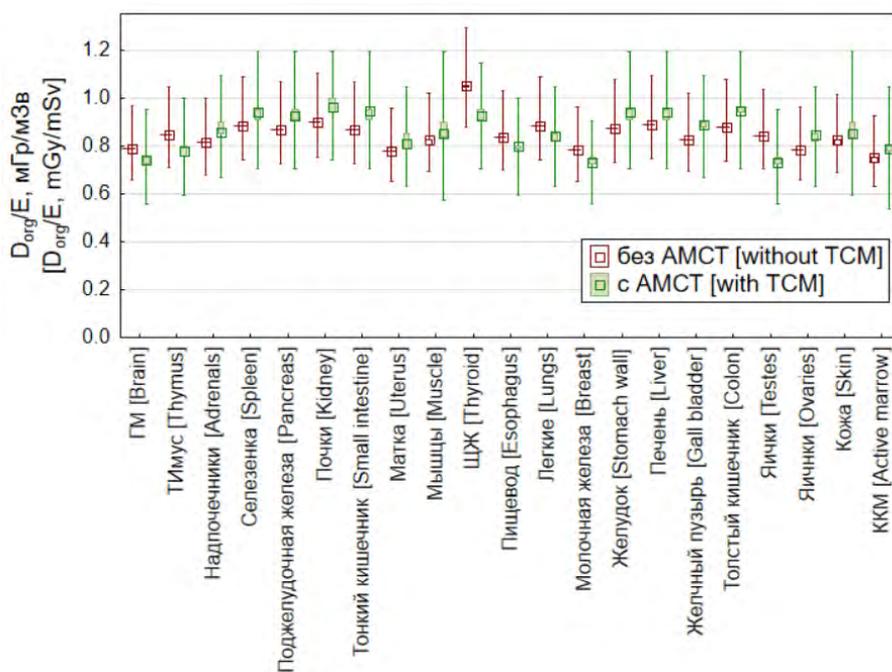


Рис. 2. Сопоставление доз в органах, полученных в режиме АМСТ и без АМСТ, нормированных для каждой модели КТ на значения эффективных доз для младшей возрастной группы
[Fig. 2. Comparison organ doses received with ATCM and without ATCM, normalized for each CT scanner to the values of effective doses for the younger age group]

Сравнение КП от DLP_{32} к эффективной дозе для КТ-сканирования зоны всего тела, ограниченной верхней третью бедра, представленные в МУ 2.6.1.3584-19, со значениями, полученными в настоящей работе для зоны всего тела с захватом нижних конечностей (рис. 2) без АМСТ, показало, что для всех возрастных групп, за исключением новорожденных, КП для зоны сканирования с захватом нижних конечностей ниже КП, представленных в МУ. Это объясняется существенным увеличением зоны сканирования за счет длины ног и, соответственно, увеличения значения DLP , при том, что изменение эффективной дозы будет несущественным, т.к. в обоих случаях все радиочувствительные органы входят в зону сканирования. Использование КП из МУ 2.6.1.3584-19 для КТ-исследований всего тела с захватом нижних конечностей будет приводить к существенной переоценке доз пациентов. Для новорожденных детей длина сканирования и значение DLP не сильно изменяется при захвате нижних конечностей за счет короткой длины ног и их позиционирования (О-образная форма, колени согнуты и развернуты наружу) и не влияет на значение КП. Значение КП, полученное в работе для этой возрастной категории, оказалось незначительно выше (в пределах 20%), по сравнению со значением КП, представленным в МУ. Такое различие может объясняться разной методологией определения КП в разных исследованиях и учетом разных моделей аппаратов.

Полученные в работе коэффициенты перехода учитывают разные модели КТ-аппаратов, используемых в ПЭТ/КТ сканерах, и могут быть использованы для оценки эффективных доз пациентов при КТ-сканировании всего тела с захватом нижних конечностей при ПЭТ/КТ-исследованиях. При этом стоит обращать внимание на активацию функции АМСТ в протоколе КТ-сканирования.

Заключение

Рассчитанные коэффициенты перехода от DLP_{32} к поглощенной дозе в матке и от DLP_{32} к эффективной дозе для КТ-исследования всего тела с захватом нижних конечностей для разных возрастных групп пациентов целесообразно использовать для оценки эффективных доз пациентов и для прогностической оценки поглощенной дозы в плоде у беременных женщин. Полученные коэффициенты могут использоваться персоналом отделений ПЭТ-диагностики для оценки доз у пациентов при проведении сканирования всего тела с захватом нижних конечностей, и могут быть включены в нормативно-методические документы при их пересмотре.

Использование коэффициентов перехода, представленных в МУ 2.6.1.3584-19, для КТ-исследований всего тела (с захватом нижних конечностей) будет приводить к существенной переоценке эффективных доз пациентов.

Полученные коэффициенты перехода могут быть использованы для моделей аппаратов, не рассмотренных в данном исследовании, если параметры сканирования этих аппаратов существенно не отличаются от представленных в таблице 1. В ином случае целесообразно рассчитать специфические коэффициенты перехода для определенных параметров и моделей аппаратов.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Дружинина П.С. – разработка дизайна исследования, определение целей и задач исследования, обработка данных, написание статьи, оформление окончательного варианта статьи для публикации в журнал.

Чипига Л.А. – разработка дизайна исследования, определение целей и задач исследования, осуществление общего научного руководства исследованием, обработка данных, написание статьи, оформление окончательного варианта статьи для публикации в журнал.

Водоватов А.В. – обработка данных, обсуждение и анализ результатов работы, редакция промежуточного варианта статьи.

Солдатов И.В. – обсуждение и анализ результатов работы, редакция промежуточного варианта статьи.

Лантух З.А. – обзор литературы, редакция промежуточного варианта статьи.

Толкачев К.В. – обзор литературы, редакция промежуточного варианта статьи.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. Чипига Л.А., Ладанова Е.Р., Водоватов А.В. и др. Тенденции развития ядерной медицины в Российской Федерации за 2015–2020 гг. // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 4. С. 122–133. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-4-122-133.
2. Чипига Л.А. Исследование программ автоматической модуляции силы тока для оптимизации протоколов сканирования в компьютерной томографии // Радиационная гигиена. 2019. Т. 12, № 1. С. 104–114. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-1-104-114.
3. 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, No 4. P. 891–909. DOI: 10.1088/0952-4746/35/4/891. Epub 2015 Nov 26. PMID: 26609995.
4. 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.
5. Chipiga L., Golikov V., Vodovатов A. et al. Comparison of organ absorbed doses in whole-body computed tomography scans of paediatric and adult patient models estimated by different methods // *Radiation Protection Dosimetry*. 2021. Vol. 195, Issue 3–4. P. 246–256. DOI: 10.1093/rpd/ncab086.
6. 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. P. 339–363.
7. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60 // *Annals of the ICRP*. 1991. № 21. 90 p.
8. Водоватов А.В., Чипига Л.А., Пивень П.А. и др. Оценка поглощенных доз в плоде при проведении компьютерной томографии органов грудной клетки беременной женщины // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 3. С. 126–135. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-3-126-135.

Поступила: 07.07.2024

Дружинина Полина Сергеевна – младший научный сотрудник, лаборатория 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 человека. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: druzhininapauline@gmail.com
ORCID: 0000-0003-2921-067X

Чипига Лариса Александровна – кандидат технических наук, 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 человека; научный сотрудник Российского научного центра радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова; доцент кафедры ядерной медицины и радиационных технологий Национального медицинского исследовательского центра им. В.А. Алмазова, Санкт-Петербург, Россия
ORCID: 0000-0001-9153-3061

Водоватов Александр Валерьевич – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией 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 человека; доцент кафедры общей гигиены Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета, Санкт-Петербург, Россия
ORCID: 0000-0002-5191-7535

Солдатов Илья Владимирович – начальник испытательной лаборатории, Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия
ORCID: 0000-0002-4867-0746

Лантух Зоя Александровна – начальник отдела дозиметрического контроля и медицинской физики, Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

Толкачев Кирилл Владимирович – эксперт отдела дозиметрического контроля и медицинской физики, Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия
ORCID: 0000-0001-8871-8700

Для цитирования: Дружинина П.С., Чипига Л.А., Водоватов А.В., Солдатов И.В., Лантух З.А., Толкачев К.В. **Определение коэффициентов перехода от произведения дозы на длину сканирования к эффективной дозе для компьютерно-томографических исследований всего тела с захватом нижних конечностей пациента // Радиационная гигиена.** 2024. Т. 17, № 4. С. 126–134. DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-4-126-134

Determination of the conversion coefficients from the dose-length product to the effective dose for CT-examinations of the whole body including lower extremities

Polina S. Druzhinina¹, Larisa A. Chipiga^{1,2,3}, Aleksandr V. Vodovатов^{1,4}, Ilya V. Soldatov⁵, Zoya A. Lantukh⁵, Kirill V. Tolkachev⁵

¹ Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance of Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint Petersburg, Russia

² A. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia

³ V. Almazov National Medical Research Center, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia

⁴ Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia

⁵ Research and Practical Clinical Centre of Diagnostics and Telemedicine Technologies of Moscow Healthcare Department, Moscow, Russia

Today in the Russian Federation, the existing method for assessing patients' effective doses during computed tomography in the form of conversion coefficients from the dose-length product provides for the area from the head to the upper third of the femur but does not consider the possibility of scanning the whole body including the lower extremities. In this case, for some nosologies, the lower extremities may be involved. The aim of the study was to develop conversion coefficients from the dose-length product to the effective dose for whole-body computed tomography scanning including the patient's lower extremities. The coefficients for whole-body computed tomography scans (including the lower extremities) were determined for a sample of computed tomography scanners that are part of positron emission tomography combined with computed tomography devices of different models for adults and children of different age groups. In NCICT 3.0 software absorbed organ doses were calculated taking into account the specific model of devices and scan length. Effective doses were determined in accordance with the methodology presented in Publication 60 of the International Commission on Radiological Protection and Radiation Safety Standards 99/2009. Separately, conversion coefficients were developed from the dose-length product to the absorbed dose in uterus to enable predictive assessment of doses in the fetus in pregnant women. The study presents the average values of the received effective doses, absorbed doses in uterus and conversion coefficients for all considered models of devices. Conversion coefficients for protocols with automatic tube current modulation were lower compared to those for protocols without automatic tube current modulation, especially for pediatric patients: for children with an average age of 0 years – 9 times, for children an average age of 1 year – 6 times, for children an average age of 5 years – 5 times, for children an average age of 10 years – 3 times, for children an average age of 15 years – 2 times; for adults the difference was 20%. Comparison of the conversion coefficients from the dose-length product

Polina S. Druzhinina

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

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

to the effective dose for computed tomographic scanning of the whole body area limited to the upper third of the femur, presented in guidelines 2.6.1.3584-19, with the values obtained in this study for the whole body area with the lower extremities without automatic tube current modulation showed that for all age groups, with the exception of newborns, the conversion coefficients for the scanning area with the lower extremities are lower than those presented in the guidelines. Using the conversion coefficients from the Guideline 2.6.1.3584-19 for whole-body computed tomography scanning with the lower extremities will lead to a significant overestimation of patient doses. The calculated conversion coefficients from the dose-length product to the absorbed dose in uterus and from the dose-length product to the effective dose for computed tomography examination of the whole body with the lower extremities for different age groups of patients are suitable for assessing the effective doses of patients and for prognostic estimates of absorbed dose in the fetus in pregnant women.

Key words: conversion coefficients, positron emission tomography, computed tomography, effective doses, organ doses.

Authors' personal contribution

Polina S. Druzhinina – data processing, wrote the manuscript, arranged the final version of the manuscript for publication in the journal.

Larisa A. Chipiga – developed the design of the survey, provided general scientific management of the project, data processing, wrote the manuscript.

Aleksandr V. Vodovатов – discussion and analysis of the results, editing of the article.

Ilya V. Soldatov – discussion and analysis of the results, editing an interim version of the article.

Zoya A. Lantukh – literature search, editing an interim version of the article.

Kirill V. Tolkachev – literature search, editing an interim version of the article.

Conflict of interests

The authors declare that they have no conflicts of interest when conducting the study and preparing this paper.

References

1. Chipiga LA, Ladanova ER, Vodovатов AV, Zvonova I., Mosunov AA, Naurzbaeva LT, et al. Trends in the development of nuclear medicine in the Russian Federation for 2015–2020. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022;15(4): 122-133. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-4-122-133.
2. Chipiga LA. Evaluation of tube current modulation programs for the optimization of scan protocols in computed tomography. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2019;12(1): 104-114. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-1-104-114.
3. Lee C, Kim KP, Bolch WE, Moroz BE, Folio L. NCICT: a computational solution to estimate organ doses for pediatric and adult patients undergoing CT scans. *Journal of Radiological Protection*. 2015;35(4): 891-909. DOI: 10.1088/0952-4746/35/4/891.
4. Chipiga LA. A comparison of computational methods for estimation of effective and organ doses to the patients from CT examination. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2017;10(1): 56-64. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2017-10-1-56-64.
5. Chipiga L, Golikov V, Vodovатов A, Bernhardtsson Ch. Comparison of organ absorbed doses in whole-body computed tomography scans of paediatric and adult patient models estimated by different methods. *Radiation Protection Dosimetry*. 2021;195(3-4): 246–56. DOI: 10.1093/rpd/ncab086.
6. Lee C, Lodwick D, Hurtado J, Pafundi D, Williams JL, Bolch WE. The UF family of reference hybrid phantoms for computational radiation dosimetry. *Physics in Medicine and Biology*. 2010;55(2): 339–363.
7. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. *Annals of the ICRP*. 1991;21: 90.
8. Vodovатов AV, Chipiga LA, Piven PA, Trufanov GE, Berkovich GV, Mashchenko IA, et al. Assessment of the absorbed doses in the fetus from the computed tomography of the chest for the pregnant women. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021;14(3): 126-35. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-3-126-135.

Received: July 07, 2024

For correspondence: Polina S. Druzhinina – Junior research fellow, Laboratory of radiation hygiene of medical facilities, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing (Mira Str., 8, Saint Petersburg, 197101, Russia; E-mail: druzhininapauline@gmail.com)

ORCID: 0000-0003-2921-067X

Larisa A. Chipiga – Candidate of Engineering Sciences, Research fellow, Laboratory of radiation hygiene of medical facilities, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; research fellow, A. Granov Russian Research Center of Radiology and Surgical Technologies, Ministry of Healthcare of the Russian Federation; docent, V. Almazov National Medical Research Centre, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia

ORCID: 0000-0001-9153-3061

Aleksandr V. Vodovатов – Candidate of Biological Sciences, Head of Laboratory of radiation hygiene of medical facilities, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; docent, Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia

ORCID: 0000-0002-5191-7535

Ilya V. Soldatov – Head of the testing laboratory, Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Department of Health, Moscow, Russia

ORCID: 0000-0002-4867-0746

Zoya A. Lantukh – Head of the Department of Dosimetric Monitoring and Medical Physics, Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Department of Health, Moscow, Russia

Kirill V. Tolkachev – Expert of the department of dosimetric monitoring and medical physics, Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Department of Health, Moscow, Russia

ORCID: 0000-0001-8871-8700

For citation: Druzhinina P.S., Chipiga L.A., Vodovатов A.V., Soldatov I.V., Lantukh Z.A., Tolkachev K.V. Determination of the conversion coefficients from the dose-length product to the effective dose for CT-examinations of the whole body including lower extremities. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2024. Vol. 17, No. 4. P. 126–134. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-4-126-134