

Оценка влияния средств индивидуальной защиты на работу программ автоматической модуляции силы тока и напряжения при проведении компьютерной томографии

Шацкий И.Г.¹, Дружинина П.С.¹, Чипига Л.А.^{1,2,3}, Алексеева Д.В.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

Актуальность данного исследования заключается в необходимости пересмотра устоявшихся подходов к применению средств индивидуальной защиты в компьютерной томографии в связи с широким внедрением алгоритмов автоматической модуляции тока и напряжения. Поскольку средства индивидуальной защиты могут исказить входные данные для этих алгоритмов, их использование способно не только не снизить, но и неоправданно увеличить лучевую нагрузку на пациента, что требует детальной экспериментальной проверки, особенно в педиатрической практике, где пациенты наиболее чувствительны к воздействию ионизирующего излучения. Цель работы – оценить влияние средств индивидуальной защиты на работу программ автоматической модуляции силы тока и напряжения (CareDose 4D и Care kV) при проведении компьютерной томографии на аппарате Somatom Force (Siemens) на примере антропоморфного фантома пятилетнего ребенка. Материалы и методы: Исследование проводилось на базе КТ-отделения Национального медицинского исследовательского центра им. В.А. Алмазова с использованием антропоморфного фантома пятилетнего ребенка и технически исправного томографа Somatom Force (Siemens). Для оценки влияния средств индивидуальной защиты на работу программ автоматической модуляции тока и напряжения (CareDose 4D и Care kV) была выполнена серия сканирований фантома с различными вариантами позиционирования защитного фартука и без него, имитирующими реальную клиническую практику. Результаты исследования и обсуждение: Результаты показали, что попадание свинцового фартука в область топограммы интерпретируется системой как увеличение размеров и плотности тела пациента, что автоматически повышает параметры облучения по сравнению со сканированием без свинцового фартука. Заключение: Оценка влияния данного эффекта на поглощенные и эффективные дозы требует дополнительных исследований для определения целесообразности использования средств индивидуальной защиты в компьютерной томографии.

Ключевые слова: компьютерная томография, пациент, радиационная защита, средства индивидуальной защиты, защитный фартук, модуляция силы тока.

Введение

На протяжении десятилетий использование средств индивидуальной защиты (СИЗ) пациентов для экранирования отдельных анатомических областей считалось одним из самых действенных способов радиационной защиты [1]. В последнее время появляются международные публикации, которые ставят этот постулат под сомнение или прямо опровергают его [2]. Применение СИЗ при компьютерной томографии (КТ) заслуживает внимания не только из-за вращающегося рентгеновского пучка, но также из-за применения в современных установках алгоритмов работы программ автоматической модуляции силы тока и напряжения рентгеновской трубки (AMCT) [3–9]. Средства индивидуальной защиты пациентов могут

искажать данные о размерах и плотности тела пациента для программ AMCT, что приводит к тому, что работа алгоритмов строится на изначально ложных вводных данных. В результате чего модуляция силы тока и напряжения не будет соответствовать реальным размерам тела пациента и, следовательно, может приводить к излишнему увеличению дозы облучения и/или низкому качеству изображения.

Алгоритмы работы программ AMCT CareDose 4D и Care kV КТ-аппаратов модели Somatom Force (Siemens) имеют определенные особенности [10, 11]. КТ-аппарат оснащён программами CareDose 4D и Care kV. Особенностью работы данных программ является автоматическая модуляция силы тока и напряжения рентгеновской трубки во время КТ-сканирования по результатам предварительно выполненной

Шацкий Илья Геннадьевич

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: i.shatskiy@niirg.ru

топограммы [12]. Топограмма – это планарное изображение с низкой дозой облучения, которое используется для определения начального и конечного положения сканирования. В CareDose 4D топограмма используется для определения коэффициентов кратности ослабления рентгеновского излучения, проходящего сквозь тело пациента. При этом требуется проведение только одной топограммы в передне-задней или боковой проекции.

Адаптация тока трубки в программе CareDose 4D основана на заданном пользователем вручную (или производителем по умолчанию) эталонного значения (качества) в единицах эффективных мАс (effective mAs – Eff.mAs) и обозначается QRM (Quality Reference mAs). QRM – это такое значение эффективных мАс, которые обеспечивают желаемое качество изображения для пациентов стандартного телосложения разных возрастных групп. Для каждого протокола во внутренней памяти КТ-аппарата хранится типичное значение ослабления рентгеновского излучения для стандартного пациента и значение QRM соотносится с этим референтным ослаблением рентгеновского излучения. Параметр Eff.mAs равен фактическому произведению тока трубки на время (мАс), деленному на пич, и определяется системой прогностически в соответствии с выбранным значением QRM, выполненной топограммой и выбранным протоколом сканирования. Во время сканирования ток трубки (и, следовательно, Eff.mAs) автоматически регулируется для компенсации изменений в размерах тела пациента и ослаблении рентгеновского излучения, тем самым обеспечивая такое качество изображения, которое соответствует заданному уровню QRM для стандартного пациента, но подходящее как для пациентов с меньшим, так и для пациентов с большим размером тела.

Вопрос влияния СИЗ на работу программ АМСТ в отечественной практике не рассматривался и требует подробного изучения, в том числе для того, чтобы оценить необходимость введения изменения подходов к использованию СИЗ в отечественные нормативно-методические документы.

Важность данного вопроса становится особенно актуальной при рассмотрении педиатрической практики, где даже незначительное искажение входных данных способно привести к значительному увеличению эффективных доз и рисков радиационных последствий. Свинцовый фартук, который может быть принят системой за часть тела пациента, для компактного детского фантома создает пропорционально более значимое искажение контура и кажущейся «плотности» на топограмме по сравнению со взрослым. Это может привести к неоправданно большому, автоматически рассчитанному системой, увеличению силы тока и напряжения, что потенциально сводит на нет защитный эффект фартука и приводит к необоснованному росту дозы облучения у наиболее уязвимой группы пациентов. Таким образом, исследование на детском фантоме наиболее репрезентативно и критично для выявления и демонстрации негативного эффекта от неправильного использования средств индивидуальной защиты в сочетании с системами АМСТ.

Цель исследования – оценить влияние средств индивидуальной защиты на работу программ АМСТ CareDose 4D и Care kV при проведении КТ на аппарате Somatom Force (Siemens) на примере антропоморфного фантома пятилетнего ребенка.

Материалы и методы

Антропоморфный фантом

Исследование было проведено на базе КТ-отделения ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» Минздрава России с помо-

щью антропоморфного гетерогенного фантома, представляющего 5-летнего ребенка ростом 109 см и массой тела 19 кг [13–14]. Имитация мягких тканей в таком фантоме выполнена из тканезквивалентного пластика с эффективным атомным номером 7,3 и плотностью 0,985 г см⁻³, легочная ткань выполнена из того же, но вспененного материала с плотностью 0,34–0,38 г см⁻³. Антропоморфный гетерогенный фантом 5-летнего ребенка состоит из аксиальных срезов толщиной 25 мм.

Протокол сканирования

Сканирование фантома проводилось на технически исправном томографе Somatom Force (Siemens, Германия) с различными вариантами позиционирования защитного фартука. Сканирование проводилось на стандартном КТ-протоколе грудной клетки для 5-летних детей, который используется для диагностики в данном КТ-отделении. Для изучения особенностей работы программ CareDose 4D и Care kV была проведена серия одиночных сканирований фантома с использованием и без использования СИЗ. Варианты позиционирования защитного фартука, которые использовались в эксперименте, подробно описаны в таблице 1. Данные варианты использования защитного фартука соответствуют возможным вариантам использования защитного фартука в текущей медицинской практике.

В исследовании использовался защитный фартук РЕНЕКС ФРОс-0,5 со свинцовым эквивалентом 0,5 мм.

Перед каждым сканированием фантома проводилось его центрирование в гентри. На консоли КТ-аппарата перед началом сканирования в настройках протокола отображался только параметр Eff.mAs. (рис. 1). Он может быть больше или меньше заданного значения QRM. После сканирования это значение обновляется до фактического среднего Eff.mAs, использованного для сканирования. Фактический средний Eff.mAs может незначительно отличаться от расчетного среднего Eff.mAs, который отображается до сканирования, поскольку программа CareDose 4D обновляет расчетные значения до сканирования более точными значениями, определенными во время фактического сканирования [12, 15].

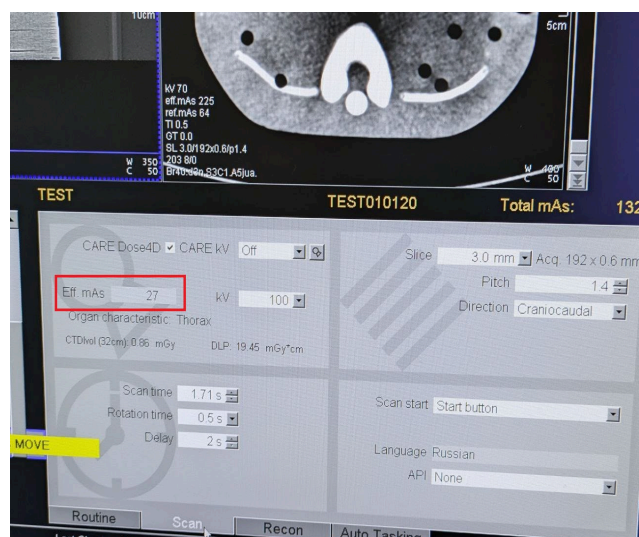
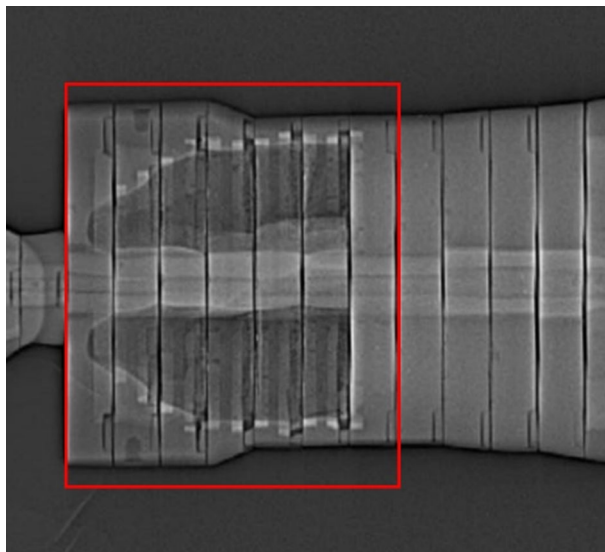
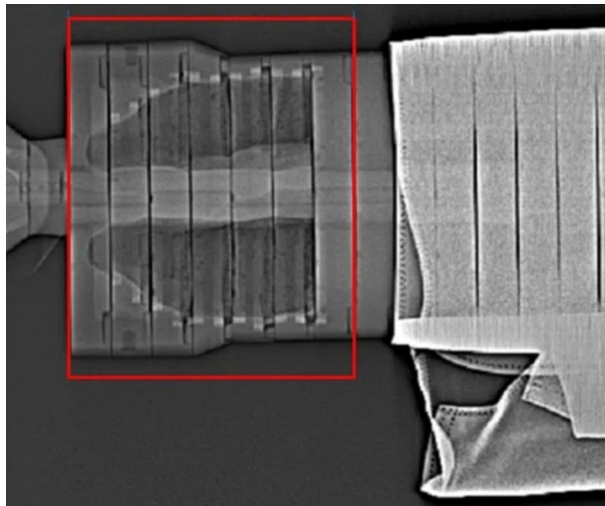
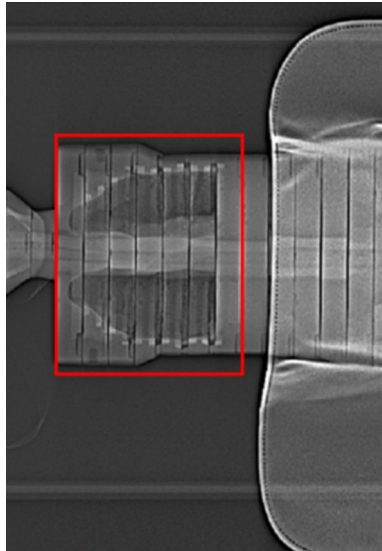


Рис. 1. После проведения топограммы на консоли КТ-аппарата отображается расчетный средний Eff.mAs, который используется во время сканирования

[Fig. 1. After performing the topogram, the calculated average Eff.mAs, which is used during the scan, is displayed on the CT scanner console]

Таблица 1. Варианты позиционирования защитного фартука в эксперименте
 [Table 1. Protective apron positioning options used in the experiment]

Вариант 1 (эталон) [Option 1 (reference)]	Вариант 2 [Option 2]	Вариант 3 [Option 3]
		
<p>– Сканирование грудной клетки фантома без использования СИЗ [Scanning of the phantom's chest without using PPE]</p>	<p>– Сканирование грудной клетки фантома [Scanning of the phantom's chest];</p> <p>– СИЗ обернут вокруг тела фантома и закрывает область ниже 16 среза (брошная полость, таз, нижние конечности) [PPE is wrapped around the phantom's body, covering the area below the 16th slice (abdominal cavity, pelvis, lower extremities)];</p> <p>– СИЗ не попадает в область сканирования [PPE is not within the scan area].</p>	<p>– Сканирование грудной клетки фантома [Scanning of the phantom's chest];</p> <p>– СИЗ лежит сверху на фантоме и закрывает область ниже 16 среза (брошная полость, таз, нижние конечности) [PPE is placed on top of the phantom, covering the area below the 16th slice (abdominal cavity, pelvis, lower extremities)];</p> <p>– СИЗ не попадает в область сканирования [PPE is not within the scan area].</p>

Эталонным сканированием было принято сканирование без защитного фартука (вариант 1).

Для определения оптимальных параметров сканирования фантома, с дальнейшей целью изучения влияния СИЗ на уровни поглощенных доз в органах, были изучены графики изменения тока рентгеновской трубки при различных вариантах работы программ автоматической модуляции силы тока трубки и напряжения (Care Dose 4D и Care kV).

Некоторые комбинации параметров программы АМСТ не позволяют проводить сканирование так, чтобы обеспечить воспроизводимые условия облучения. Однако для измерения поглощенных доз и определения влияния СИЗ

на поглощенные дозы необходимо обеспечить наиболее схожие условия облучения. Таким образом, на первом этапе работы были проведены предварительные сканирования фантома с использованием различных комбинаций параметров программы АМСТ, т.е. различные комбинации включения и выключения программ Care Dose 4D и Care kV. Любые изменения в работе программ АМСТ сравнивались и анализировались относительно эталонного сканирования. По результатам сканирований были построены графики изменения силы тока трубки в области сканирования. Параметры этих сканирований представлены в таблицах 2–4.

Таблица 2. Параметры сканирования фантома-вариант 1

[Table 2. Phantom scan parameters — Option 1]

№	Набор параметров 1 [Parameter Set 1]	Набор параметров 2 [Parameter Set 2]	Набор параметров 3 [Parameter Set 3]	Набор параметров 4 [Parameter Set 4]	Набор параметров 5 [Parameter Set 5]
Напряжение, кВ Care kV – вкл.(+)/выкл.(-) [Tube voltage, kV Care kV – ON (+)/OFF (-)]	70 +	70 -	70 -	100 +	120 +
CareDose 4D – вкл.(+)/выкл.(-) [CareDose 4D – ON (+)/OFF (-)]	+	-	-	+	+
Значение расчетного параметра Eff.mAs после топограммы [Calculated Eff. mAs value after topogram]	34	10	34*	13	15
Время оборота трубки, с [Tube rotation time, s]			0,5		
Толщина среза, мм Коллимация, мм [Slice thickness, mm Collimation, mm]			3 192 x 0,6		
Питч [Pitch]			1,4		
Длина сканирования, мм [Scan length, mm]			175		
Высота стола, мм [Table height, mm]			100		

* Значение Eff. mAs установлено оператором вручную, так как автоматика в первом наборе использовала Eff. mAs – 34 [The Eff. mAs value was set manually by the operator, as the automatic system in the first series used an Eff. mAs of 34].

Таблица 3. Параметры сканирования фантома - вариант 2

[Table 3. Phantom scan parameters — Option 2]

№	Набор параметров 1 [Parameter Set 1]	Набор параметров 2 [Parameter Set 2]	Набор параметров 3 [Parameter Set 3]	Набор параметров 4 [Parameter Set 3]
Напряжение, кВ Care kV – вкл.(+)/выкл.(-) [Tube voltage, kV Care kV – ON (+)/OFF (-)]	70 -	80 +	80 -	100 -
CareDose 4D – вкл.(+)/выкл.(-) [CareDose 4D – ON (+)/OFF (-)]	+	+	+	+
Значение расчетного параметра Eff.mAs после топограммы [Calculated Eff. mAs value after topogram]	23	54	25	27

№	Набор параметров 1 [Parameter Set 1]	Набор параметров 2 [Parameter Set 2]	Набор параметров 3 [Parameter Set 3]	Набор параметров 4 [Parameter Set 3]
Время оборота трубки, с [Tube rotation time, s]			0,5	
Толщина среза, мм Коллимация, мм [Slice thickness, mm Collimation, mm]			3 192 x 0,6	
Питч [Pitch]			1,4	
Длина сканирования, мм [Scan length, mm]			175	
Высота стола, мм [Table height, mm]			100	

Таблица 4. Параметры сканирования фантома - вариант 3
[Table 4. Phantom scan parameters — Option 3]

№	Набор параметров 1 [Parameter Set 1]	Набор параметров 2 [Parameter Set 2]	Набор параметров 3 [Parameter Set 3]	Набор параметров 4 [Parameter Set 4]
Напряжение, кВ Care kV – вкл.(+)/выкл.(-) [Tube voltage, kV Care kV – ON (+)/OFF (-)]	70 -	100 +	100 -	80 -
CareDose 4D – вкл.(+)/выкл.(-) [CareDose 4D – ON (+)/OFF (-)]	+	+	+	+
Значение расчетного параметра Eff. mAs после топограммы [Calculated Eff. mAs value after topogram]	65	83	69	67
Время оборота трубки, с [Tube rotation time, s]			0,5	
Толщина среза, мм Коллимация, мм [Slice thickness, mm Collimation, mm]			3 192 x 0,6	
Питч [Pitch]			1,4	
Длина сканирования, мм [Scan length, mm]			175	
Высота стола, мм [Table height, mm]			100	

Верификация значения объемного КТ-индекса дозы (CTDI_{vol}) происходила следующим образом: значение CTDI_{vol}, отображаемое на консоли томографа, сравнивалось с результатом измерения в дозиметрическом КТ фантоме диаметром 320 мм, полученном при сканировании на том же протоколе грудной клетки, который использовался при сканировании антропоморфного гетерогенного фантома. Результаты сравнения не превышали допустимые значения нормированных отклонений в 20 %.

Результаты

Графики изменения тока рентгеновской трубки, полученные при сканировании фантома 5-летнего ребенка при использовании параметров сканирования, указанных в таблицах 2–4, представлены в таблицах 5–7 соответственно.

Таблица 5. Графики изменения тока рентгеновской трубки, полученные при сканировании фантома 5-летнего ребенка (вариант 1) при использовании параметров сканирования, представленных в таблице 2

Table 5. Graphs of the tube current variation obtained during the scanning of the 5-year-old child phantom (Option 1) using the scan parameters presented in Table 2

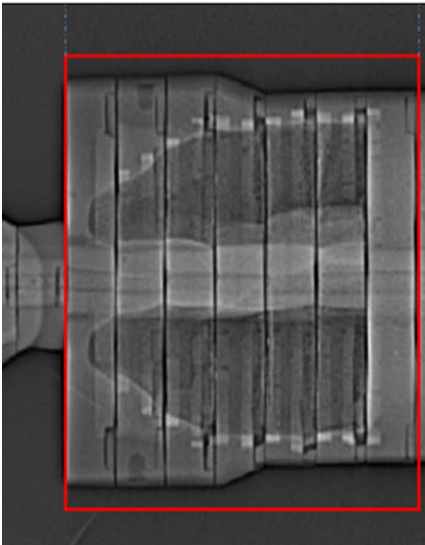

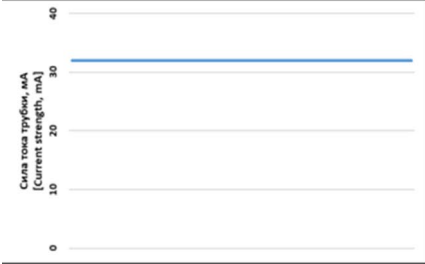
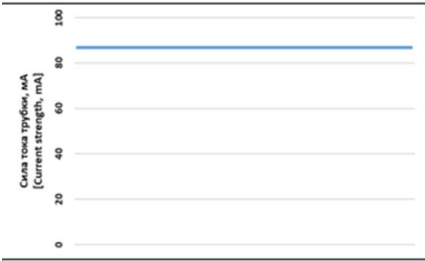
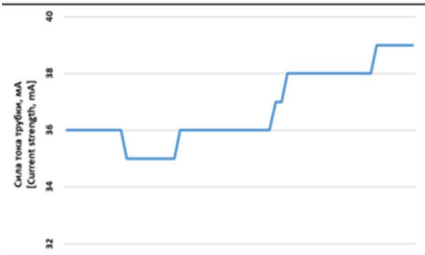
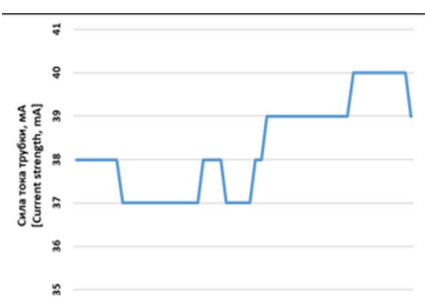
Наборы параметров [Parameter sets]	Набор параметров 1 [Parameter set 1]	Набор параметров 2 [Parameter set 2]	Набор параметров 3 [Parameter set 3]	Набор параметров 4 [Parameter set 4]	Набор параметров 5 [Parameter set 5]
Сила тока, мА [Tube current, mA]	85-96	32	87	35-39	37-40
					

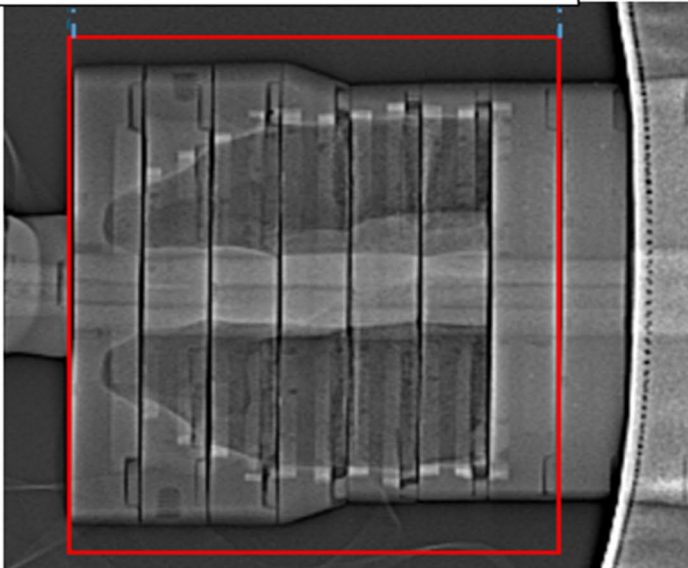
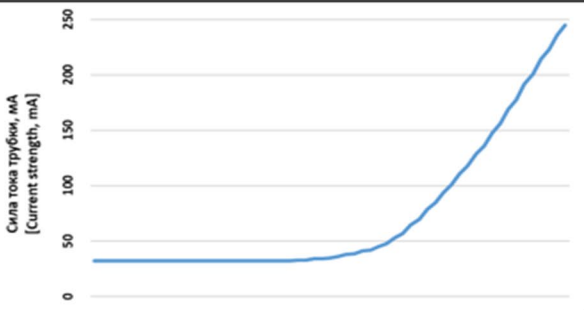
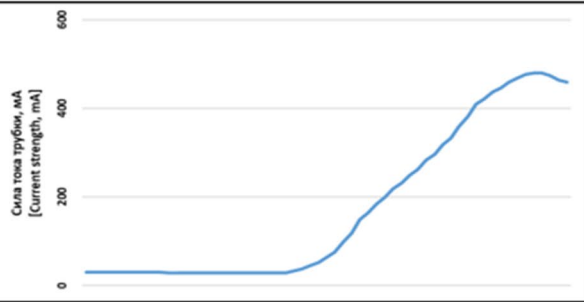
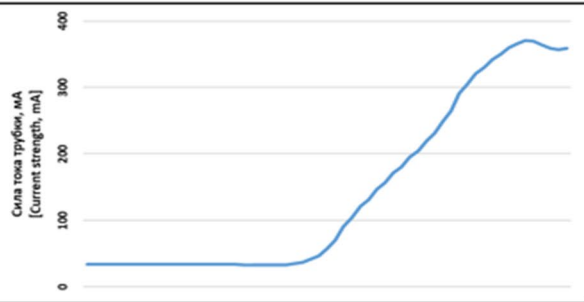

Таблица 6. Графики изменения тока рентгеновской трубки, полученные при сканировании фантома 5-летнего ребенка (вариант 2) при использовании параметров сканирования, представленных в таблице 3

Table 6. Graphs of the tube current variation obtained during the scanning of the 5-year-old child phantom (Option 2) using the scan parameters presented in Table 3

Наборы параметров [Parameter sets]	Набор параметров 1 [Parameter set 1]	Набор параметров 2 [Parameter set 2]	Набор параметров 3 [Parameter set 3]	Набор параметров 4 [Parameter set 4]
Сила тока, мА [Tube current, mA]	40-116	57-305	31-121	35-124

Таблица 7. Графики изменения тока рентгеновской трубки, полученные при сканировании фантома 5-летнего ребенка (вариант 3) при использовании параметров сканирования, представленных в таблице 4

Table 7. Graphs of the tube current variation obtained during the scanning of the 5-year-old child phantom (Option 3) using the scan parameters presented in Table 4

Наборы параметров [Parameter sets]	Набор параметров 2 [Parameter set 2]	Набор параметров 3 [Parameter set 3]	Набор параметров 4 [Parameter set 4]	Набор параметров 1 [Parameter set 1]
Сила тока, мА [Tube current, mA]	32-245	28-481	34-371	40-708
				

При сканировании фантома при одновременно включенных программах Care kV и Care Dose 4D аппарат автоматически установил напряжение 70 кВ после проведения топограммы (табл. 5, набор параметров 1).

Для всех наборов параметров сканирования начальное значение силы тока было различным (табл. 5) и устанавливалось оборудованием после проведения топограммы. Для наборов параметров 2 и 3 начальное значение тока не изменялось на протяжении всего сканирования, т.к. программа Care Dose 4D была выключена. Несмотря на разные значения напряжения, для наборов параметров 1, 4 и 5 (при которых программа Care Dose 4D была включена) наблюдались схожие изменения кривой тока трубки, при которых ток изменялся в зависимости от толщины и плотности фантома на протяжении всей области сканирования. Меньшие значения тока трубки при больших значениях напряжения могут объясняться тем, что таким образом программа Care Dose 4D пытается снизить дозу (табл. 5, набор параметров 4, 5). При 70 кВ, программа Care Dose 4D, наоборот, поднимала начальное значение тока до 85 мА, чтобы компенсировать низкие значения напряжения (табл. 5, набор параметров 1).

Отключение программ АМСТ может приводить к повышению дозы облучения в тех областях, где она могла бы быть снижена и, наоборот, в областях с повышенной толщиной и плотностью тканей силы тока может быть недостаточно для получения необходимого качества изображения.

Серия сканирований, проведенная с использованием СИЗ в варианте 2 представлена в таблице 6.

При сканировании фантома при одновременно включенных программах Care kV и Care Dose 4D аппарат автоматически установил напряжение 80 кВ после проведения топограммы (что выше на 10 кВ по сравнению со сканированиями без СИЗ) (табл. 6, набор параметров 2). Изменение тока трубки происходило в пределах от 57 мА до 305 мА. Минимальные значения тока трубки наблюдались в начале сканирования, далее значения тока трубки постоянно увеличивались по мере приближения к СИЗ.

В данной серии дополнительно были проведены три сканирования при отключенной программе Care kV (на напряжениях 70 кВ, 80 кВ и 100 кВ) и включенной Care Dose 4D. Данные параметры были использованы в том числе и для последующих сканирований фантома при наложении фартука сверху (вариант 3). Дополнительные сканирования проводились с целью изучить изменение силы тока на протяжении всей длины области сканирования, а также убедиться, что эти изменения силы тока для разных вариантов использования СИЗ схожи. Аналогичные зависимости изменения силы тока при различных вариантах использования СИЗ позволяют убедиться, что на эти изменения влияет именно СИЗ, а работа АМСТ КТ-аппарата всегда одинакова и на нее не влияют какие-либо скрытые и неизвестные нам алгоритмы.

При значении напряжения 80 кВ (при отключенной программе Care kV), диапазон тока во время сканирования находился в пределах 31–121 мА (табл. 6, набор параметров 3). При этом характер изменения кривой тока визуально был схож с кривой тока во время сканирования с выбранным напряжением 80 кВ и при включенных программах АМСТ (табл. 6, набор параметров 2).

Аналогично для значений напряжения 70 кВ (табл. 6, набор параметров 1) и 100 кВ (табл. 6, набор параметров 4) диапазоны тока составили, соответственно, 40–116 мА

и 35–124 мА при сохраняющемся характере изменения кривых тока.

Данная серия сканирований подтверждает факт того, что программы Care kV и Care Dose 4D подбирали параметры сканирования автоматически после проведенной топограммы. В данном случае СИЗ расценивалось как область повышенной плотности. Вследствие чего аппарат автоматически повышал напряжение и силу тока трубки для поддержания заданного качества изображения в этой области.

При сканировании фантома при одновременно включенных программах Care kV и Care Dose 4D аппарат автоматически установил напряжение 100 кВ после проведения топограммы (что выше на 30 кВ по сравнению со сканированиями без СИЗ) (табл. 7, набор параметров 2). Изменение тока трубки происходило в пределах от 32 мА до 245 мА.

В данной серии также было проведено три дополнительных сканирования при отключенной программе Care kV (на напряжениях 70 кВ, 80 кВ и 100 кВ) и включенной Care Dose 4D по тем же причинам, что были описаны выше для серии сканирований при использовании СИЗ вариант 2.

Диапазоны тока составили для 70 кВ 40–708 мА (табл. 7, набор параметров 1), для 80 кВ – 28–481 мА (табл. 7, набор параметров 4), для 100 кВ – 34–371 мА (табл. 7, набор параметров 3). Характер изменения кривых тока был схож у данных сканирований.

В данной серии сканирований (табл. 7) СИЗ расценивается аппаратом не только как область повышенной плотности, но и как «очень крупный» объект за счет выступающих краев СИЗ с обеих сторон фантома. Как результат – аппарат автоматически повышает напряжение и силу тока трубки для получения приемлемого изображения. Программа Care Dose 4D компенсирует высокие значения напряжения путем некоторого снижения силы тока трубки (в сравнении с силой тока трубки при 70 кВ); во всех случаях при приближении к области СИЗ сила тока значительно возрастала.

Обсуждение

Результаты сканирований (табл. 5–7) показали, что особенности работы программы Care kV заключаются в следующем: после проведения топограммы Care kV автоматически устанавливает необходимое напряжение трубки в зависимости, в первую очередь, от ширины, а также от плотности сканируемого объекта. Выбранное по результатам топограммы напряжение используется для проведения основного сканирования и не изменяется на протяжении всей его длины. Гипотеза о том, что именно ширина СИЗ, а не его плотность, в большей степени влияет на увеличение напряжения тока трубки, может подтверждаться тем, что при использовании СИЗ вариант 3 программа Care kV автоматически выбрала напряжение 100 кВ в отличие от использования СИЗ вариант 2, при котором в область топограммы попало 2 слоя фартука (0,5 мм Pb x 2), когда Care kV выбрала напряжение 80 кВ.

Программа Care Dose 4D при различных вариантах использования СИЗ ведет себя аналогичным образом при выборе начального значения Eff.mAs. Предполагается, что во время топограммы Care Dose 4D «оценивает» участки объекта сканирования – их плотность и размеры. СИЗ, попадающий в область топограммы оценивается, как область с повышенной плотностью и большими размерами. Поэтому во время основного сканирования Care Dose 4D заранее начинает увеличивать силу тока по мере приближения к СИЗ,

т.е. объекту большего размера и плотности, что видно на графиках изменения тока. При этом Care Dose 4D увеличивает силу тока до более высоких значений при использовании СИЗ вариант 3 (245-708 мА) по сравнению с использованием СИЗ вариант 2 (116-305 мА), что также подтверждает большее влияние размера (ширины) СИЗ на работу АМСТ.

На основании проведенных сканирований (табл. 5–7) можно сделать следующие выводы о влиянии СИЗ на результаты работы программ АМСТ:

- программы АМСТ учитывают наличие СИЗ, попадающих в область топограммы;
- СИЗ влияют на параметры сканирования: как на начальные (автоматически устанавливаемые после топограммы), так и на изменение этих параметров в процессе основного сканирования.

Так как СИЗ (при различных вариантах использования) существенно влияет на изменение параметров сканирования, то обоснованно предположить, что использование СИЗ повлечет за собой и увеличение поглощенных доз в отдельных радиочувствительных органах (максимальное увеличение параметров сканирования наблюдалось в зоне радиочувствительных органов), а также эффективной дозы и радиационных рисков. Это требует дополнительных исследований с соответствующей оценкой доз и финальным выводом об обоснованности или необоснованности использования СИЗ при проведении КТ-исследований, на что будет нацелена следующая работа авторов.

Заключение

Программы автоматической модуляции силы тока и напряжения рентгеновской трубки (CareDose 4D и Care kV) реагируют на СИЗ как на плотную и крупную структуру. В результате АМСТ увеличивают напряжение рентгеновской трубки и начальное значение силы тока основного сканирования. При этом алгоритм работы программа АМСТ не изменяется относительно эталонного сканирования: значение напряжения остается неизменным на протяжении всего сканирования, а силу тока программа продолжает регулировать. Но в отличие от эталонного сканирования регуляция силы тока осуществляется только в одном направлении – в сторону увеличения по мере приближения сканирования к СИЗ.

Влияние СИЗ на поглощенные дозы в отдельных радиочувствительных органах, а также эффективной дозы требует дополнительных исследований с последующей оценкой обоснованности или необоснованности использования СИЗ при проведении КТ-исследований.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

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

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

Алексеева Д.В. – 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 «Научное обоснование Концепции обеспечения радиационной безопасности населения Российской Федерации при проведении рентгенорадиологических процедур».

Литература

1. Stearns B.K., Seitz K., Folck Q.M. Exploring past to present shielding guidelines // Radiological Physics and Technology. 2023. № 95(2). P. 84-93.
2. Marsh R.M., Silosky M. Patient shielding in diagnostic imaging: discontinuing a legacy practice // American Journal of Roentgenology. 2019. № 212(4). P. 755-757. DOI: 10.2214/AJR.18.20508.
3. Khong P.L., Ringertz H., Donoghue V. et al. ICRP publication 121: radiological protection in paediatric diagnostic and interventional radiology // Annals of the ICRP. 2013. No 42(2). P. 1-63. DOI: 10.1016/j.icrp.2012.10.001.
4. Sullivan Y., Benson E., Hickson G. et al. Guidance on using shielding on patients for diagnostic radiology applications. 2020. 87 p.
5. PS 8-A. AAPM Position Statement on the Use of Patient Gonadal and Fetal Shielding. – [Online resource] – URL: <https://www.aapm.org/org/policies/details.asp?type=PP&id=2552> (Дата обращения: 24.02.2026).
6. Hiles P. Using patient shielding - What is the risk? // British Journal of Radiology. 2021. Vol. 94, No 1126. P. 20210701. DOI: 10.1259/bjr.20210701.
7. McKenney S., Gingold E., Zaidi H. Gonadal shielding should be discontinued for most diagnostic imaging exams // Medical Physics. 2019. Vol. 46, No 3. P. 1111-1114. DOI: 10.1002/mp.13409.
8. Lawrence S., Seeram E. The Current Use and Effectiveness of Bismuth Shielding in Computed Tomography: A Systematic Review. Radiology // Open Journal. 2017. Vol. 2. P. 7-16. DOI: 10.17140/ROJ-2-113.
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. Söderberg M. Overview, practical tips and potential pitfalls of using automatic exposure control in CT: Siemens Care Dose 4D // Radiation Protection Dosimetry. 2016. No 169 (1-4). P. 84-91. DOI: 10.1093/rpd/ncv459.
11. 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).
12. Olympic Health Physics. How Does CARE Dose4D Work? Online resource - URL: <https://www.olympichp.com/how-does-care-dose4d-work/> (Дата обращения: 24.02.2026).
13. Varchena V. Pediatric phantoms // Pediatric Radiology Journal. 2002. № 32. P. 280–284.
14. 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.
15. Marcus S., Sonny L. Evaluation of adaptation strengths of CARE Dose 4D in pediatric CT. Medical Imaging 2013: Physics of Medical Imaging. 2013. P. 866833. DOI: 10.1117/12.2001694.

Поступила: 19.01.2026

Шацкий Илья Геннадьевич – исполняющий обязанности старшего научного сотрудника, 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: i.shatskiy@niirg.ru
ORCID: 0000-0003-2809-0223

Дружинина Полина Сергеевна – исполняющая обязанности научного сотрудника, лаборатория радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены им. профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия
ORCID: 0000-0003-2921-067X

Чипига Лариса Александровна – кандидат технических наук, исполняющая обязанности ведущего научного сотрудника, 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

Алексеева Дарья Владимировна – врач-рентгенолог, заведующая отделением лечебной диагностики №1 Университетской клиники, ассистент кафедры лучевой диагностики и медицинской визуализации Национального медицинского исследовательского центра им. В.А. Алмазова, Санкт-Петербург, Россия
ORCID: 0000-0001-9528-9377

Для цитирования: 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. 72–83. DOI: 10.21514/1998-426X-2026-19-1-72-83

Evaluation of the impact of personal protective equipment on the automatic exposure control system in computed tomography

Ilya G. Shatsky¹, Polina S. Druzhinina¹, Larisa A. Chipiga^{1,2,3}, Darya V. Alekseeva³

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.M. 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

The relevance of this study lies in the need to reconsider established approaches to the use of personal protective equipment in computed tomography due to the widespread implementation of automatic tube current and voltage modulation algorithms. Since PPE can distort the input data for these algorithms, their use may not only fail to reduce but could also unjustifiably increase the patient's radiation dose, which requires detailed experimental verification, especially in pediatric practice where patients are most sensitive to ionizing radiation. The aim of this work is to assess the influence of personal protective equipment on the performance of the automatic tube current and voltage modulation programs (CareDose 4D and Care kV) during CT examinations on a Somatom Force (Siemens) scanner, using an anthropomorphic phantom of a five-year-old child. Materials and Methods: The study was conducted at the CT department of the Almazov National Medical Research Centre using an anthropomorphic phantom of a five-year-old child and a technically sound Somatom Force (Siemens) tomograph. To assess the impact of personal protective equipment on the operation of the automatic current and voltage modulation programs (CareDose 4D and Care kV), a series of phantom scans was performed with and without various positioning options for a protective lead apron, simulating real clinical practice. Results and Discussion: The results showed that when a lead apron enters the topogram area, the system interprets this as an increase in the patient's body size and density, which automatically increases the radiation parameters compared to a scan performed without the lead apron. Conclusion: Evaluating the impact of this effect on absorbed and effective doses requires further research to determine the appropriateness of using personal protective equipment in computed tomography.

Key words: computed tomography, patient, radiation protection, personal protective equipment, protective apron, tube current modulation.

Ilya G. Shatsky

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

Address for correspondence: 8, Mira Str., Saint Petersburg, 197101, Russia; E-mail: i.shatskiy@niirg.ru

Authors' personal contribution

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.

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.

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

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

Conflict of interests

The authors have no conflicts of interest to disclose.

Sources of funding

This article was prepared as part of the sectoral research project "Scientific Substantiation of the Concept for Ensuring Radiation Safety of the Population of the Russian Federation during X-ray and Radiological Procedures."

References

1. Stearns BK, Seitz K, Folck QM. Exploring Past to Present Shielding Guidelines. *Radiological Physics and Technology*. 2023;95(2): 84-93.
2. Marsh RM, Silosky M. Patient shielding in diagnostic imaging: discontinuing a legacy practice. *American Journal of Roentgenology*. 2019;212(4): 755-757. DOI: 10.2214/AJR.18.20508.
3. Khong PL, Ringertz H, Donoghue V, Frush D, Rehani M, Appelgate K, et al. ICRP publication 121: radiological protection in paediatric diagnostic and interventional radiology. *Annals of the ICRP*. 2013;42(2): 1-63. DOI: 10.1016/j.icrp.2012.10.001.
4. Sullivan Y, Benson E, Hickson G, Helen H, Phil C, Robert L, et al. Guidance on using shielding on patients for diagnostic radiology applications. 2020. 87 p.
5. PS 8-A. AAPM Position Statement on the Use of Patient Gonadal and Fetal Shielding. [Online resource] URL: <https://www.aapm.org/org/policies/details.asp?type=PP&id=2552> (Accessed: 24.02.2026).
6. Hiles P. Using patient shielding - What is the risk? *British Journal of Radiology*. 2021;94(1126): 20210701. DOI: 10.1259/bjr.20210701.
7. McKenney S, Gingold E, Zaidi H. Gonadal shielding should be discontinued for most diagnostic imaging exams. *Medical Physics*. 2019;46(3): 1111-1114. DOI: 10.1002/mp.13409.
8. Lawrence S, Seeram E. The Current Use and Effectiveness of Bismuth Shielding in Computed Tomography: A Systematic Review. *Radiology, Open Journal*. 2017;2: 7-16. DOI: 10.17140/ROJ-2-113.
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. Söderberg M. Overview, practical tips and potential pitfalls of using automatic exposure control in CT: Siemens Care Dose 4D. *Radiation Protection Dosimetry*. 2016;169(1-4): 84-91. DOI: 10.1093/rpd/ncv459.
11. Chipiga LA. Evaluation of tube current modulation programmes for the optimization of scan protocols in computed tomography. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2019;12(1): 104-114. (DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-1-104-114) (In Russian).
12. Olympic Health Physics. How Does CARE Dose4D Work? - [Online resource] URL: <https://www.olympichp.com/how-does-care-dose4d-work/> (Accessed: 24.02.2026).
13. Varchena V. Pediatric phantoms. *Pediatric Radiology Journal*. 2002;32: 280-284.
14. 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).
15. Marcus S, Sonny L. Evaluation of adaptation strengths of CARE Dose 4D in pediatric CT. *Medical Imaging 2013: Physics of Medical Imaging*. 2013: 866833 DOI: 10.1117/12.2001694.

Received: January 19, 2026

For correspondence: Ilya G. Shatsky – 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: i.shatskiy@niirg.ru)
ORCID: 0000-0003-2809-0223

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, Saint Petersburg, Russia
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.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

Darya V. Alekseeva - Radiologist, Head of the Department of Medical Diagnostics No. 1 at the University Clinic, Assistant at the Department of Radiation Diagnostics and Medical Imaging, Almazov National Medical Research Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia
ORCID: 0000-0001-9528-9377

For citation: Shatsky I.G., Druzhinina P.S., Chipiga L.A., Alekseeva D.V. Evaluation of the impact of personal protective equipment on the automatic exposure control system in computed tomography. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2026. Vol. 19, No. 1. P. 72–83. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2026-19-1-72-83