

Использование тест-объекта «контраст-деталь» для оценки возможности снижения доз облучения пациентов в цифровой рентгенографии органов грудной клетки

А.В. Водоватов

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

Неотъемлемой частью процедуры оптимизации является оценка качества изображения, полученного с использованием новых низкодозовых протоколов. Для проведения объективной количественной оценки качества рентгеновских изображений используются специализированные тест-объекты, включающие в себя несколько модулей для одновременного проведения измерения различных физических параметров изображения (например, контраста и пространственного разрешения). Их использование позволяет установить и оценить взаимосвязь между дозой облучения пациента, параметрами проведения исследований и качеством изображения. Это особенно актуально при оптимизации проведения цифровых рентгенографических исследований, выполняющихся с автоматическим контролем экспозиции. Цель данного исследования заключалась в оценке возможностей снижения доз облучения пациентов при проведении цифровой рентгенографии органов грудной клетки с автоматическим контролем экспозиции с использованием тест-объекта «контраст-деталь». Исследование было выполнено на базе СПб ГБУЗ «Мариинская больница» на цифровом рентгеновском аппарате АРЦ-Электрон с непрямым плоскостельным детектором. Были получены рентгеновские изображения тест-объекта «контраст-деталь» в сочетании с тканезквивалентным фантомом на различных режимах проведения рентгенографии органов грудной клетки: в диапазоне напряжений 60–150 кВ с автоматическим контролем экспозиции и на фиксированном напряжении 90 кВ в диапазоне значений экспозиции 2–100 мАс. Для каждого режима измеряли произведение дозы на площадь; на его основе рассчитывали эффективную дозу. Для автоматической оценки качества рентгеновских изображений фантома было разработано программное обеспечение в среде «Mathlab». Результаты исследования показали, что переход на использование напряжения 140–150 кВ на текущих настройках автоматического контроля экспозиции приведет к снижению произведения дозы на площадь и эффективной дозы на 60% и 95% соответственно относительно стандартного протокола. Изменение текущих настроек автоматического контроля экспозиции с уменьшением значения экспозиции до 4,2 мАс с текущих 11,2 мАс для анодного напряжения в 90 кВ позволит снизить произведение дозы на площадь и эффективную дозу вплоть до трех раз по сравнению со стандартным протоколом. Параметры качества изображения для обоих случаев снизятся менее чем на 15%. Предложенные низкодозовые протоколы находятся на стадии клинической апробации в СПб ГБУЗ «Мариинская больница». Предложенная методика оценки качества изображений и разработки низкодозовых протоколов рекомендована к включению в программу обеспечения качества рентгенодиагностических исследований.

Ключевые слова: медицинское облучение, контроль качества изображения, тест-объект «контраст-деталь»; пространственное разрешение, контраст, оптимизация.

Введение

Оптимизация проведения диагностических рентгено-радиологических исследований (РРИ) заключается в на-

хождении разумного баланса между низкими уровнями облучения пациентов и необходимым качеством изображения с учетом социальных и экономических факторов¹.

¹ Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010): Санитарные правила и нормы СП 2.6.1.2612-10. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. 83 с.

[Basic sanitary rules of the provision of the radiation safety (OSPORB 99/2010): Sanitary rules and norms SP2.6.1.2612-10. Moscow, Federal center of hygiene and epidemiology of Rosпотребнадзор, 2010, 83 p.]

Водоватов Александр Валерьевич

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: vodovatoff@gmail.com

Как правило, в настоящее время процесс оптимизации проведения РРИ включает следующие шаги:

- оценку (среднего, медианного) значения стандартной дозы облучения пациентов от данного РРИ;
- его сравнение с установленным референтным диагностическим уровнем (РДУ);
- в случае превышения установленного значения РДУ – проведение мероприятий по коррекции параметров проведения исследования и методик работы персонала [1].

Неотъемлемой частью процедуры оптимизации является оценка качества изображения, полученного с использованием новых низкодозовых протоколов [2–5]. При этом возможно использовать объективные и/или субъективные методы оценки качества изображения [4, 5]. Объективные методы основываются на определении и оценке физико-технических характеристик рентгеновского изображения (контраста, пространственного разрешения, шума, отношения сигнала к шуму и пр.) с использованием специализированных тест-объектов. Субъективные методы основываются на экспертной оценке врачами диагностического качества рентгеновских изображений пациентов или антропоморфных фантомов. При этом оценивается соответствие рентгеновских снимков заданным критериям качества [4–6], сравниваются рентгеновские снимки, полученные на стандартном и экспериментальных режимах [4, 5, 7] или осуществляется поиск патологий на рентгеновском снимке [4, 5, 7].

Измерение физико-технических характеристик рентгеновского изображения практически не позволяет оценить его клиническую ценность (визуализацию анатомических структур и патологий). Тем не менее, результаты таких измерений поддаются простой количественной оценке (число максимально различимых пар линий, уровень шума, не превышающий заданную величину и пр.) [8]. Напротив, количественная интерпретация результатов экспертной оценки врачами качества изображения существенно персонифицирована и требует комплексного статистического анализа. Использование однотипных тест-объектов позволяет обеспечить воспроизводимость измерений. Применение специализированного программного обеспечения для анализа изображений позволяет исключить влияние психоэмоционального состояния наблюдателя [9] и существенно сократить временные затраты на организацию и проведение оценки качества изображений [4, 9].

Наиболее распространены комбинированные тест-объекты, включающие в себя несколько модулей для одновременного проведения измерения различных физических параметров изображения (контраст+пространственное разрешение+отношение сигнала к шуму). Такие комбинированные тест-объекты применяются в рамках программ контроля качества в рентгенографии [10], маммографии [11] и компьютерной томографии [12]. Внедрение таких тест-объектов в практику отечественной лучевой диагностики и радиационной защиты в медицине существенно затруднено из-за высокой стоимости (до нескольких тысяч евро). Целесообразно разрабатывать и внедрять в практику отечественные аналоги данных тест-объектов, обладающие идентичными возможностями, но меньшей стоимостью.

Одним из наиболее актуальных направлений оценки качества изображения с использованием комбини-

рованных тест-объектов является оптимизация проведения цифровых рентгенографических исследований, выполняемых с автоматическим контролем экспозиции (АКЭ). АКЭ представляет собой систему из нескольких (от одного до трех) дозиметров – проходных ионизационных камер или твердотельных полупроводниковых детекторов, размещенных непосредственно перед приемником изображения. [13]. АКЭ позволяет автоматически отключать генератор рентгеновского аппарата при достижении детектором заданного значения дозы на приемнике рентгеновского изображения. Параметры АКЭ задаются при введении в эксплуатацию рентгеновского аппарата с учетом всех компонентов системы, участвующих в формировании рентгеновского изображения, и предпочтений медицинского персонала.

Собственные исследования [2, 3] показали значительные различия в значениях экспозиции (вплоть до 10 раз) между цифровыми рентгеновскими аппаратами отечественного и зарубежного производства при проведении рентгенографии органов грудной клетки (ОГК) с АКЭ. Целесообразно оценить потенциал снижения доз облучения пациентов при внесении изменений в настройки АКЭ (ограничения экспозиции) с одновременной оценкой физических параметров изображения для отечественных рентгеновских аппаратов и разработать низкодозовые режимы проведения рентгенографии ОГК.

Цель исследования – оценить возможности снижения доз облучения пациентов при проведении цифровой рентгенографии ОГК с автоматическим контролем экспозиции с использованием тест-объекта «контраст-деталь».

Задачи исследования:

- определить дозы у пациентов и параметры проведения цифровой рентгенографии ОГК с включенным АКЭ с использованием тест-объекта «контраст-деталь» и тканеэквивалентного фантома;
- оценить влияние изменения экспозиции на дозы пациентов при проведении цифровой рентгенографии ОГК с выключенным АКЭ с использованием тест-объекта «контраст-деталь» и тканеэквивалентного фантома;
- провести оценку характеристик качества рентгеновских изображений для различных режимов проведения цифровой рентгенографии ОГК;
- оценить перспективы снижения доз в цифровой рентгенографии ОГК без значимой потери в качестве изображения путем изменения настроек АКЭ;
- разработать методику проведения оптимизации проведения рентгенографических исследований с использованием тест-объекта «контраст-деталь» и разработанного программного обеспечения.

Материалы и методы

Данная работа была выполнена на цифровом рентгеновском аппарате АРЦ-Электрон (ЗАО «НИПК «Электрон»»), установленном в приемном отделении СПб ГБУЗ «Мариинская больница» [2, 3]. Данный аппарат оснащен непрямой плоскопанельным детектором (CsI+аморфный Si). Для оптимизации был выбран стандартный протокол рентгенографии ОГК в прямой передней проекции на столе (напряжение 90 кВ, расстояние

источник – приемник (РИП) – 100 см, толщина полной фильтрации – 5 мм Al, с АКЭ с активным центральным датчиком).

Исследование проводилось с использованием тест-объекта «контраст-деталь», представлявшим собой усовершенствованную версию фантома CDRAD 2.0 [10]. Внешний вид и схематическое изображение тест-объекта показаны на рисунке 1.

Данный тест-объект представляет собой квадратную матрицу из полиметилметакрилата (длина 150 мм, ширина 150 мм, толщина 10 мм), разделенную на 15 строк и 15 столбцов – всего 225 сегментов. В каждом сегменте матрицы просверлены отверстия с различным диаметром и глубиной. По вертикали увеличивается диаметр отверстия (с 0,3 мм до 8 мм); по горизонтали увеличивается глубина отверстия (с 0,3 мм до 8 мм), что позволяет оценивать контраст и пространственное разрешение со-

ответственно. По сравнению с оригинальным фантомом CDRAD 2.0 размеры использованного тест-объекта были уменьшены вдвое с сохранением всех размеров и паттернов расположения отверстий. Это позволяет использовать тест-объект в том числе и с коллимированными размерами полей облучения. Тест-объект был изготовлен компанией Promech Lab AB (г. Мальмо, Швеция).

В эксперименте тест-объект использовался в сочетании с тканеэквивалентным фантомом (полиэтиленовая канистра 250×250×150 мм, наполненная водой²), далее по тексту – «комплекс».

В ходе проведения эксперимента комплекс был размещен на столе рентгеновского аппарата. Рентгеновский пучок был отцентрирован по геометрическому центру тест-объекта. Был использован максимальный размер поля облучения. Схема размещения комплекса при проведении эксперимента представлена на рисунке 2.

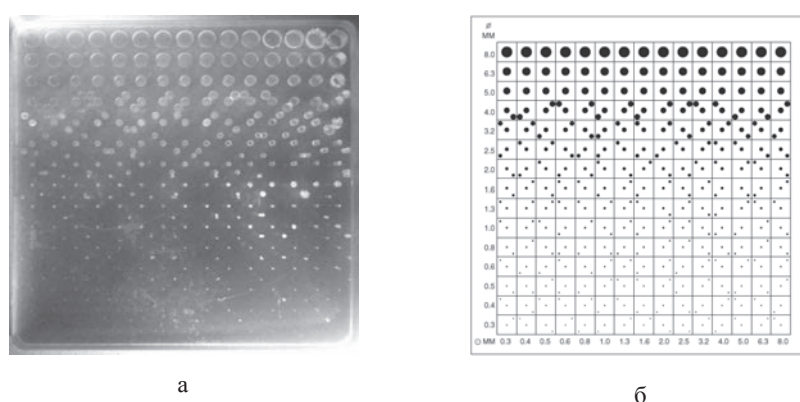


Рис. 1. Внешний вид (а) и схематическое изображение (б) тест-объекта «контраст-деталь»
[Fig. 1. External appearance (a) and a blueprint of the “contrast-detail” test-object]

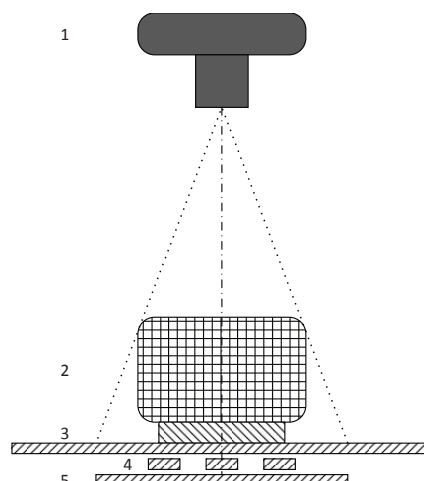


Рис. 2. Схема размещения тест-объекта и тканеэквивалентного фантома в эксперименте: 1 – рентгеновская трубка; 2 – тканеэквивалентный фантом; 3 – тест-объект; 4 – детекторы АКЭ; 5 – приемник изображения

[Fig. 2. Positioning of the “contrast-detail” test-object combined with the tissue-equivalent phantom: 1 – X-ray tube; 2 – tissue equivalent phantom; 3 – test-object; 4 – AEC detectors; 5 – detector]

² Методические указания МУ 2.6.1.1982-05 «Проведение радиационного контроля в рентгеновских кабинетах». Утверждены 25.04.2005 г. Доступно по адресу: <http://docs.cntd.ru/document/1200039681> Дата последнего обращения 20.01.2019 г. [Methodical guidelines MU 2.6.1.198205 “Conduction of the radiation control in the X-ray rooms”. Approved 25.04.2005. – Available from: <http://docs.cntd.ru/document/1200039681> (Accessed: 20.01.2019)]

Была проведена дозиметрия и получены рентгеновские изображения комплекса как на стандартном протоколе проведения рентгенографии ОГК с АКЭ, так и на фиксированном значении напряжения 90 кВ с ручным из-

менением значений экспозиции. Общая информация об экспериментальных режимах представлена в таблице. Все режимы подразумевали использование стандартного растра (110 линий на дюйм, R=13:1, F=180 см).

Параметры протоколов проведения рентгенографии ОГК, изученные в исследовании

Таблица

Parameters of the protocols of the radiography of the chest investigated in the current study

[Table

Стандартный протокол с АКЭ [Standard protocol with AEC]				Экспериментальные протоколы [Test protocols]		
Напряжение на трубке, кВ [Tube voltage, kV]	РИП, см [FID, cm]	Размер поля, см×см [Size of the field, cmxcm]	Диапазон напряжений, кВ [Tube voltage range, kV]	Диапазон мАс [tube current-time product range, mAs]	РИП, см [FID, cm]	Размер поля, см×см [Size of the field, cmxcm]
90	100	40×40	60–150*	АКЭ**	100	40×40
			90	2–100	100	40×40

* – шаг изменения напряжения – 5 кВ;

** – активный центральный датчик АКЭ

[* – Step of the tube voltage increase – 5 kV

** – With the active central detector of the AEC system].

Измерение произведения дозы на площадь (ПДП) производилось поверенной проходной ионизационной камерой ДРК-1 (ЗАО «НИПК «Доза», Россия), входящей в комплект оснащения рентгеновского аппарата. Эффективные дозы (ЭД) рассчитывались с использованием программного обеспечения РСХМС 2.0 [14] на базе измеренного ПДП для режима рентгенографии ОГК в задне-передней проекции с использованием взвешивающих коэффициентов из 60 Публикации МКРЗ [15].

Полученные цифровые рентгеновские изображения экспортировались в формате DICOM с рабочей станции рентгеновского аппарата и были сконвертированы в формат .bmp с помощью программного обеспечения ImageJ [16]. При этом изображение обрезалось по размерам тест-объекта. Конечный размер изображения составлял 555×555 пикселей. Постобработка изображения не проводилась.

Для автоматизации процесса оценки снимков было разработано программное обеспечение (ПО) в среде Matlab [17].

Метод поиска и подсчета кругов в данной программе реализован последовательно. В первую очередь изображение обрабатывается оператором Кэнни [16], выделяющим контуры изображения с помощью функции edge ('canny'). Далее с помощью функции imfill ('holes') заливаются все замкнутые контуры изображения; команда imopen удаляет все незамкнутые контуры. В итоге получается бинарное изображение. Все изображение разделяется на 225 зон интереса (15×15) с помощью сетки. Функция bwboundaries в связке с функцией regionprops выдает значение диаметров различных кругов. Для каждой зоны интереса проводится операция bweuler, которая

в бинарном изображении вычисляет значение Эйлера (количество областей со значением пикселей ≠ 0). На основе этих значений выполняется построение графика, ограничивающего зону видимых кругов. Дополнительно выводятся численные значения количества кругов построчно.

Пример последовательной обработки изображений представлен на рисунке 3.

Оценка качества рентгеновских изображений тест-объекта производилась по следующим параметрам:

– определение процентного соотношения площади видимых секторов к общей площади секторов на тест-объекте (COR) [10]. Расчеты проводились с использованием выражения 1:

$$COR = \frac{\text{видимые секторы}}{\text{общая площадь секторов}} \cdot 100\% \quad (1)$$

– определение инвертированного коэффициента качества изображения [10] с использованием выражения 2:

$$IQF_{inv} = \frac{100}{\sum_{i=1}^{15} C_i \cdot D_i} \quad (2)$$

где D_i – диаметр; C_i – глубина последнего видимого отверстия в колонке i . В том случае, если не виден ни один круг, то присваивается значение 10 мм.

Различия в качестве рентгеновских изображений считались значимыми, если параметры COR и IQF_{inv} отличались более чем на 20% от аналогичных значений для текущего режима проведения рентгенографии [18].

Обработка данных выполнялась с использованием программного обеспечения Statistica 12.

Результаты и обсуждение

Результаты дозиметрии комплекса с использованием АКЭ представлены на рисунке 4.

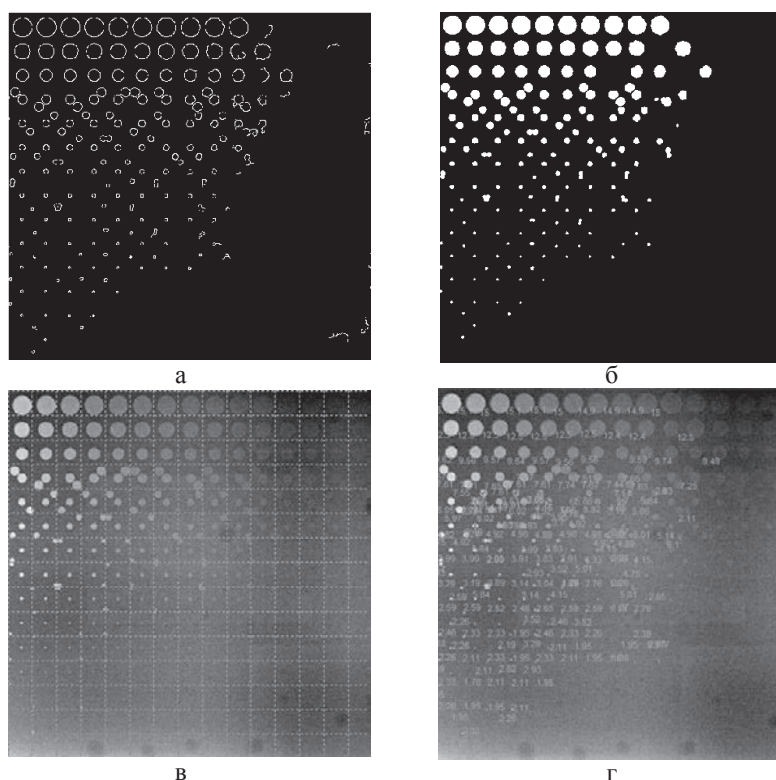


Рис. 3. Последовательная обработка рентгеновских изображений тест-объекта: выделение контуров на изображении оператором Кэнни (а); бинарное изображение рентгеновского снимка (б); вывод сетки, разделяющей тест-объект на сегменты (в); подсчет диаметров видимых кругов (г)

[Fig. 3. Sequential processing of the X-ray images of the test-object: contouring of the holes using Kenny operator (a), binary X-ray image (b), segmentation of the image with the grid (c), calculation of the diameters of the visible holes (d)]

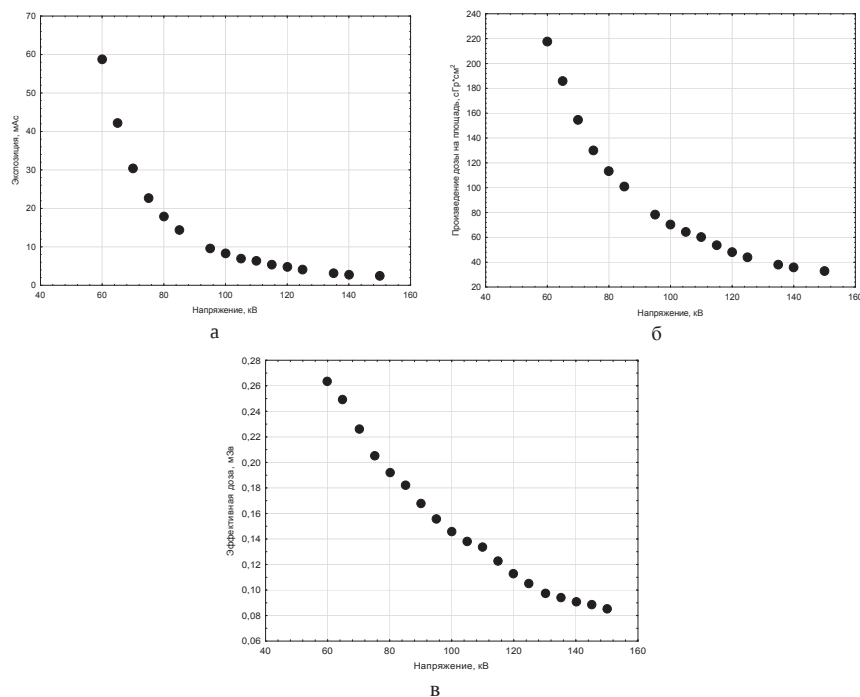


Рис. 4. Зависимости экспозиции (а), произведения дозы на площадь (б) и эффективной дозы (в) от напряжения для аппарата АРЦ-Электрон с автоматическим контролем экспозиции

[Fig. 4. Relations between the tube current time product (a), dose-area product (b), effective dose (c) and tube voltage for the ARC-Electron X-ray unit with automated exposure control]

Результаты измерения ПДП с использованием комплекса тест-объекта «контраст-деталь» и фантома с АКЭ сопоставимы с результатами предыдущих работ, выполненных с использованием антропоморфного фантома ОГК Chest Phantom N1 «Lungman» [2, 3]. Характер изменения с включенным АКЭ идентичен результатам, представленными в [2, 3]. Различия в абсолютных значениях мАс, ПДП и ЭД объясняются различиями в толщине и плотности использованных фантомов и различиями в условиях проведения измерения. Так, измерения в данной работе проводились с активным центральным датчиком АКЭ; в [2, 3] – с активными боковыми (левым и правым). Таким образом, для проведения оптимизации возможно использовать данный комплекс при отсутствии антропоморфных фантомов.

С увеличением анодного напряжения мАс, ПДП и ЭД экспоненциально уменьшаются вплоть до выхода на плато в диапазоне напряжений 120–150 кВ (см. рис. 4). Значение экспозиции для стандартного режима проведения рентгенографии ОГК составило 11,2 мАс. Данная величина была

выбрана в качестве эталонной для оценки качества изображения на режимах с ручным изменением экспозиции. При использовании максимально возможного напряжения в 150 кВ снижение ПДП относительно стандартного режима проведения рентгенографии ОГК (90 кВ) составляет 62% ($88,3 \text{ сГр} \times \text{см}^2$ для 90 кВ, $32,9 \text{ сГр} \times \text{см}^2$ для 150 кВ). Снижение ЭД относительно стандартного режима составляет 95% (0,16 мЗв для 90 кВ, 0,08 мЗв для 150 кВ).

Результаты дозиметрии комплекса на диапазоне значений экспозиции с фиксированным анодным напряжением представлены на рисунке 5.

На фиксированном анодном напряжении ПДП и ЭД линейно возрастает с увеличением мАс на всем диапазоне значений.

Примеры полученных рентгеновских изображений тест-объекта после экспорта в формате DICOM и конвертации в формат .bmr для режимов с АКЭ и ручным изменением экспозиции представлены на рисунке 6.

Результаты определения COR и IQF_{inv} представлены на рисунках 7 и 8 для режимов работы с АКЭ и с ручным изменением экспозиции соответственно.

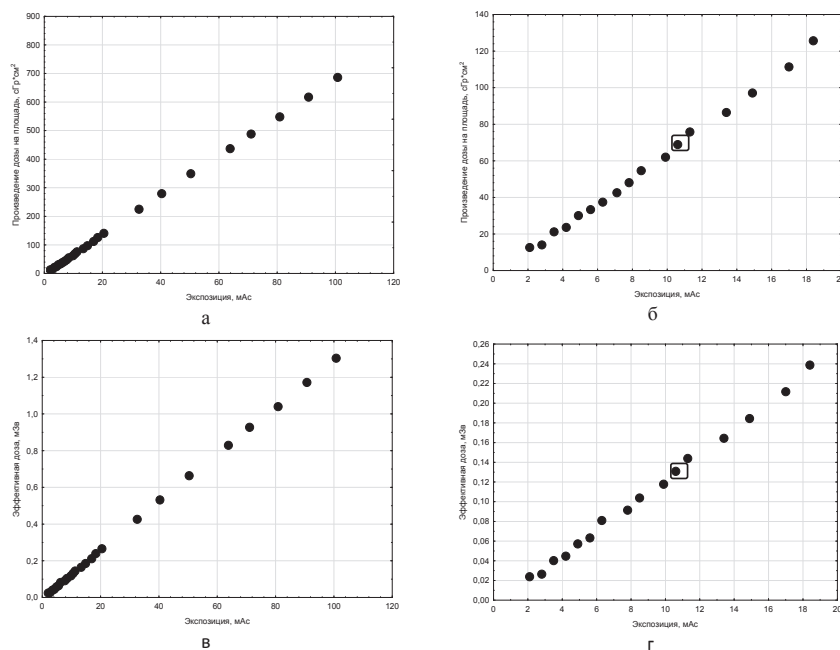
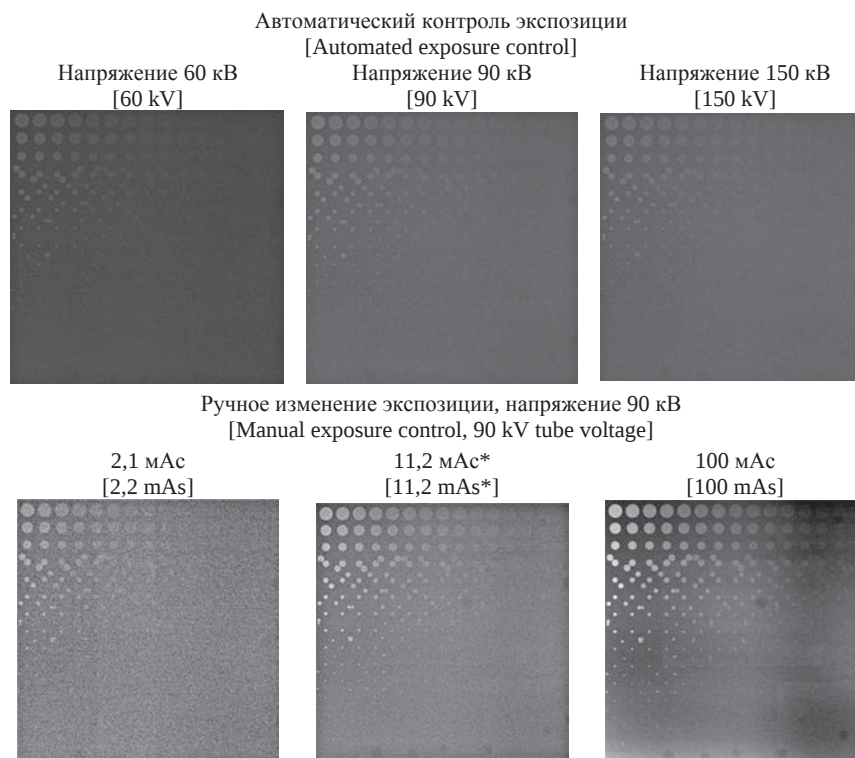


Рис. 5. Зависимость произведения дозы на площадь, $\text{сГр} \times \text{см}^2$ и эффективной дозы, мЗв, от экспозиции, мАс, на всем диапазоне значений экспозиции (а, в) и на диапазоне 2–20 мАс (б, г) соответственно. Выделено значение экспозиции для стандартного режима проведения рентгенографии ОГК

[Fig. 5. Relations between the dose-area product, $\text{сГр} \times \text{см}^2$, effective dose, mSv, and tube current-time product, mAs, for the whole range of tube current-exposure time product (a, c) and for the range of 2–20 mAs (b, d). The tube current-time product value for the standard protocol of the radiography of the chest is marked with a square]



* значение экспозиции, соответствующее порогу срабатывания системы АКЭ для 90 кВ
* tube current-time product, corresponding for the AEC activation for the 90 kV

Рис. 6. Примеры рентгеновских изображений тест-объекта, полученных на различных режимах работы рентгеновского аппарата
[Fig. 6. Examples of the X-ray images of the phantom obtained on different imaging protocols]

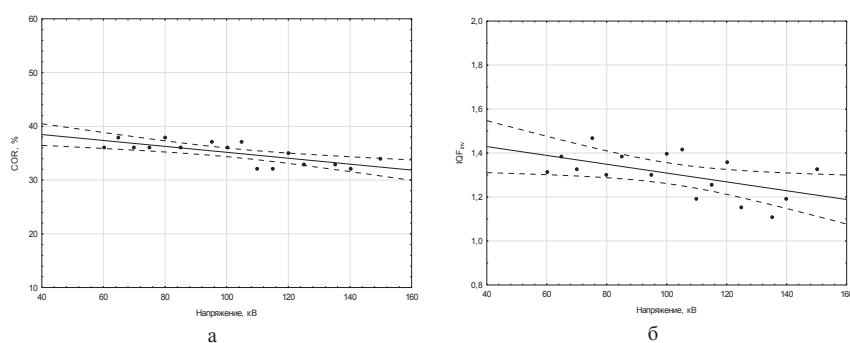


Рис. 7. Зависимости COR (а) и IQF_{inv} (б) от анодного напряжения, кВ, для режима с включенным АКЭ
[Fig. 7. Dependence of COR (a) and IQF_{inv} (b) on tube voltage, kV, with the AEC system on]

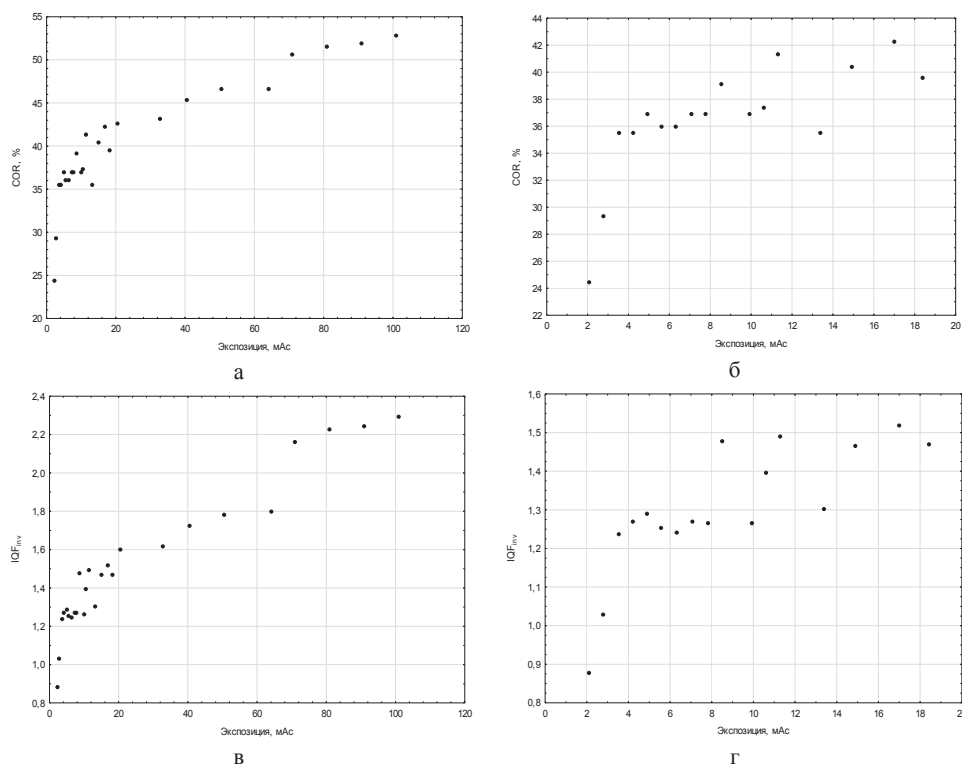


Рис. 8. Зависимости COR и IQF_{inv} от экспозиции, мАс, для режима с ручным изменением экспозиции. Представлены результаты для всего диапазона значений экспозиции (а, в) и для диапазона 2–20 мАс (б, г) для COR и IQF_{inv} соответственно.

Измерения выполнены на фиксированном напряжении 90 кВ

[Fig. 8.] Dependence of COR and IQF_{inv} on tube current-time product, mAs, for the manual mode, for the whole range of tube-current time product (а, с) and 2–20 mAs range (б, d) respectively. Results are presented for the 90 kV tube voltage]

Результаты оценки физико-технических параметров качества рентгеновских снимков, выполненных с АКЭ, показывают, что с увеличением анодного напряжения происходит незначительное снижение качества изображения: процент видимых секторов (COR) снижается с 36% до 32%; инвертированный коэффициент качества изображения IQF_{inv} – с 1,3 до 1,1. Данное снижение обусловлено снижением контраста изображения с увеличением анодного напряжения.

Тем не менее, постоянное выполнение рентгенографии на значениях анодного напряжения выше 120 кВ будет приводить к повышенному износу рентгеновской трубки и генератора. Также результаты аналогичных исследований [19, 20] свидетельствуют о целесообразности работы на средних значениях анодного напряжения (90 кВ), что позволяет обеспечить более качественную визуализацию анатомических структур грудной клетки и низкоконтрастных очаговых образований.

Зависимости параметров COR и IQF_{inv} от экспозиции аппроксимируются логарифмической кривой: наблюдается рост COR с 24% до 36% и с 36% до 40% и IQF_{inv} с 0,9 до 1,3 и с 1,3 до 1,5 на диапазонах 2–4 мАс и 4–11 мАс соответственно. На диапазоне 11–100 мАс оба параметра качества изображения значимо не меняются, прирост значений составляет в среднем 4% за каждые 10 мАс. Переход к экспозиции 4,2 мАс с текущих 11,2 мАс приведет к снижению значений COR и IQF_{inv} на 15% за счет уменьшения пространственного разрешения и контраста (см. рис. 8). При этом ПДП снизится более чем в три

раза: с 75,8 сГр×см² до 23,6 сГр×см²; ЭД также значимо снизится с 0,14 мЗв до 0,04 мЗв. Увеличение экспозиции до 20–40 мАс не приведет к улучшению качества изображения: COR и IQF_{inv} увеличатся менее чем на 5%; соответствующие значения ПДП составят 139,6 и 279,4 сГр×см²; ЭД – 0,26 и 0,53 мЗв соответственно. Таким образом, изменение существующих настроек АКЭ для оптимизации проведения цифровой рентгенографии ОГК оправдано только за счет снижения порога срабатывания датчиков АКЭ [21–23].

Предложенный метод оценки качества рентгеновских изображений с использованием тест-объекта «контраст-деталь» представляет собой компромисс между субъективной экспертной оценкой и оценкой отдельных физических параметров изображения (контраста, шума, пространственного разрешения и пр.). Достоинствами данного метода являются:

- простота и дешевизна. Предложенный метод может быть использован для оптимизации всех видов цифровой и аналоговой рентгенографии и флюорографии. Стоимость представленного тест-объекта при изготовлении его по чертежам не превышает 150 евро. При этом отсутствуют особые требования к организации измерений; в комплекте с тест-объектом может быть использовано то же вспомогательное оборудование, что и при проведении радиационного контроля рентгеновских кабинетов согласно МУ 2.6.1.1982-05;

- количественная оценка качества изображения. Представленные в данной работе параметры качества

изображения позволяют получить сочетанную объективную оценку контраста и пространственного разрешения;

- воспроизводимость результатов. Использование однотипных тест-объектов и программного обеспечения для анализа изображений позволяют минимизировать ошибки, связанные с человеческим фактором;

- возможность соотнести результаты оценки качества с использованием тест-объекта с видимостью реальных анатомических структур и визуализации тех или иных патологий [24].

Следует отметить, что для использования данного метода необходим доступ к системным настройкам рентгеновского аппарата для получения доступа к «сырым» (raw) рентгеновским снимкам, что невозможно без привлечения представителей организации-поставщика оборудования. В данной работе для оценки качества были использованы рентгеновские изображения, которые подверглись препроцессингу – автоматической обработке, позволяющей откорректировать контраст и шум исходных рентгеновских снимков и изменить шкалу оттенков серого в соответствии с алгоритмами, заложенными в программном обеспечении рентгеновского аппарата [13, 20, 25]. Препроцессинг не сказывается на сравнительной оценке рентгеновских снимков, полученных для одного и того же протокола (для данной работы – рентгенографии ОГК в прямой передней проекции) для одного аппарата. Однако сравнение результатов с другими протоколами или аппаратами затруднительно из-за различий в алгоритмах.

Также необходимо продолжать усовершенствование представленного программного обеспечения. Следующий этап работы будет заключаться в обеспечении возможности работы напрямую с файлами цифровых изображений в формате DICOM с автоматической сегментацией (выделением) изображения фантома, что позволит значительно ускорить процесс оценки качества изображений и устранить возможные ошибки и потерю информации, связанные с конвертированием изображений.

Целесообразно использовать следующую методику проведения оптимизации цифровой рентгенографии [21, 22]:

- определение дозовых характеристик и формирование базы рентгеновских изображений с использованием тест-объекта «контраст-деталь» и тканеэквивалентного фантома для стандартных протоколов проведения выбранного рентгенографического исследования на данном цифровом рентгеновском аппарате;

- определение дозовых характеристик и формирование базы рентгеновских изображений при изменении различных параметров проведения цифровой рентгенографии (анодного напряжения, экспозиции, толщины полной фильтрации, отказа от использования отсеивающей решетки и пр.);

- оценка качества изображения по параметрам COR и IQF_{inv} , определенным с использованием специализированного программного обеспечения;

- построение зависимостей параметров качества изображения от выбранных дозовых характеристик и параметров проведения цифровой рентгенографии;

- выбор режимов, оптимальных по соотношению качество изображения/ доза облучения пациента. При этом

параметры COR и IQF_{inv} не должны снижаться более чем на 20% по сравнению с их значениями для текущего режима проведения рентгенографии;

- клиническая апробация предложенных режимов с использованием антропоморфных фантомов или на реальных пациентах.

Заключение

В данной работе была представлена последовательность проведения оптимизации цифровой рентгенографии, проводимой с АКЭ, с использованием комплекса, состоящего из тест-объекта «контраст-деталь» и тканеэквивалентного фантома. Использование тканеэквивалентного фантома позволяет проводить оценку качества изображения на режимах, близких к режимам, используемым для реальных пациентов. Данный комплекс позволяет проводить количественную оценку контраста и пространственного разрешения рентгеновских изображений.

Результаты дозиметрии и оценки качества изображений для рентгенографии ОГК, выполненной на аппарате АРЦ-Электрон с АКЭ, показали следующие возможности снижения доз облучения пациентов без значимой потери в качестве изображения:

- переход на использование напряжения 140–150 кВ на текущих настройках АКЭ. При этом ПДП и ЭД снижаются на 60% и 95% соответственно относительно текущего режима работы на напряжении 90 кВ; параметры качества изображения COR и IQF_{inv} – на 15%.

- изменение текущих настроек АКЭ с уменьшением значения экспозиции до 4,2 мАс с текущих 11,2 мАс для анодного напряжения в 90 кВ. Это позволит снизить ПДП и ЭД вплоть до трех раз; параметры качества изображения COR и IQF_{inv} , как и в предыдущем случае, снизятся на 15%.

Предложенные низкодозовые протоколы находятся на стадии клинической апробации в СПб ГБУЗ «Мариинская больница».

Использование тест-объекта «контраст-деталь» целесообразно для грубой оптимизации протоколов проведения рентгенографических исследований: оценки текущих доз облучения пациентов и характеристик изображения и определения потенциальных низкодозовых режимов, на которых обеспечивается снижение доз облучения без значимого снижения контраста и пространственного разрешения. В качестве следующего этапа необходимо апробировать предложенные низкодозовые протоколы с использованием антропоморфных фантомов или реальных пациентов. При этом необходима экспертная оценка качества изображения. Предложенная методика проведения оптимизации может быть реализована в рамках программы обеспечения качества рентгенорадиологических исследований.

Благодарности

Автор выражает свою благодарность Голикову Владиславу Юрьевичу (ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева) за помощь в анализе и обработке данных и Тельновой Анне Юрьевне (Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе РАН) за помощь в разработке программного обеспечения, а также персоналу отделения лучевой диагностики Мариинской больницы.

Литература

- Водоватов, А.В. Практическая реализация концепции референтных диагностических уровней для оптимизации защиты пациентов при проведении стандартных рентгенографических исследований / А.В. Водоватов // Радиационная гигиена. – 2017. Т. 10, № 1. – С. 47–55.
- Vodovатов A.V., Drozdov A.A., Telnova A.Yu., Bernhardsson C. Management of patient doses from digital X-ray chest screening examinations. *Rad. Prot. Dosim.*, 2016, Vol. 169, № 1-4, pp. 232-239.
- Камышанская, И.Г. Перспективы снижения дозовой нагрузки на пациентов в профилактической цифровой рентгенографии органов грудной клетки / И.Г. Камышанская, В.М. Черемисин, А.В. Водоватов // Вестник рентгенологии и радиологии. – 2018. – № 99(1). – С. 30–42. – DOI:10.20862/0042-4676-2018-99-1-30-42
- ICRU Publication 54. Medical imaging – the assessment of image quality. International Commission on Radiation Units and Measurements. Bethesda, 1995. – 88 p.
- ICRU Publication 70. Image quality in chest radiography. Journal of ICRU. – Nuclear Technology Publishing, Ashford, 2003, 129 p.
- Vodovатов A.V., Kamyshanskaya I.G., Drozdov A.A., Bernhardsson C. Quality assessment of digital X-ray chest images using an anthropomorphic chest phantom. *J. Phys.: Conf. Ser.*, 2017, Vol. 808, doi:10.1088/1742-6596/808/1/012009
- Good W.F., Gur D., Feist J.H., Thaete F.L., [et. al.] Subjective and objective assessment of image quality – a comparison. *J. Digit. Imaging*, 1994, Vol. 7, № 2, pp. 77–78.
- Aichinger H. Radiation exposure and image quality in x-ray diagnostic radiology: physical principles and clinical applications. Heidelberg ; New York: Springer, 2012. 2nd ed – XIV, 307 p.
- DeWerd L.A., Kissick M. The phantoms of medical and health physics: devices for research and development. New York: Springer, 2014, 286 p.
- Contrast-detail phantom ARTINIS CDRAD type 2.0. Manual. Онлайн-ресурс: https://www.radiograf.dk/fileadmin/user_upload/dokumenter/Bacheloropgaver/Billedkvalitet_ved_CR_og_DR_-_et_fantomforsog/CR_og_DR_Bilag_C.pdf (Дата обращения: 20.01.2019).
- CDMAM 4.0. Онлайн-ресурс: <https://www.artinis.com/cdmam-40/> (Дата обращения: 20.01.2019).
- ACR CT Accreditation phantom 464. Онлайн-ресурс: https://www.sunnuclear.com/documents/datasheets/gammex/gammex_list/ACR_464_D062615.pdf (Дата обращения: 20.01.2019).
- Dance D.R., Chrostofides S., Maidment A.D.A., McJean I.D., Ng K. H. Diagnostic radiology physics: A Handbook for teachers and students. Techn. Ed. Vienna, IAEA, 2014.
- Tapiovaara M., Siiskonen T. PCXMC 2.0. User's Guide. S teilyturvakeskus. Tekniset raportit. STUK-TR 7. Helsinki 2008, 24 p.
- Публикация 103 МКРЗ. Рекомендации Международной Комиссии по Радиационной защите от 2007 г. : пер. с англ. / под общ. ред. М.Ф. Киселева, Н.К. Шандалы. – М. : Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009. – 312 с.
- National Institute of Health. ImageJ – image processing and analysis in Java. Онлайн-ресурс: <http://www.rsbi.info.nih.gov/ij/> (Дата обращения: 20.01.2019).
- Потемкин, В.Г. Справочник по MATLAB / В.Г. Потемкин. – М.: Интернет, 2012. – 675 с.
- Irvine M.A. Image Quality and Radiation Dose Comparison of a Computed Radiography System and an Amorphous Silicon Flat Panel System in Paediatric Radiography: A Phantom Study. Master thesis.: <https://researchbank.rmit.edu.au/eserv/rmit:7880/Irvine.pdf> (Дата обращения: 20.01.2019).
- Uffman M., Neitzel U., Prokop M. [et. al.] Flat-Panel-detector chest radiography: effect of tube voltage on image quality. *Radiology*, 2005, Vol. 235, pp. 642-650.
- Shrimpton P.C., Jones D.G., Wall B.F. The influence of tube filtration and potential on patient dose during x-ray examinations. *Phys. Med. Biol.*, 1988, Vol. 33, № 10, pp. 1205–1212.
- Jones A.K. Calibrating automatic exposure control for digital radiography. AAPM, 2009.
- Jones A.K., Anderso M.D. Using automatic exposure control in digital radiography. AAPM Meeting, 2008, 10 p.
- Doyle P., Martin C.J. Calibrating automatic exposure control devices for digital radiography. *Phys. Med. Biol.*, 2006, Vol. 51, № 21, pp. 5475–5485.
- Al-Murshedi, S., Hogg, P., & England, A. An investigation into the validity of utilising the CDRAD 2.0 phantom for optimisation studies in digital radiography. *Brit. Journ. of Rad.*, 2018 doi:10.1259/bjr.20180317
- Marshall N.W. An examination of automatic exposure control regimes for two digital radiography systems. *Phys. Med. Biol.*, 2009, Vol. 54, № 15, pp. 4645–4670.

Поступила: 21.01.2019 г.

Водоватов Александр Валерьевич – заведующий лабораторией радиационной гигиены медицинских организаций, ведущий 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. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: vodovattoff@gmail.com

Для цитирования: Водоватов А.В. Использование тест-объекта «контраст-деталь» для оценки возможности снижения доз облучения пациентов в цифровой рентгенографии органов грудной клетки // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 1. – С. 62-73. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-1-62-73

Evaluation of the dose reduction capabilities in digital radiography of the chest using contrast-detail phantom

Aleksandr V. Vodovатов

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

Assessment of the quality of the images obtained using optimized (low-dose) protocols is the inherent part of the optimization in X-ray diagnostics. To perform the objective quantitative image quality assessment one can use dedicated test-objects, including several components for the simultaneous measurement of the different physical image characteristics (contrast and spatial resolution). The use of such test objects allows estimating and assessing the relations between the patient dose, parameter of the X-ray examination and image quality. That is especially important for the optimization of the digital radiographic examinations performed with automated exposure control. The aim of the current study was to evaluate the possibilities of the patient dose reduction using "contrast-detail" test-object for the digital radiography of the chest in posterior-anterior projection performed with automated exposure control. The study was performed in St-Petersburg Mariinsky hospital on a digital X-ray unit "ARC-Electron" with a flat-panel detector. The combination of a test-object and a tissue-equivalent phantom were imaged on a range of chest X-ray protocols: on a 60–150 kV tube voltage range with automated exposure control; and using fixed 90 kV tube voltage on a range of 2–100 mAs tube current-exposure time product. Dose-area product (cGy cm²) was measured for each exposure; effective dose (mSv) was estimated for each exposure based on dose-area product. A dedicated software was developed for the automated image quality assessment. The results of the study indicate that the use of a high tube voltage (140–150 kV) with current automated exposure control settings would lead to 60% and 95% reduction of the dose-area product and effective dose, respectively, compared to the standard protocol. The adjustment of the current automated exposure control settings with the reduction of the tube current-exposure time product from 11,2 mAs to the 4,2 mAs for the tube voltage of 90 kV would lead to the reduction of both the dose-area product and effective dose up to a factor of three, compared to the standard protocol. For both scenarios image quality characteristics decreased by less than 15%. The proposed low-dose protocols are under the clinical approbation at Mariinsky hospital. The proposed method of image quality assessment and development of low-dose protocols is recommended for inclusion in the quality assurance program for the radiography examinations.

Key words: medical exposure, image quality assessment, contrast-detail test-object, spatial resolution, contrast, optimization.

References

- Vodovатов A.V. Practical implementation of the diagnostic reference levels concept for the common radiographic examinations. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2017;10(1):47-55. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2017-10-1-47-55>
- Vodovатов A.V., Drozdov A.A., Telnova A.Yu., Bernhardsson C. Management of patient doses from digital X-ray chest screening examinations. *Rad. Prot. Dosim.*, 2016, Vol. 169, № 1-4, pp. 232-239.
- Kamyshanskaya I.G., Cheremisin V.M., Vodovатов A.V. Prospects for lowering doses during preventive digital chest radiography. *Vestnik rentgenologii i radiologii = Journal of radiology and nuclear medicine*. 2018;99(1):30-42. (In Russian) <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2018-99-1-30-42>
- ICRU Publication 54. Medical imaging – the assessment of image quality. International Commission on Radiation Units and Measurements. Bethesda, 1995, 88 p.
- ICRU Publication 70. Image quality in chest radiography. Journal of ICRU. – Nuclear Technology Publishing, Ashford, 2003, 129 p.
- Vodovатов A.V., Kamyshanskaya I.G., Drozdov A.A., Bernhardsson C. Quality assessment of digital X-ray chest images using an anthropomorphic chest phantom. *J. Phys.: Conf. Ser.*, 2017, Vol. 808, doi:10.1088/1742-6596/808/1/012009
- Good W.F., Gur D., Feist J.H., Thaete F.L., [et. al.] Subjective and objective assessment of image quality – a comparison. *J. Digit. Imaging*, 1994, Vol. 7, № 2, pp. 77–78.
- Aichinger H. Radiation exposure and image quality in x-ray diagnostic radiology: physical principles and clinical applications. Heidelberg ; New York: Springer, 2012. 2nd ed – XIV, 307 p.
- DeWerd L.A., Kissick M. The phantoms of medical and health physics: devices for research and development. New York: Springer, 2014, 286 p.
- Contrast-detail phantom ARTINIS CDRAD type 2.0. Manual. – Available on: https://www.radiograf.dk/fileadmin/user_upload/dokumenter/Bacheloropgaver/Billedkvalitet_ved_CR_og_DR_-et_fantomforsoeg/CR_og_DR_Bilag_C.pdf (Accessed: 20.01.2019).
- CDMAM 4.0. – Available on: <https://www.artinis.com/cdmam-40/> (Accessed: 20.01.2019).
- ACR CT Accreditation phantom 464. – Available on: https://www.sunnuclear.com/documents/datasheets/gammex/gammex_list/ACR_464_D062615.pdf (Accessed: 20.01.2019).

Aleksandr V. Vodovатов

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

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

13. Dance D.R., Chrostofides S., Maidment A.D.A., McJean I.D., Ng K.H. Diagnostic radiology physics: A Handbook for teachers and students. Techn. Ed. Vienna, IAEA, 2014.
14. Tapiovaara M., Siiskonen T. PCXMC 2.0. User's Guide. Säteilyturvakeskus. Tekniset raportit. STUK-TR 7. Helsinki 2008, 24 p.
15. ICRP Publication 103. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection: translation from English. Edited by M.F. Kiselev, N.K. Shandala. Moscow, «Alana», 2009, 312 p. (In Russian)
16. National Institute of Health. ImageJ – image processing and analysis in Java. – Available on: <http://www.rsbi.info.nih.gov/ij/> (Accessed: 20.01.2019).
17. Potemkin V.G. Matlab handbook. Moscow, Internet, 2012, 675 p. (In Russian).
18. Irvine M.A. Image Quality and Radiation Dose Comparison of a Computed Radiography System and an Amorphous Silicon Flat Panel System in Paediatric Radiography: A Phantom Study. Master thesis. – Available on: <https://research-bank.rmit.edu.au/eserv/rmit:7880/Irvine.pdf> (Accessed: 20.01.2019).
19. Uffman M., Neitzel U., Prokop M. [et. al.] Flat-Panel-detector chest radiography: effect of tube voltage on image quality. Radiology, 2005, Vol. 235, pp. 642-650.
20. Shrimpton P.C., Jones D.G., Wall B.F. The influence of tube filtration and potential on patient dose during x-ray examinations. Phys. Med. Biol., 1988, Vol. 33, № 10, pp. 1205–1212.
21. Jones A.K. Calibrating automatic exposure control for digital radiography. AAPM, 2009.
22. Jones A.K., Anderson M.D. Using automatic exposure control in digital radiography. AAPM Meeting, 2008, 10 p.
23. Doyle P., Martin C.J. Calibrating automatic exposure control devices for digital radiography. Phys. Med. Biol., 2006, Vol. 51, № 21, pp. 5475–5485.
24. Al-Murshedi, S., Hogg, P., & England, A. An investigation into the validity of utilising the CDRAD 2.0 phantom for optimisation studies in digital radiography. Brit. Journ. of Rad., 2018 doi:10.1259/bjr.20180317
25. Marshall N.W. An examination of automatic exposure control regimes for two digital radiography systems. Phys. Med. Biol., 2009, Vol. 54, № 15, pp. 4645–4670.

Received: January 21, 2019

For correspondence: Aleksandr V. Vodovatov – Head of Protection Laboratory, Leading Researcher, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being (Mira str., 8, St. Petersburg, 197101, Russia; E-mail: vodovattoff@gmail.com)

For citation: Vodovatov A.V. Evaluation of the dose reduction capabilities in digital radiography of the chest using contrast-detail phantom. Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene, 2019, Vol. 12, No. 1, pp.62-73. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-1-62-73