

Поглощенные дозы в органах при компьютерной томографии с применением средств индивидуальной радиационной защиты на примере фантома пятилетнего ребенка

Дружинина П.С.¹, Шацкий И.Г.¹, Чипига Л.А.^{1,2,3}, Бажин С.Ю.¹, Шлеенкова Е.Н.¹, Алексеева Д.В.³, Волок О.И.³

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

Несмотря на международные рекомендации, в некоторых медицинских организациях сохраняется практика использования защитных фартуков, в том числе для детей. Существующие расчетные методы не позволяют оценить поглощенные дозы при использовании фартука, что делает актуальным прямое дозиметрическое исследование. Материалы и методы: Исследование выполнено с помощью фантома пятилетнего ребенка с использованием термолюминесцентных детекторов. Сканирование грудной клетки проводилось на томографе Somatom Force (Siemens, Германия, 2022 года производства) с вариантами использования фартука: без фартука; с фартуком, обернутым вокруг фантома; с фартуком в виде покрывала. Использованы наборы параметров сканирования: 1) фиксированное напряжение 70 кВ с модуляцией силы тока; 2) полностью автоматический режим. Результаты исследования и обсуждение: При обертывании фартуком наблюдалось как снижение доз в некоторых радиочувствительных органах, так и рост доз в других в 3–8 раз. Использование фартука в виде покрывала приводило к существенному росту доз для большинства радиочувствительных органов и тканей, включая органы полностью или частично закрытые фартуком (3–15 раз). В органах, частично закрытых фартуком, изменения доз в зависимости от варианта использования средств индивидуальной радиационной защиты были наиболее существенны: на автоматических режимах сканирования при использовании фартука, обернутого вокруг фантома, дозы в этих органах возросли в 1,1–4,2 раза в сравнении с дозами в тех же органах, но без использования средств индивидуальной радиационной защиты; при использовании фартука-покрывала дозы в органах, частично закрытых фартуком, увеличились в 4,5–8,5 раз. Заключение: Использование фартука при компьютерной-томографии приводит к снижению доз в одних органах, но сопровождается значительным (до 15 раз и более) ростом доз в других, особенно в автоматических режимах.

Ключевые слова: средства индивидуальной защиты, компьютерная томография, защитный фартук, радиационная защита, поглощенная доза.

Введение

Несмотря на рекомендации авторитетных зарубежных профессиональных сообществ [1, 2] (Международное агентство по атомной энергии, Американская ассоциация медицинских физиков и др.) о нецелесообразности и опасности применения средств индивидуальной защиты (СИЗ) пациентов при проведении компьютерно-томографических исследований (КТ-исследований), в Российской Федерации в некоторых медицинских организациях все еще сохраняется практика использования защитных фартуков для защиты пациентов, в т.ч. детей, а также беременных женщин.

Международные регулирующие документы не рекомендуют применение СИЗ при КТ-исследованиях [1, 2]. СИЗ, находящиеся в зоне сканирования, могут приводить к значительным артефактам на КТ-изображении и существенному изменению параметров сканирования (увеличению напряжения рентгеновской трубки и начального значения силы тока) за счет особенностей работы программ автоматической модуляции силы тока и напряжения рентгеновской трубки (АМСТ) [3, 4]. Таким образом, в ряде зарубежных исследований было отмечено значительное увеличение поглощенных доз в отдельных органах и тканях при использовании СИЗ в области сканирования [5, 6]. Помимо этого, несколько зарубежных исследований показали нецелесооб-

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

разность применения СИЗ и вне зоны сканирования в случае применения программ АМСТ, так как существенного снижения поглощенных доз не наблюдалось [6–9]. Кроме того, в зарубежной литературе встречаются аргументы санитарно-эпидемиологического характера против использования СИЗ, а именно что СИЗ могут служить резервуаром и источником распространения для внутрибольничной инфекции [9, 10].

Существующие расчетные методы оценки поглощенных доз в КТ не дают возможность оценки доз при использовании СИЗ. В свою очередь, дозиметрия в фантоме предоставляет такую возможность. При этом термолюминесцентная (ТЛ) дозиметрия является наиболее распространенным и доступным методом, с помощью которого можно оценить влияние СИЗ на поглощенные дозы в радиочувствительных органах и тканях.

Цель исследования – оценка поглощенных доз при компьютерно-томографических исследованиях органов грудной клетки в зависимости от вариантов использования СИЗ на примере антропоморфного фантома пятилетнего ребенка.

Задачи исследования

1. Сканирование фантома пятилетнего ребенка с ТЛ-детекторами на томографе Somatom Force (Siemens, Германия, 2022 год производства) с разными режимами АМСТ при различных вариантах использования СИЗ.
2. Определение поглощенных доз при различных вариантах использования СИЗ на основании ТЛ-дозиметрии.
3. Оценка влияния расположения СИЗ на поглощенные дозы в радиочувствительных органах и тканях.

Материалы и методы

Антропоморфный фантом

Исследование было проведено на базе Отделения лучевой диагностики №1 ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России с помощью антропоморфного гетерогенного фантома, представляющего пятилетнего ребенка ростом 109 см и массой тела 19 кг [4, 11, 12]. Антропоморфный гетерогенный фантом пятилетнего ребенка состоит из аксиальных срезов толщиной 25 мм. Срезы фантома содержат отверстия для ТЛ-детекторов. Схема расположения и количество ТЛ-детекторов при каждом эксперименте (сканировании) представлена в таблице 1.

ТЛ-детекторы

Измерение поглощенных доз (ПД) в органах фантома проводилось с помощью ТЛ-детекторов ДТГ-4, толщиной ≈ 1 мм и диаметром 4,5 мм [13]. Считывание сигналов детекторов осуществлялось с помощью термолюминесцентного дозиметрического прибора «Harshaw» 2000D (США).

Калибровка детекторов производилась на эталонных установках ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» в поле гамма-излучения источника ^{137}Cs в терминах поглощенной дозы в воздухе с учетом рассеяния излучения от водного фантома. Погрешность оценки коэффициента калибровки составляла 10 % с доверительной вероятностью 95 %. Дополнительная погрешность за счет энергетической зависимости показаний ТЛ-детекторов в поле рентгеновского излучения с напряжением на трубке 80–120 кВ не превышала 10 %. Общая погрешность определения коэффициента калибровки ТЛ-детекторов не превышала 15 %.

Таблица 1. Расположение и количество ТЛ-детекторов при каждом эксперименте (сканировании)
[Table 1. Layout and number of TL detectors in each experiment (scan)]

Орган [Organ]	Число ТЛД, шт. [Number of TLD, pcs.]
Головной мозг [Brain]	4
Глазные яблоки [Eyeballs]	2
Слюнные железы [Salivary glands]	2
Ротовая полость [Oral cavity]	1
Кости [Bones]	53
Щитовидная железа [Thyroid gland]	4
Пищевод [Esophagus]	6
Тимус [Thymus]	3
Легкие [Lungs]	28
Молочные железы [Breast]	2
Желудок [Stomach]	10
Печень [Liver]	14
Желчный пузырь [Gallbladder]	1
Надпочечники [Adrenal glands]	4
Селезенка [Spleen]	4
Поджелудочная железа [Pancreas]	3
Почки [Kidneys]	6
Тонкий кишечник [Small intestine]	4
Толстый кишечник [Large intestine]	9
Мочевой пузырь [Urinary bladder]	5
Простата [Prostate]	1
Матка [Uterus]	1
Яички [Testes]	4
Яичники [Ovaries]	2
Лимфатические узлы [Lymph nodes]	2
Всего [Total]	171

Для определения органных доз в терминах поглощенной дозы в мягкой и костной тканях вышеуказанное значение коэффициента калибровки корректировалось путем деления на коэффициент перехода от значения кермы в воздухе к индивидуальному эквиваленту дозы для данного качества излучения (1,73 [14]), умножения на среднее значение отношения массовых коэффициентов поглощения рентгеновского излучения, генерируемого при напряжении на трубке 70–100 кВ, в мягкой ткани (1,086), в легких (1,005) и в костной ткани (5,72) и умножения на коэффициент, учитывающий изменение энергетической чувствительности ТЛ-детекторов, обусловленное спектром рентгеновского излучения и излучения ^{137}Cs (1,18 – для 70 кВ; 1,15 – для 100 кВ) [15, 16].

Для определения естественного фона использовалось 10 детекторов, которые во время проведения эксперимента располагались в комнате управления, все остальное время детекторы находились совместно.

Средние поглощенные дозы (СПД) в органах и тканях вычислялись как средние значения из показаний ТЛ-детекторов, расположенных в каждом органе, умноженные на коэффициент калибровки. При этом из показаний каждого рабочего детектора было вычтено усредненное значение показаний фоновых детекторов.

Использование СИЗ

Сканирование фантома с различными вариантами позиционирования защитного фартука было выполнено на стандартном КТ-протоколе грудной клетки для пятилетних детей, который используется для диагностики в КТ-отделении. Используемые варианты позиционирования: защитного фартука

- без фартука (эталон);
- с фартуком, обернутым, вокруг фантома;
- с фартуком в виде покрывала, накинутого поверх пациента.

Более подробно информация о позиционировании защитного фартука описана в предыдущей работе авторов [4].

В исследовании использовался защитный фартук РЕНЕКС ФРОС-0,5 с толщиной свинца 0,5 мм.

Протоколы сканирования для измерения поглощенных доз

Учитывая особенности работы АМСТ CareDose 4D и Care kV, применяемых в исследуемом КТ-сканере, для измерения ПД в органах с разными вариантами использования СИЗ были выбраны два набора параметров сканирования с использованием разных настроек.

Набор параметров 1: сканирование фантома с разными вариантами использования СИЗ проводилось с включенной программой Care Dose 4D, при этом для варианта 1 использования СИЗ Care kV была включена, а для вариантов 2 и 3 Care kV была выключена. В первом случае значение напряжения было выставлено вручную 70 кВ и оно было одинаково для всех трех вариантов сканирований (табл. 2). Одинаковое значение напряжения позволило создать схожие условия облучения для всех трех вариантов использования СИЗ. Модуляция силы тока была включена, так как является полезным инструментом для оптимизации дозы и используется также и при реально проводимых исследованиях. За счет создания схожих условий облучения при фиксированном напряжении набор параметров 1 являлся оптимальным для изучения влияния СИЗ на поглощенные дозы.

Таблица 2. Набор параметров 1 сканирования фантома
[Table 2. Parameter set 1 for phantom scanning]

Вариант использования СИЗ [PPE use case]	Вариант 1 [Option 1]	Вариант 2 [Option 2]	Вариант 3 [Option 3]
Напряжение, кВ Care kV вкл.(+)/выкл.(-) [Voltage, kV Care kV on (+)/off (-)]	70 +	70 –	70 –
Диапазон тока, мин мА-макс мА (CareDose 4D – вкл.(+)/выкл.(-) [Current range, min mA – max mA (CareDose 4D – on (+)/off (-)]	85-96 + (34 Eff.mAs)	40-156 + (23 Eff.mAs)	40-708 + (65 Eff.mAs)
Время оборота трубки, с [Tube rotation time, s]		0,5	
Толщина среза, мм Коллимация, мм [Slice thickness, mm Collimation, mm]		3 192 × 0,6	
Питч [Pitch]		1,4	
Длина сканирования, мм [Scan length, mm]		175	
Высота стола, мм [Table height, mm]		100	

Набор параметров 2: сканирование фантома с разными вариантами использования СИЗ проводилось с включенными программами CareDose 4D и Care kV (табл. 3). Данная серия сканирований является отражением реальной медицинской практики, так как большинство КТ-сканирований

проводятся на полностью автоматических режимах. Серия сканирований с использованием набора параметров 2 отражает то, как будут меняться ПД в органах при использовании СИЗ в реальной практике в медицинском учреждении.

Таблица 3. Набор параметров 2 сканирования фантома
[Table 3. Parameter set 2 for phantom scanning]

Вариант использования СИЗ [PPE use case]	Вариант 1 [Option 1]	Вариант 2 [Option 2]	Вариант 3 [Option 3]
Напряжение, кВ Care kV вкл.(+)/выкл.(-) [Voltage, kV Care kV on (+)/off (-)]	70 +	80 +	100 +
Диапазон тока, мин мА-макс мА (CareDose 4D – вкл.(+)/выкл.(-) [Current range, min mA – max mA (CareDose 4D – on (+)/off (-)]	85-96 + (34 Eff.mAs)	57-305 + (54 Eff.mAs)	32-245 + (83 Eff.mAs)

Вариант использования СИЗ [PPE use case]	Вариант 1 [Option 1]	Вариант 2 [Option 2]	Вариант 3 [Option 3]
Время оборота трубки, с [Tube rotation time, s]		0,5	
Толщина среза, мм Коллимация, мм [Slice thickness, mm Collimation, mm]		3 192 × 0,6	
Питч [Pitch]		1,4	
Длина сканирования, мм [Scan length, mm]		175	
Высота стола, мм [Table height, mm]		100	

Для достижения минимального порога детектирования измерений ТЛ-детекторов в диапазоне низких доз (порядка 0,1 мЗв) каждый вариант сканирования фантома включал серию из 11 сканирований с одинаковыми параметрами. При представлении и оценке результатов полученные значения ПД были приведены к одному сканированию.

Сканирование фантома проводилось на технически пригодном аппарате. Техническая пригодность аппарата определялась верификацией значения объемного компьютерного томографического индекса дозы (CTDI_{vol}). Методика проведения верификации CTDI_{vol} подробно описана в предыдущей работе [4].

Статистическая обработка данных

Статистическая обработка данных была выполнена с помощью Microsoft Excel. Вычисление процентных отклонений

ПД в органах и тканях (d) в сравнении с эталонными ПД было выполнено с помощью выражения:

$$d = \frac{\text{СПД}_{\text{СИЗ}} - \text{СПД}_{\text{эталон}}}{\text{СПД}_{\text{эталон}}} \times 100 \%,$$

где СПД_{СИЗ} – средняя ПД в органе фантома при сканировании с одним из вариантов использования СИЗ; СПД_{эталон} – средняя ПД в органе фантома при сканировании без использования СИЗ.

Результаты и обсуждение

СПД в органах, полученные при сканировании фантома пятилетнего ребенка при использовании набора параметров 1 (таблица 2), представлены в таблице 4 и на рисунке 1.

Таблица 4. Средние поглощенные дозы в органах и процентные отклонения (d), полученные при сканировании фантома пятилетнего ребенка при использовании набора параметров 1.

[Table 4. Average absorbed doses in organs and percentage deviations (d) obtained when scanning a 5-year-old child phantom using parameter set 1]

Вариант использования СИЗ [Option for using PPE]	Вариант 1 [Option 1]	Вариант 2 [Option 1]		Вариант 3 [Option 1]	
Орган [Organ]	СПД, мГр/СПД за 1 сканирование	СПД, мГр/СПД за 1 сканирование		СПД, мГр/СПД за 1 сканирование	
	[AAD, mGy AAD, mGy/SPD per 1 scan]	[AAD, mGy AAD, mGy/SPD per 1 scan]	d	[AAD, mGy AAD, mGy/SPD per 1 scan]	d
Головной мозг [Brain]	0,09 / 0,01	0,06 / 0,006	-31 %	0,1 / 0,01	21 %
Глазные яблоки [Eyeballs]	0,12 / 0,01	0,4 / 0,007	230 %	0,13 / 0,01	10 %
Слюнные железы [Salivary glands]	0,7 / 0,06	0,4 / 0,04	-38 %	0,5 / 0,05	-23 %
Ротовая полость [Oral cavity]	0,5 / 0,05	0,38 / 0,34	-29 %	0,4 / 0,04	-23 %
Шейный отдел позвоночника [Cervical spine]	18 / 1,7	8,8 / 0,8	-52 %	5,9 / 0,5	-68 %
Грудной отдел позвоночника [Thoracic spine]	26 / 2,3	20 / 1,8	-24 %	30 / 2,7	16 %
Поясничный отдел позвоночника* [Lumbar spine]	16 / 1,48	17 / 1,5	3 %	72 / 6,6	350 %
Крестцовый отдел позвоночника* [Sacral spine]	0,3 / 0,03	0,13 / 0,01	-53 %	1,5 / 0,1	420 %
Щитовидная железа [Thyroid gland]	10 / 0,9	3,8 / 0,35	-62 %	4,5 / 0,41	-56 %
Лимфатический узел [Lymph node]	7,7 / 0,7	2,6 / 0,2	-64 %	3 / 0,3	-57 %
Пищевод [Esophagus]	7,8 / 0,7	4,7 / 0,4	-39 %	11 / 1	39 %
Тимус [Thymus]	7,6 / 0,7	3,5 / 0,3	-54 %	5,3 / 0,5	-30 %

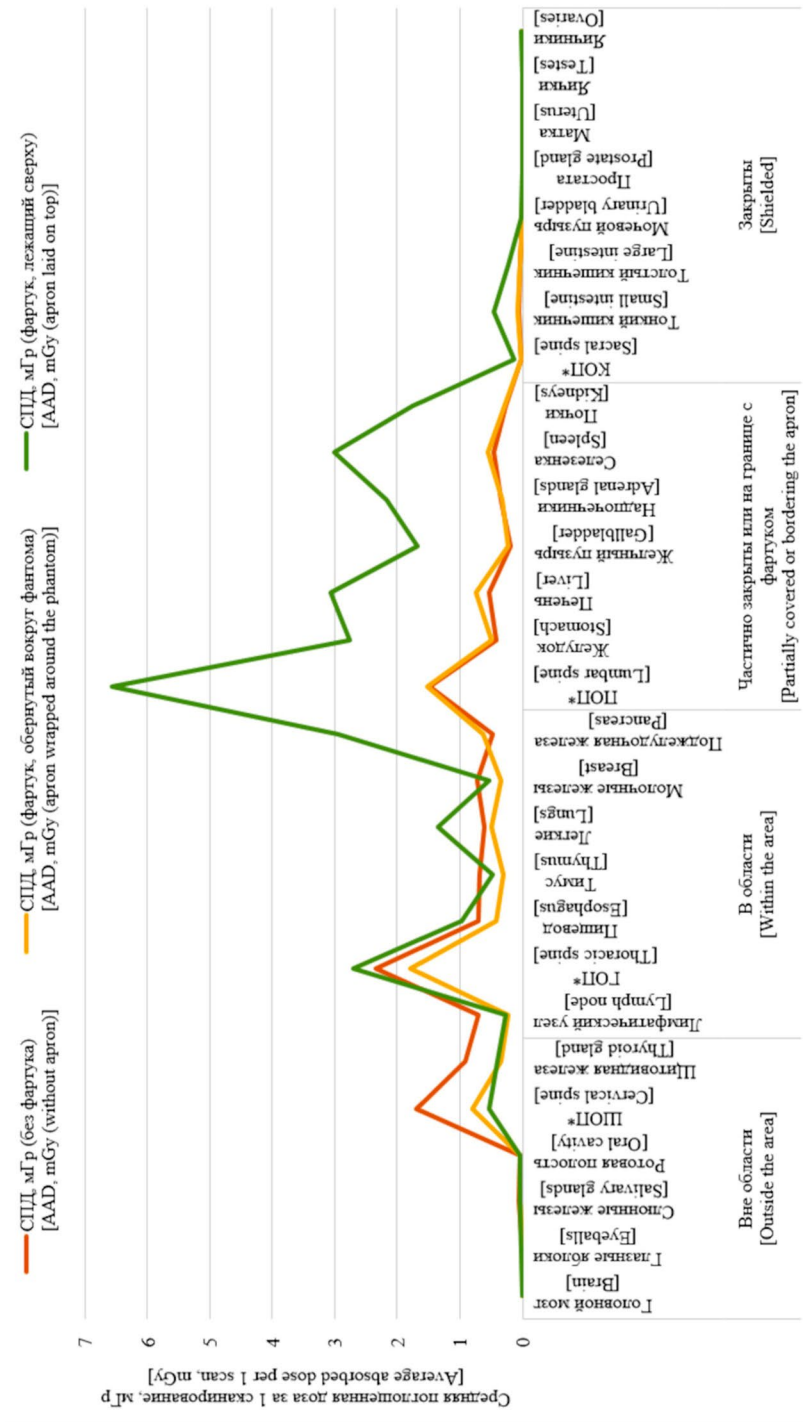
Вариант использования СИЗ [Option for using PPE]	Вариант 1 [Option 1]	Вариант 2 [Option 1]	Вариант 3 [Option 1]
Орган [Organ]	СПД, мГр/СПД за 1 сканирование [AAD, mGy AAD, mGy/SPD per 1 scan]	СПД, мГр/СПД за 1 сканирование [AAD, mGy AAD, mGy/SPD per 1 scan]	СПД, мГр/СПД за 1 сканирование [AAD, mGy AAD, mGy/SPD per 1 scan]
Легкие [Lungs]	6,8 / 0,6	5,5 / 0,5	-18 %
Молочные железы [Breast]	7,9 / 0,7	3,8 / 0,4	-51 %
Желудок* [Stomach]	4,7 / 0,4	5,5 / 0,5	16 %
Печень* [Liver]	5,9 / 0,5	8,1 / 0,7	39 %
Желчный пузырь* [Gallbladder]	2 / 0,2	2,5 / 0,2	15 %
Надпочечники* [Adrenal glands]	3,8 / 0,34	3,6 / 0,3	-3 %
Селезенка* [Spleen]	5,1 / 0,5	6,2 / 0,6	22 %
Поджелудочная железа [Pancreas]	5,2 / 0,5	6,9 / 0,6	35 %
Почки* [Kidneys]	3,0 / 0,27	3,2 / 0,3	9 %
Тонкий кишечник* [Small intestine]	0,73 / 0,07	0,9 / 0,08	22 %
Толстый кишечник* [Large intestine]	0,38 / 0,03	0,4 / 0,04	18 %
Мочевой пузырь* [Urinary bladder]	0,02 / 0,002	0,02 / 0,0017	-16 %
Простата* [Prostate gland]	0 / 0	0 / 0	0 %
Матка* [Uterus]	0,01 / 0,001	0,01 / 0,0005	-42 %
Яички* [Testes]	0 / 0	0 / 0	-
Яичники* [Ovaries]	0,04 / 0,004	0,03 / 0,002	-37 %

*Органы, которые полностью или частично были закрыты свинцовым фартуком. Частично были закрыты: поясничный отдел позвоночника, желудок, печень, надпочечники, селезенка, почки [*Organs that were fully or partially covered by the lead apron. Partially covered were: lumbar spine, stomach, liver, adrenal glands, spleen, kidneys].

При сканировании фантома без СИЗ наибольшие дозы были зафиксированы в позвоночнике (1,7 мГр в шейном отделе, 1,5 в поясничном и 2,3 в грудном отделе), что связано с поглощением энергии излучения в костной ткани; также высокие дозы были зафиксированы в других органах, которые полностью или частично попадали в область сканирования: пищевод, тимус, легкие, молочные железы, печень, селезенка, поджелудочная железа, щитовидная железа, желудок, почки, надпочечники, желчный пузырь (дозы варьировали от 0,2 до 0,9 мГр); дозы за счет рассеянного излучения менее 0,1 мГр были в органах, которые не входили в область сканирования. Обертывание фантома фартуком (вариант 2) приводило к снижению доз для ряда радиочувствительных органов до 50 %, таких как шейный и грудной отдел позвоночника, щитовидная железа, пищевод, тимус, легкие и молочные железы. Однако использование СИЗ в таком виде также приводило к увеличению дозы в печени, желудке, желчном пузыре, селезенке, поджелудочной железе и в почках до 40 %, что связано с автоматическим повышением силы тока из-за поглощения излучения фартуком и отрабатыванием АМСТ для его компенсации [4].

Использование фартука в виде покрывала (вариант 3) приводило к еще более значимым повышению поглощенных доз в радиочувствительных органах и тканях (в 6–8 раз), что приводило к дозе выше 6,6 мГр в поясничном отделе позвоночника, а также к дозе 2,7 мГр в грудном отделе позвоночника, желудке, печени, селезенке и поджелудочной железе, что не компенсировалось снижением доз в других радиочувствительных органах и тканях. Такое значительное повышение доз связано с геометрией облучения пациента при проведении КТ: рентгеновская трубка вращается вокруг пациента на 360°, а фартук, лежащий сверху, не только не защищает пациента, когда трубка находится снизу, но и способствует рассеянному облучению. В органах, находящихся непосредственно в области сканирования (пищевод, тимус, лёгкие, молочные железы), поглощенные дозы были в диапазоне 0,6–1,4 мГр с учетом роста дозы (в пределах 2 раз) при использовании разных вариантов использования СИЗ.

Поглощенные дозы в органах, полученные при сканировании фантома пятилетнего ребенка при использовании набора параметров 2 (табл. 3), представлены в таблице 5 и на рисунке 2.



*ШОП – шейный отдел позвоночника, ГОП – грудной отдел позвоночника, ПОП – поясничный отдел позвоночника

Рис. 1. СИД в органах (таблица 4), полученные при сканировании фантома пятилетнего ребенка при использовании набора параметров 1 [Fig. 1. Absorbed doses in organs (Table 4) obtained during scanning of the 5-year-old child phantom using parameter set 1]

Таблица 5. Средние поглощенные дозы в органах и процентные отклонения (d), полученные при сканировании фантома пятилетнего ребенка при использовании набора параметров 2

[Table 5. Average absorbed doses in organs and percentage deviations (d) obtained when scanning a 5-year-old child phantom using parameter set 2]

Вариант использования СИЗ [Option for using PPE]	Вариант 1 [Option 1]	Вариант 2 [Option 1]		Вариант 3 [Option 1]	
Орган [Organ]	СПД, мГр/СПД за 1 сканирование [AAD, mGy AAD, mGy/SPD per 1 scan]	СПД, мГр/СПД за 1 сканирование [AAD, mGy AAD, mGy/SPD per 1 scan]	d	СПД, мГр/СПД за 1 сканирование [AAD, mGy AAD, mGy/SPD per 1 scan]	d
Головной мозг [Brain]	0,09 / 0,008	0,2 / 0,02	86 %	0,32 / 0,03	240 %
Глазные яблоки [Eyeballs]	0,12 / 0,01	0,2 / 0,02	90 %	0,4 / 0,03	220 %
Слюнные железы [Salivary glands]	0,67 / 0,06	0,8 / 0,07	15 %	1,2 / 0,1	77 %
Ротовая полость [Oral cavity]	0,53 / 0,05	0,9 / 0,09	82 %	0,7 / 0,07	40 %
Шейный отдел позвоночника [Cervical spine]	19 / 1,7	19,3 / 1,8	4 %	19 / 1,8	4 %
Грудной отдел позвоночника [Thoracic spine]	26 / 2,3	39,6 / 3,6	54 %	45 / 4,1	74 %
Поясничный отдел позвоночника*	16 / 1,5	41,5 / 3,7	160 %	77 / 7,1	380 %
Крестцовый отдел позвоночника*	0,3 / 0,03	0,7 / 0,07	160 %	2,7 / 0,3	860 %
Щитовидная железа [Thyroid gland]	10 / 0,9	8,8 / 0,8	-13 %	9,8 / 0,9	-3 %
Лимфатический узел [Lymph node]	7,7 / 0,7	7,9 / 0,73	3 %	9,3 / 0,8	21 %
Пищевод [Esophagus]	7,8 / 0,7	11 / 1	42 %	13 / 1,2	65 %
Тимус [Thymus]	7,6 / 0,7	9,5 / 0,86	26 %	10 / 0,9	34 %
Легкие [Lungs]	6,7 / 0,6	11,9 / 1,08	77 %	14 / 1,3	109 %
Молочные железы [Breast]	7,8 / 0,7	7,9 / 0,73	1 %	8,8 / 0,8	13 %
Желудок* [Stomach]	4,7 / 0,4	15,9 / 1,45	240 %	35 / 3,14	630 %
Печень* [Liver]	5,8 / 0,5	19,2 / 1,74	230 %	37 / 3,4	540 %
Желчный пузырь* [Gallbladder]	2,2 / 0,2	9,2 / 0,84	330 %	15 / 1,34	590 %
Надпочечники* [Adrenal glands]	3,8 / 0,3	10 / 0,95	180 %	23 / 2,4	500 %
Селезенка* [Spleen]	5 / 0,5	14 / 1,3	180 %	34 / 3,1	580 %
Поджелудочная железа [Pancreas]	5,2 / 0,47	16 / 1,4	200 %	40 / 3,7	680 %
Почки* [Kidneys]	2,9 / 0,27	7,9 / 0,7	170 %	21 / 1,9	620 %
Тонкий кишечник* [Small intestine]	0,7 / 0,07	1,3 / 0,1	81 %	6,3 / 0,6	760 %
Толстый кишечник* [Large intestine]	0,4 / 0,04	2,3 / 0,2	510 %	3,4 / 0,31	790 %
Мочевой пузырь* [Urinary bladder]	0,02 / 0,002	0,1 / 0,009	370 %	0,3 / 0,03	1200 %
Простата* [Prostate gland]	0 / 0	0,05 / 0,004	–	0,05 / 0,005	–
Матка* [Uterus]	0,01 / 0,001	0,08 / 0,008	750 %	0,2 / 0,02	1646 %
Яички* [Testes]	0 / 0	0,03 / 0,003	–	0,04 / 0,004	–
Яичники* [Ovaries]	0,04 / 0,004	0,13 / 0,012	210 %	0,4 / 0,04	872 %

*Органы, которые полностью или частично были закрыты свинцовым фартуком. Частично были закрыты: поясничный отдел позвоночника, желудок, печень, надпочечники, селезенка, почки [*Organs that were fully or partially covered by the lead apron. Partially covered were: lumbar spine, stomach, liver, adrenal glands, spleen, kidneys].

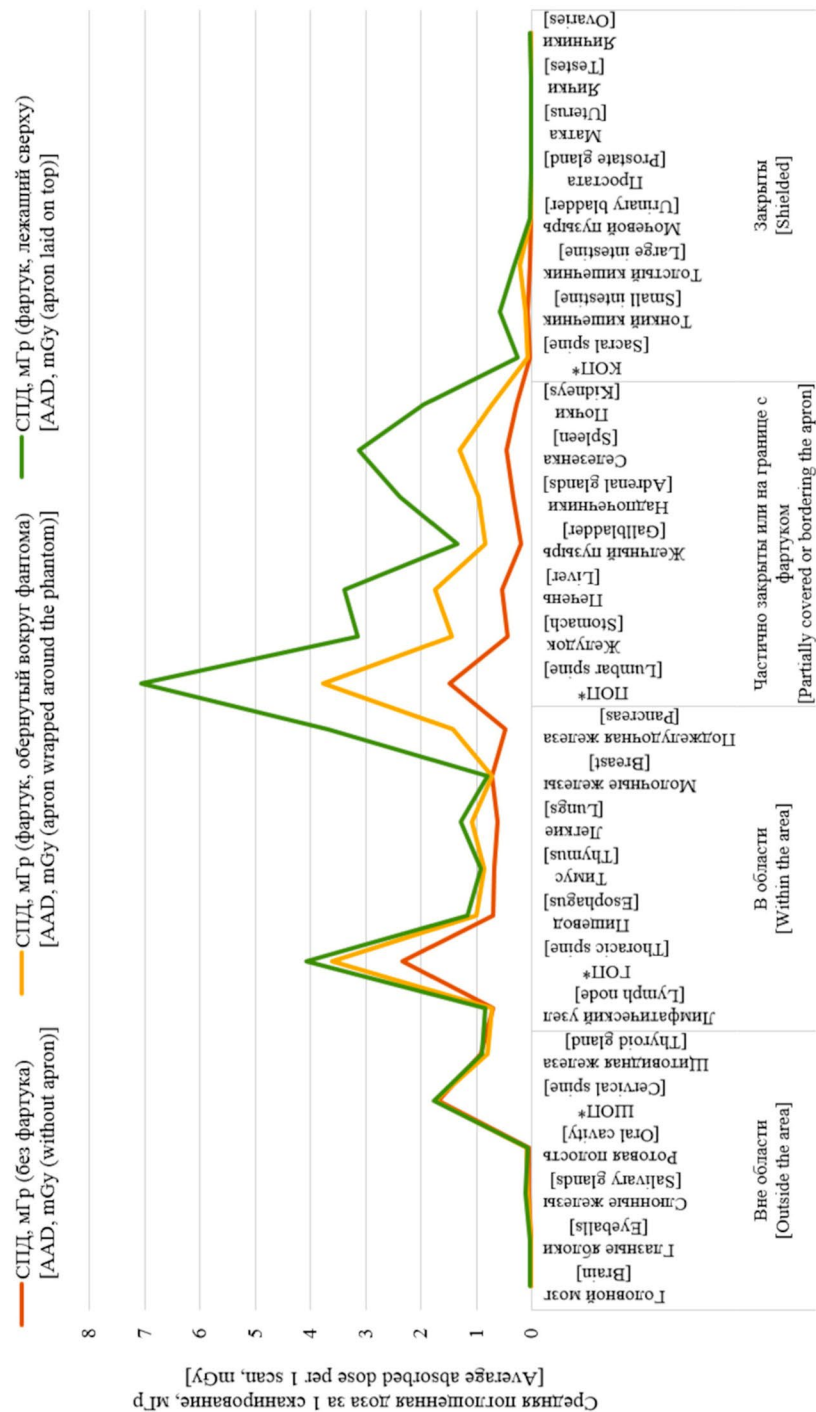


Рис. 2. СПД в органах (таблица 5), полученные при сканировании фантома пятилетнего ребенка при использовании набора параметров 2 [Fig. 2. Absorbed doses in organs (Table 5) obtained during scanning of the 5-year-old child phantom using parameter set 2]

*ШОП – шейный отдел позвоночника, ГОП – грудной отдел позвоночника, ПОП – поясничный отдел позвоночника

При использовании клинического протокола, который используется на практике и адаптирует напряжение под параметры зоны сканирования и антропометрические характеристики пациента, основные закономерности изменения СПД в органах схожи с изменениями СПД при фиксированных значениях напряжения (набор параметров 1, табл. 4, рис. 1). Однако в данной серии сканирований при использовании СИЗ отклонения СПД от эталонных значений были более выражены.

Аналогично сканированию на первом протоколе при сканировании фантома без СИЗ наибольшие дозы (1,5–2,4 мГр) были зафиксированы в позвоночнике, а также в других органах, полностью или частично попавших в область сканирования: пищевод, тимус, легкие, молочные железы, печень, селезенка, поджелудочная железа, щитовидная железа, желудок, почки, надпочечники, желчный пузырь (0,2–0,9 мГр); в органах вне зоны сканирования дозы рассеянного излучения не превышали 1 мГр. Обертывание фантома фартуком (вариант 2) приводило к снижению дозы только в щитовидной железе (–13 % в сравнении с эталоном). Для ряда радиочувствительных органов, таких как шейный и грудной отделы позвоночника, пищевод, тимус, легкие и молочные железы, дозы выросли в диапазоне от 4 % до 77 %. Значительное увеличение поглощенных доз (в 3–4 раза) было зафиксировано в желчном пузыре, желудке, печени, поджелудочной железе, селезенке и почках, что связано с автоматическим повышением силы тока и напряжения (автоматическое повышение с 70 кВ до 80 кВ) из-за поглощения излучения фартуком как и при использовании протокола с постоянным напряжением. Использование фартука в виде покрывала (вариант 3) приводило к автоматическому увеличению напряжения до 100 кВ и силы тока и еще более значимым повышением поглощенных доз в радиочувствительных органах и тканях относительно эталонных значений СПД (в 6–11 раз); СПД в поясничном отделе позвоночника превышала 7 мГр, также высокие дозы (3,2–4,1 мГр) были определены в грудном отделе позвоночника, поджелудочной железе, печени, желудке и селезенке.

Заключение

В работе было проведено сканирование фантома пятилетнего ребенка на разных режимах сканирования с использованием СИЗ и без. Наибольшие дозы были определены в позвоночнике (1,5–2,4 мГр), а также в других органах, попадающих в область сканирования: легкие, молочные железы, пищевод, тимус, лимфатические узлы, поджелудочная железа, желудок, печень, желчный пузырь, надпочечники, селезенка и почки (0,2–0,9 мГр).

При обертывании защитным фартуком наблюдалось как снижение доз в некоторых радиочувствительных органах, так и рост доз в других в 3–8 раз за счет работы систем автоматической модуляции силы тока и напряжения. Использование фартука в виде покрывала приводило к существенному росту доз для большинства радиочувствительных органов и тканей, включая органы полностью или частично закрытые фартуком, где рост доз варьировал от 3 до 15 раз.

В органах, частично закрытых фартуком, изменения доз в зависимости от варианта использования СИЗ были наиболее существенны: на полностью автоматических режимах сканирования при использовании фартука, обернутого вокруг фантома, дозы в этих органах возросли в 1,1–4,2 раза

в сравнении с дозами в тех же органах, но без использования СИЗ; при использовании фартука-покрывала дозы в органах, частично закрытых фартуком, увеличились в 4,5–8,5 раз. Это наиболее значимо для органов, находящихся в зоне сканирования, где дозы за одно сканирование возросли до 7 мГр в позвоночнике и до 3–4 мГр в печени, железу, поджелудочной железе и селезенке.

Результаты исследования показали, что использование свинцового фартука может привести не к снижению дозы в органах, а, наоборот, к существенному ее увеличению, в том числе при использовании программ автоматической модуляции силы тока и напряжения, что требует дальнейшего изучения.

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.

Шацкий И.Г. – разработка дизайна исследования, определение целей и задач исследования, обработка данных, написание статьи, оформление окончательного варианта статьи для публикации в журнал.

Чипига Л.А. – осуществление общего научного руководства исследованием, обсуждение и анализ результатов, редакция промежуточного варианта статьи.

Бажин С.Ю. – организация помощи в работе с ТЛ-дозиметрами, снятие показаний с ТЛ-дозиметров, редакция промежуточного варианта статьи.

Шлеенкова Е.Н. – организация помощи в работе с ТЛ-дозиметрами, снятие показаний с ТЛ-дозиметров.

Сергеева В.Ю. – организация помощи в работе с ТЛ-дозиметрами, снятие показаний с ТЛ-дозиметров.

Алексеева Д.В. – организация проведения экспериментальной работы в КТ-отделении.

Волок О.И. – организация проведения экспериментальной работы в КТ-отделении.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об источнике финансирования

Статья подготовлена в рамках выполнения отраслевой НИР «Разработка методов индивидуализированной оценки доз облучения пациентов и персонала в лучевой диагностике и терапии».

Литература

1. National Council on Radiation Protection and Measurements. NCRP recommendations for ending routine gonadal shielding during abdominal and pelvic radiography, 2021. 120 p.
2. American Association of Physicists in Medicine. Patient gonadal and fetal shielding in diagnostic imaging frequently asked questions, 2019. 8 p. URL: https://www.aapm.org/org/policies/documents/CARES_FAQs_Patient_Shielding.pdf (Дата обращения: 15.04.2026).
3. Stearns B.K., Seitz K., Folck Q.M. Exploring past to present shielding guidelines // Radiological Physics and Technology. 2023. No 95(2). P. 84–93.
4. Шацкий И.Г., Дружинина П.С., Чипига Л.А., Алексеева Д.В. Оценка влияния средств индивидуальной защиты на работу программ автоматической модуляции силы тока и

- напряжения при проведении компьютерной томографии // Радиационная гигиена. 2026. Т. 19, № 1. С. 69–80. DOI: 10.21514/1998-426X-2026-19-1-69-80.
5. Begano D., Söderberg M., Bolejko A. To use or not use patient shielding on pregnant women undergoing CT pulmonary angiography: a phantom study // Radiation Protection Dosimetry. 2020. Vol. 189(4). P. 458-465. DOI: 10.1093/rpd/ncaa059.
 6. Samara E.T., Saltybaeva N., Sans Merce M. et al. Systematic literature review on the benefit of patient protection shielding during medical X-ray imaging: towards a discontinuation of the current practice // Physica Medica. 2022. Vol. 94. P. 102-109. DOI: 10.1016/j.ejmp.2021.12.016.
 7. Geist J.R. This far but no farther: elimination of protective radiation shielding for dental patients // Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology. 2020. Vol. 130(4). P. 347-349. DOI: 10.1016/j.oooo.2020.05.016.
 8. Kim J.-S., Kwon S.-M., Kim J.-M., Yoon S.-W. New organ-based tube current modulation method to reduce the radiation dose during computed tomography of the head: evaluation of image quality and radiation dose to the eyes in the phantom study // Radiologia Medica. 2017. Vol. 122(8). P. 601-608. DOI: 10.1007/s11547-017-0755-5.
 9. Yu L., Bruesewitz M.R., Vrieze T.J., McCollough C.H. Lead Shielding in Pediatric Chest CT: Effect of Apron Placement Outside the Scan Volume on Radiation Dose Reduction // American Journal of Roentgenology. 2019. Vol. 212, No 1. P. 151-156. DOI: 10.2214/AJR.17.19405.
 10. Boyle H., Strudwick R.M. Do lead rubber aprons pose an infection risk? // Radiography. 2010. Vol. 16(4). P. 297-303. DOI: 10.1016/j.radi.2010.03.002.
 11. Varchena V. Pediatric phantoms // Pediatric Radiology Journal. 2002. No 32. P. 280–284.
 12. Варченя В.Ж., Воеводина А.И., Губатова Д.Я. и др. Тканеэквивалентные дозиметрические фантомы и измерение поглощенных органами доз при рентгенологических исследованиях детей. Рига, Латвия: 1989. 93 с.
 13. Государственная корпорация по атомной энергии «Росатом». ООО «Центротех-инжиниринг». Термолюминесцентные монокристаллические детекторы ДТГ-4. Паспорт ТУ 95 2511-94. 2025. 13 с.
 14. Государственная система обеспечения единства измерений. Комплексы дозиметрические термолюминесцентные «ДОЗА-ТЛД». Методика поверки ФВКМ.412118.010МП. 2018. 11 с.
 15. Bassi P., Busuoli G. and Rimondi O. Calculated energy dependence of some RTL and RPL detectors // The International Journal of Applied Radiation and Isotopes. 1976. Vol. 27(5–6). P. 291–305. DOI: 10.1016/0020-708X(76)90146-0.
 16. Chipiga L., Golikov V., Vodovatov A., Bernhardsson C. 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, No 3-4. P. 246-256. DOI: 10.1093/rpd/ncab086. PMID: 34132330.

Поступила: 15.04.2026

Дружинина Полина Сергеевна – 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, РИНЦ Author ID: 1065090

Шацкий Илья Геннадьевич – старший 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; ORCID: 0000-0003-2809-0223, РИНЦ Author ID: 652924

Чипига Лариса Александровна – кандидат технических наук, ведущий 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; 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, РИНЦ Author ID: 859729

Бажин Степан Юрьевич – заведующий лабораторией радиационного контроля, старший научный сотрудник Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0000-0003-1778-4334, РИНЦ Author ID: 1087210

Шлеенкова Екатерина Николаевна – младший научный сотрудник лаборатории радиационного контроля Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия; ORCID 0009-0006-6391-1639, РИНЦ Author ID: 1246203

Алексеева Дарья Владимировна – заведующая отделением лучевой диагностики № 1 отдела лучевой диагностики Университетской клиники Национального медицинского исследовательского центра им. В.А. Алмазова, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0000-0001-9528-9377

Волок Оксана Игоревна – инженер отделения лучевой диагностики № 1 отдела лучевой диагностики Университетской клиники Национального медицинского исследовательского центра им. В.А. Алмазова, Санкт-Петербург, Россия; ORCID: 0009-0000-3365-608X

Для цитирования: Дружинина П.С., Шацкий И.Г., Чипига Л.А., Бажин С.Ю., Шлеенкова Е.Н., Алексеева Д.В., Волок О.И. Поглощенные дозы в органах при компьютерной томографии с применением средств индивидуальной радиационной защиты на примере фантома пятилетнего ребенка // Радиационная гигиена. 2026. Т. 19, № 2. С. 63–74. DOI: 10.21514/1998-426X-2026-19-2-63-74

Absorbed organ doses in computed tomography using personal radiation protective equipment: a phantom study of a five-year-old child

Polina S. Druzhinina¹, Ilya G. Shatsky¹, Larisa A. Chipiga^{1,2,3}, Stepan Yu. Bazhin¹, Ekaterina N. Shleenkova¹, Darya V. Alekseeva³, Oksana I. Volok³

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 of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia

³ Almazov National Medical Research Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia

Despite international recommendations, some medical organizations continue the practice of using protective aprons, including for children. Existing calculation methods do not allow for the assessment of absorbed doses when using an apron, which makes direct dosimetric research relevant. Materials and Methods: The study was performed using a phantom of a 5-year-old child with thermoluminescent detectors. Chest scanning was conducted on a Somatom Force tomograph (Siemens, Germany, manufactured in 2022) with three apron use options: without an apron; with an apron wrapped around the phantom; and with an apron used as a blanket. Two scanning parameter sets were used: 1) fixed voltage of 70 kV with tube current modulation; 2) fully automatic mode. Results and Discussion: Wrapping the apron resulted in both dose reduction in some radiosensitive organs and dose increase in others by a factor of 3–8. Using the apron as a blanket led to a substantial dose increase for the majority of radiosensitive organs and tissues, including organs fully or partially covered by the apron (3–15 times). In organs partially covered by the apron, dose changes depending on the PPE use case were most pronounced: in automatic scanning modes, when using the apron wrapped around the phantom, doses in these organs increased by a factor of 1.1–4.2 compared to doses in the same organs without protective apron; when using the apron as a blanket, doses in organs partially covered by the apron increased by a factor of 4.5–8.5. Conclusion: The use of an apron during computed tomography reduces doses in some organs but is accompanied by a significant (up to 15 times or more) increase in doses in others, especially in automatic modes.

Key words: computed tomography, patient, radiation protection, personal protective equipment, protective apron, absorbed dose.

Authors' personal contribution

Druzhinina P.S. – developing a research design, defining the research objectives and goals, analyzing data, writing the article, and preparing the final draft of the article for journal publication.

Shatsky I.G. – developing a research design, defining the research objectives and goals, analyzing data, writing the article, and preparing the final draft of the article for journal publication.

Chipiga L.A. – providing overall scientific guidance for the research, discussing and analyzing the results, and editing the draft manuscript.

Bazhin S.Yu. – organizing of assistance in working with TL-dosimeters, reading data from TL-dosimeters, and editing the draft manuscript.

Shleenkova E.N. – organizing of assistance in working with TL-dosimeters, reading data from TL-dosimeters.

Alekseeva D.V. – organizing experimental work in the CT department.

Volok O.I. – organizing experimental work in the CT department.

Conflict of interests

The authors have no conflicts of interest to disclose.

Sources of funding

The article was prepared as part of the applied research project "Development of methods for individualized assessment of radiation doses to patients and staff in radiological diagnostics and therapy".

References

1. National Council on Radiation Protection and Measurements. NCRP recommendations for ending routine gonadal shielding during abdominal and pelvic radiography. 2021; 120 p.
2. American Association of Physicists in Medicine. Patient gonadal and fetal shielding in diagnostic imaging frequently

Polina S. Druzhinina

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

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

- asked questions; 2019. 8 p. Available from: https://www.aapm.org/org/policies/documents/CARES_FA_Qs_Patient_Shielding.pdf [Accessed 15.04.2026].
3. Stearns BK, Seitz K, Folck QM. Exploring past to present shielding guidelines. *Radiological Physics and Technology*. 2023;95(2): 84-93.
 4. Shatsky IG, Druzhinina PS, Chipiga LA, Alekseeva DS. Evaluation of the impact of personal protective equipment on the automatic exposure control system in computed tomography. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2026;19(1): 69–80. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2026-19-1-69-80.
 5. Begano D, Söderberg M, Bolejko A. To use or not use patient shielding on pregnant women undergoing CT pulmonary angiography: a phantom study. *Radiation Protection Dosimetry*. 2020;189(4): 458-465. DOI: 10.1093/rpd/ncaa059.
 6. Samara ET, Saltybaeva N, Sans Merce M, Gianolini S, Ith M. Systematic literature review on the benefit of patient protection shielding during medical X-ray imaging: towards a discontinuation of the current practice. *Physica Medica*. 2022;94: 102-109. DOI: 10.1016/j.ejmp.2021.12.016.
 7. Geist JR. This far but no farther: elimination of protective radiation shielding for dental patients. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*. 2020;130(4): 347-349. DOI: 10.1016/j.oooo.2020.05.016.
 8. Kim J-S, Kwon S-M, Kim J-M, Yoon S-W. New organ-based tube current modulation method to reduce the radiation dose during computed tomography of the head: evaluation of image quality and radiation dose to the eyes in the phantom study. *Radiologia Medica*. 2017;122(8): 601-608. DOI: 10.1007/s11547-017 0755-5.
 9. Yu L, Bruesewitz MR, Vrieze TJ, McCollough CH. Lead Shielding in Pediatric Chest CT: Effect of Apron Placement Outside the Scan Volume on Radiation Dose Reduction. *American Journal of Roentgenology*. 2019;212(1): 151-156. DOI: 10.2214/AJR.17.19405.
 10. Boyle H, Strudwick RM. Do lead rubber aprons pose an infection risk? *Radiography*. 2010;16(4): 297-303. DOI: 10.1016/j.radi.2010.03.002
 11. Varchena V. Pediatric phantoms. *Pediatric Radiology Journal*. 2002;32: 280–284.
 12. Varchenya VZh, Voevodina AI, Gubatova DYa, Krastynia AK, Nemiro EA, Kalnitsky SA, et al. Tissue-equivalent dosimetric phantoms and measurement of absorbed doses by organs in radiological examinations of children. Riga, Latvia; 1989. 93 p. (In Russian).
 13. State Atomic Energy Corporation Rosatom. Centrotech-Engineering LLC. Thermoluminescent single-crystal detectors DTG-4. Passport according to Technical Specifications TU 95 2511-94. 2025. 13 p. (In Russian).
 14. State System for Ensuring the Uniformity of Measurements. Thermoluminescent Dosimetric Complexes "DOZA-TLD". Verification Method FVKM.412118.010MP. 2018. 11 p. (In Russian).
 15. Bassi P, Busuoli G, Rimondi O. Calculated energy dependence of some RTL and RPL detectors. *The International Journal of Applied Radiation and Isotopes*. 1976;27(5-6): 291–305. DOI: 10.1016/0020-708X(76)90146-0.
 16. Chipiga L, Golikov V, Vodovatov A, Bernhardsson C. 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): 246-256. DOI: 10.1093/rpd/ncab086. PMID: 34132330.

Received: April 15, 2026

For correspondence: Polina S. Druzhinina – 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 (8, Mira Str., Saint Petersburg, 197101, Russia; E-mail: druzhininapauline@gmail.com); ORCID: 0000-0003-2921-067X, RSCI Author ID: 1065090

Ilya G. Shatsky – senior 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, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0000-0003-2809-0223, RSCI Author ID: 652924

Larisa A. Chipiga – Candidate of Technical Sciences, Leading 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.M. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies of the Ministry of Health of the Russian Federation; Docent, Almazov National Medical Research Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia; ORCID 0000-0001-9153-3061, RSCI Author ID: 859729

Stepan Yu. Bazhin – Head of the Laboratory of Radiation Control, Senior Researcher, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0000-0003-1778-4334, RSCI Author ID: 1087210

Ekaterina N. Shleenkova – Junior Researcher of the Laboratory of Radiation Control, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0009-0006-6391-1639, RSCI Author ID: 1246203

Daria V. Alekseeva – Head of Radiation Diagnostics Department No. 1, Department of Radiation Diagnostics, University Clinic of the Almazov National Medical Research Centre, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0000-0001-9528-9377

Oksana I. Volok – Engineer of Radiation Diagnostics Department No. 1, Department of Radiation Diagnostics, University Clinic of the Almazov National Medical Research Centre, Saint Petersburg, Russia; ORCID: 0009-0000-3365-608X

For citation: Druzhinina P.S., Shatsky I.G., Chipiga L.A., Bazhin S.Yu., Shleenkova E.N., D.V. Alekseeva, Volok O.I. Absorbed organ doses in computed tomography using personal radiation protective equipment: a phantom study of a five-year-old child. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2026. Vol. 19, No. 2. P. 63–74. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2026-19-2-63-74