ПЕРСПЕКТИВЫ СНИЖЕНИЯ ДОЗОВОЙ НАГРУЗКИ НА ПАЦИЕНТОВ В ПРОФИЛАКТИЧЕСКОЙ ЦИФРОВОЙ РЕНТГЕНОГРАФИИ ОРГАНОВ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ

И.Г. Камышанская [1,2], к. м. н., доцент кафедры онкологии, заведующая рентгеновским отделением
В.М. Черемисин [1,2], д. м. н., профессор кафедры онкологии, заведующий отделом лучевой диагностики
А.В. Водоватов [3], науч. сотр.

[1] ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»,
Университетская наб., 7/9, Санкт-Петербург, 199034, Российская Федерация

[2] СПб ГБУЗ «Городская Мариинская больница»,
Литейный пр-т, 56, Санкт-Петербург, 191104, Российская Федерация

[3] ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт имени профессора П.В. Рамзаева»,
ул. Мира, 8, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация

PROSPECTS FOR LOWERING DOSES DURING PREVENTIVE DIGITAL CHEST RADIOGRAPHY

I.G. Kamyshanskaya [1,2], MD, PhD, Associate Professor of Chair of Oncology, Head of X-ray Department; orcid.org/0000-0002-8351-9216
V.M. Cheremisin [1,2], MD, PhD, DSc, Professor of Chair of Oncology, Head of Radiology Department; orcid.org/0000-0003-1402-2844
A.V. Vodovatov [3], Researcher; orcid.org/0000-0002-5191-7535

[1] Saint-Petersburg State University,
Universitetskaya naberezhnaya, 7/9, St. Petersburg, 199034, Russian Federation
[2] Mariinsky City Hospital,
Liteynyy prospekt, 56, St. Petersburg, 191104, Russian Federation
[3] Saint-Petersburg Scientific-Research Institute named after professor P.V. Ramzaev,
ul. Mira, 8, St. Petersburg, 197101, Russian Federation

Цель исследования **– поиск возможности снижения дозовой нагрузки на пациента при проведении профилактической рентгенографии органов грудной клетки.**

Материал и методы. **Исследование было выполнено в 2013–2015 гг. на базе двух больниц, расположенных в России (Городская Мариинская больница, г. Санкт-Петербург) и Швеции (Университетский госпиталь округа Скона, г. Мальмё). Существующие протоколы данного типа исследования корректировали путем изменения анодного напряжения, толщины полной фильтрации и отказа от использования растра для определения оптимального соотношения доза/качество изображения.**

Результаты. **Была показана возможность снижения значений произведения дозы на площадь (ПДП) на 47% и эффективной дозы (Е) на 33% за счет повышения напряжения на трубке (до 125 или 150 кВ) с уменьшением толщины полной фильтрации пучка прямого излучения (до 3 мм Al). Отказ от использования растра позволил дополнительно снизить значение ПДП и Е до 75%.**

Заключение. **Сравнение дозовых величин между российскими и шведскими рентгеновскими аппаратами показало, что для шведских аппаратов абсолютные значения ПДП и Е при одинаковых режимах рентгенографии органов грудной клетки в 10 раз**

Objective: **to search for the possibility of lowering a dose burden on a patient during preventive chest radiography.**

Material and methods. **The investigation was carried out in two hospitals (City Mariinsky Hospital, Saint Petersburg, Russia) and (Skåne University Hospital, Malmö, Sweden) in 2013–2015. The existing protocols for this type of investigation were corrected by changing the anode voltage, the thickness of complete filtration, and the refusal to use a raster to determine the optimal dose/image quality ratio.**

Results. **The investigation showed the possibility of reducing the values of the products of the dose per area (PDA) by 47% and lowering the effective dose (ED) by 33%, by increasing the tube voltage (up to 125 or 150 kV) and decreasing the thickness of full filtration of direct beam radiation (to 3 mm Al). The refusal to use a raster could further reduce the value of PDA and ED to 75%.**

Conclusion. **Comparison of the dose values of Russian and Swedish X-ray apparatuses showed that the absolute values of PDP and ED are 10 times lower for Swedish devices in the same modes of chest radiography. This fact can be explained by the use of various image receivers and automatic exposure control settings.**

DOI: 10.20862/0042-4676-2018-99-1-30-42

ниже. Данный факт можно объяснить использованием различных приемников изображения и настройками автоматического контроля экспозиции.

Ключевые слова: оптимизация; эффективная доза; цифровая рентгенография, антропоморфный фантом.

Для цитирования: Камышанская И.Г., Черемисин В.М., Водоватов А.В. Перспективы снижения дозовой нагрузки на пациентов в профилактической цифровой рентгенографии органов грудной клетки. *Вестник рентгенологии и радиологии.* 2018; 99 (1): 30–42. DOI: 10.20862/0042-4676-2018-99-1-30-42

Для корреспонденции: Камышанская Ирина Григорьевна; E-mail: irinaka@mail.ru

Index terms: optimization; effective dose; digital radiography; anthropomorphic phantom.

For citation: Kamyshanskaya I.G., Cheremisin V.M., VodovatovA.V. Prospects for lowering doses during preventive digital chest radiography. *Vestnik Rentgenologii i Radiologii (Russian Journal of Radiology).* 2018; 99 (1): 30–42 (in Russ.). DOI: 10.20862/0042-4676-2018-99-1-30-42

For correspondence: Irina G. Kamyshanskaya; E-mail: irinaka@mail.ru

Acknowledgements. The authors of this study are grateful to the staff of X-ray departments of Mariinsky City Hospital, University Hospital Scone district, in particular, Mr C. Bernhardsson, for help in the experiment and the use of X-ray equipment to conduct this study.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Funding. This publication is part of a research project at the University of Lund, in the framework of the Swedish Institute Scholarship (Alexander Vodovatov, 00110/2015).

Received September 15, 2017
Accepted September 22, 2017

Введение

Количество профилактических рентгенографий (РГ) органов грудной клетки (ОГК) в Российской Федерации в 2013 г. составило около 30% (84,3 млн) от всех видов рентгенорадиологических исследований [1]. Из них более 70% (60 млн) было выполнено на цифровой рентгеновской аппаратуре. Совокупный вклад этих исследований в коллективную дозу медицинского облучения населения России приблизился к 20% [1].

В 2009–2014 гг. специалисты лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского НИИ имени проф. П.В. Рамзаева проводили оценку доз облучения пациентов при рентгенографических исследованиях в Санкт-Петербурге и пяти регионах Российской Федерации [2–4]. Результаты этой работы продемонстрировали существенные различия в дозах облучения пациентов при проведении одной и той же рентгенографической процедуры в разных регионах. Минимум и максимум эффективной дозы (Е) при РГ ОГК мог различаться до 100 раз. Такой разброс дозовых значений был обусловлен как неадекватностью протоколов проведения исследования в отдельных учреждениях, так и неправильной настройкой рентгеновского оборудования. Данные обстоятельства свидетельствуют о необходимости снижения избыточной дозовой нагрузки на население путем оптимизации защиты пациентов от медицинского облучения.

Принцип оптимизации заключается в поддержании дозовой нагрузки на пациентов на таком низком уровне, насколько это возможно с учетом получения диагностической информации [5, 6]. Первым элементом оптимизации является установление референтных диагностических уровней (РДУ) [3, 6]. Далее выявляются рентгеновские кабинеты с высокими дозами облучения, проводится анализ технических и/или методических причин высоких доз и принимаются меры по их коррекции [7, 8].

Цель нашего исследования – определить перспективы снижения дозовой нагрузки на пациентов, изучив влияние физико-технических параметров цифровой РГ ОГК на дозиметрические показатели: произведение дозы на площадь (ПДП) и эффективную дозу (Е).

Задачи исследования: 1) оценить текущие параметры проведения цифровой РГ ОГК, максимально влияющие на дозы облучения пациентов; 2) определить величины ПДП, органных и эффективных доз для диапазона физико-технических параметров при выполнении РГ фантома грудной клетки человека; 3) разработать потенциально возможные низкодозовые протоколы проведения РГ ОГК; 4) изучить влияние низкодозовых протоколов РГ на качество диагностической информации.

Материал и методы

Больницы и рентгеновские аппараты. Исследование проводилось в России и Швеции на базе рентгеновских отделений двух крупных медицинских учреждений – в Городской Мариинской больнице (МБ) Санкт-Петербурга и Университетском госпитале округа Скона (УГС) города Мальмё. В исследовании задействовано 7 цифровых рентгеновских аппаратов, на которых регулярно выполнялись исследования ОГК: 3 аппарата в С.-Петербурге и 4 – в Мальмё. На момент проведения исследования все аппараты были технически исправны (табл. 1).

Протоколы проведения рентгенографии ОГК в Санкт-Петербурге и Мальмё. В таблице 2 представлены стандартные протоколы проведения цифровой РГ ОГК. Стандартное напряжение на рентгеновской трубке для всех аппаратов в МБ составляло 100 кВ, в УГС – 141 кВ. Толщина суммарной фильтрации прямого излучения (трубка + коллиматор) для всех рентгеновских аппаратов

Таблица 1

Общая информация о рентгеновских аппаратах в С.-Петербурге и Мальмё

Рентгеновский аппарат	Код аппарата	Год выпуска/ год капремонта	Расположение аппарата	Тип приемника изображения
ФЦ1-Электрон	ФЦ1	2008	СПб	ПЗС-матрица
АРЦ-Электрон	АРЦ1	2011	»	ПЗС-матрица
АРЦ-Электрон	АРЦ2	2012	»	Непрямая плоская панель*
Mediel Arcoma	M1	2001/2011	Мальмё	Непрямая плоская панель**
Mediel Arcoma	M2	2000/2011	»	»
Siemens Aristos FX	C1	2003/2012	»	»
Siemens Aristos FX	C2	2003/2012	»	»

* Аморфный Si + CsI.
** Аморфный Si + Gd_2O_2S.

Таблица 2

Стандартные протоколы выполнения исследования ОГК в передней проекции

Рентгеновский аппарат	Напряжение, кВ	РИП, см	Толщина полной фильтрации	Размер поля, см	Растр
ФЦ1-Электрон	100	150	5 мм Al	35×35	+*
АРЦ-Электрон	100	150	5 мм Al	40×40	+*
АРЦ-Электрон	100	150	5 мм Al	40×40	+*
Mediel Arcoma	141	180	3 мм Al + 0,1 мм Cu	40×40	+**
Mediel Arcoma	141	180	3 мм Al + 0,1 мм Cu	40×40	+**
Siemens Aristos FX	141	180	3 мм Al + 0,1 мм Cu	40×40	+**
Siemens Aristos FX	141	180	3 мм Al + 0,1 мм Cu	40×40	+**

* 110 линий на дюйм; R 13:1; F=180 см.
** 40 линий на см; R 12:1; F=180 см.

МБ составляла 3 мм Al, с возможностью вручную добавлять дополнительные фильтры толщиной 2 мм Al, 1 мм Al + 0,1 мм Cu или 1 мм Al + 0,2 мм Cu. Использование дополнительных фильтров не регламентировалось. В рамках данной работы были использованы все возможные комбинации фильтров. В УГС рентгеновские аппараты M1 и M2 имели суммарную фильтрацию 3 мм Al, с автоматическим подключением дополнительного фильтра толщиной 0,1 мм Cu при превышении анодного напряжения 125 кВ. В рентгеновских аппаратах C1 и C2 использовали комбинацию фильтров 3 мм Al + 0,1 мм Cu для всего диапазона напряжений. Другие комбинации фильтров Al и Cu в УГС не применяли. Выбор размера поля облучения не регламентировался ни в одной из больниц. Для консервативной оценки доз их замеры проводили при максимально возможном поле на приемнике излучения – 40 × 40 см. Для аппарата ФЦ размер поля составлял 35 × 35 см. Расстояние источник–приемник (РИП) для всех рентгеновских аппаратов МБ составляло 150 см, для шведских аппаратов – 180 см. Все стандартные протоколы исследования предусматривали использование растров (см. табл. 2). РГ ОГК проводили с использованием малого фокуса, с активными боковыми датчиками детектора и автоматическим контролем экспозиции (АКЭ).

Методика проведения исследования. Данная работа была выполнена с использованием семейства антропоморфных фантомов грудной клетки Kyoto (Kyoto Kagaku Co, Япония): Multipurpose Chest Phantom N1 «Lungman» [9] в С.-Петербурге и CT Torso Phantom CTU-41 в Мальмё [10] (рис. 1). Эти фантомы отображают нормальную анатомию грудной клетки здорового мужчины (40 лет, рост 174 см, вес 75 кг). Перед началом исследования в УГС было проведено сравнение фантомов. При одинаковых режимах исследования, позиционировании и геометрии облучения различия в значениях ПДП не превышали 20%. Фантомы позиционировали в стандартной передней проекции (см. рис. 1). В ходе работы были оценены параметры проведения РГ, оказывающие макси-

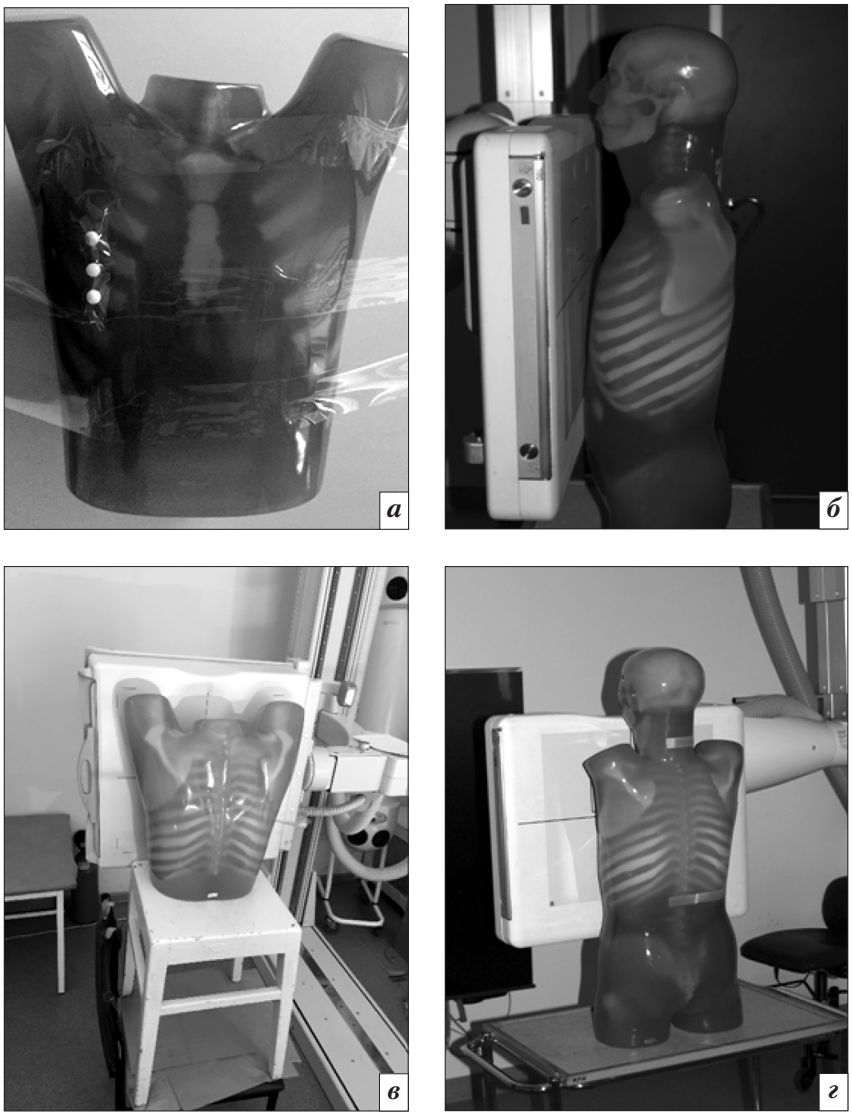


Рис. 1. Антропоморфные фантомы грудной клетки Kyoto (Kyoto Kagaku Co, Япония): *а* – фантом Multipurpose Chest Phantom N1 «Lungman»; *б* – фантом CT Torso Phantom CTU-41; *в* – позиционирование фантома Lungman; *г* – позиционирование фантома CTU-41

мальное влияние на дозы облучения пациентов: анодное напряжение (кВ), толщина полной фильтрации (мм Al или Cu), экспозиция (мАс), наличие или отсутствие растра. Эксперимент предусматривал дозиметрию фантома в диапазоне напряжений (V) 60–150 кВ с шагом 5 кВ, для всех возможных комбинаций дополнительной фильтрации, с использованием растра и без него. Для аппарата ФЦ максимальное V составило 125 кВ.

Дозиметрические величины. Оценку уровней облучения пациентов проводили по измеряемой величине ПДП и расчетной E. Измерение ПДП выполняли для российских рентгеновских аппаратов на дозиметре ДРК-1 («ДОЗА», Россия), а для шведских – на KermaX (IBA, Германия). Суммарная погрешность измерения ПДП не превышала 35%. Значение поглощенной дозы в молочной железе и легких, а также величину E рассчитывали с помощью программного обеспечения PCXMC 2.0 (STUK, Хельсинки) [11], тканевые взвешивающие коэффициенты были взяты из публикаций Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ) [5].

Оценка качества изображения. Для оценки качества рентгеновских изображений грудной клетки фантома был выбран метод субъективной экспертной оценки (Image Criteria Score) [12]. Для использования данного метода в первую очередь было необходимо сформировать группу критериев (анатомических структур или зон интереса), наличие которых будет определять диагностическую ценность изображения. Для выбранных критериев устанавливается шкала оценки в баллах. Используется трехили пятибалльная шкала. Формируется группа экспертов со стажем работы по специальности не менее 2 лет. Каждый эксперт получает для оценки снимки в случайном порядке и оценивает визуализацию каждого критерия. Оценка снимка соответствует сумме баллов по всем критериям.

Были проанализированы критерии оценки качества снимка, предлагаемые Европейской ассоциацией рентгенологов [13], а также критерии, используемые в Республике Беларусь [14] и РФ

[15–18]. Для отбора оптимальных критериев были проведены консультации с ведущими рентгенологами С.-Петербурга. По результатам анализа критериев, предлагаемых различными источниками, был сформирован окончательный набор критериев оценки качества изображения ОГК: 1) воспроизведение всей грудной клетки, от верхушек легких до диафрагмы, включая реберно-диафрагмальные синусы; 2) видимость сосудов легких, не прикрытых ребрами (в межреберье); 3) видимость сосудов легких на фоне ребер, сердца и диафрагмы; 4) визуализация периферических сосудов на расстоянии 2 см от края границы легкого на любом участке; 5) видимость мелких деталей легочного рисунка диаметром 1–2 мм; 6) четкое отображение контуров грудной аорты, трахеи, главных бронхов, позвоночника.

Специфичность цифровой РГ ОГК выражается в высокой разрешающей способности приемника изображения и широком динамическом диапазоне, что позволяет применять более строгие ограничения к отображению мелких деталей.

Оценку качества изображения проводили на выборке из 90 снимков, полученных с трех аппаратов МБ, при фильтрации 5 мм Al, на анодном напряжении от 60 до 150 кВ, с растром и без него. Выборку составили: 14 снимков без растра, полученных на ФЦ1, 19 снимков с растром и 19 снимков без него, полученных на АРЦ1, и то же количество – на АРЦ2. В оценке качества принимали участие 6 экспертов-рентгенологов. Снимки анализировали в случайном порядке отдельно для каждого аппарата, независимо от того, получены они с растром или без него. Анализ снимков проводили на одной рабочей станции с помощью программного обеспечения Radiant Dicom Viewer, используя монитор NEC MD21GS-2MP-BB, 21 дюйм, с разрешением 3000 × 3000 пикселов. Каждый из критериев оценивали по 5-балльной шкале: 1 балл – неприемлемое качество, критерий отсутствует; 2 балла – неудовлетворительное качество, критерий присутствует, но качество эксперта не устраивает; 3 балла – удовлетворительное (приемлемое) качество; 4 балла – хорошее (выше среднего) качество; 5 баллов – отличное (идеальное) качество. Снимок оценивали по сумме баллов 6 критериев (всего до 30 баллов).

Для сравнения оценок снимков применяли однофакторный дисперсионный анализ с использованием критериев Краскела–Уоллиса и медианного теста. При подтверждении различий между выборками в дальнейшем проводили попарное сравнение выборок по тесту Манна–Уитни. Различия считались статистически значимыми при $p < 0{,}05$.

Результаты

В таблице 3 представлены для сравнения значения ПДП и Е, полученные при стандартном протоколе в МБ и УГС. Влияние физико-технических параметров проведения исследования на значения ПДП и Е отражено в графиках зависимости экспозиции, ПДП и Е от V при различной толщине полной фильтрации, с использованием растра и без него на примере двух рентгеновских аппаратов – АРЦ2 из МБ (рис. 2, 3) и С1 из УГС (рис. 4). На примере аппарата АРЦ2 из МБ в таблице 4 дана оценка влияния толщины полной фильтрации на ПДП, поглощенные дозы в легких и молочной железе, Е. На рисунке 5 представлены результаты сравнения качества снимков, выполненных на анодном напряжении 100, 120 и 140 кВ для аппаратов ФЦ1, АРЦ1 с растром и без растра и АРЦ2 с растром и без растра. На рисунке 6 приведены примеры снимков фантома, полученные на ФЦ1 и АРЦ1. На рисунке 7 представлены рентгенограммы грудной клетки фантома, выполненные на АРЦ1 с использованием растра и без него, при напряжении 120 кВ.

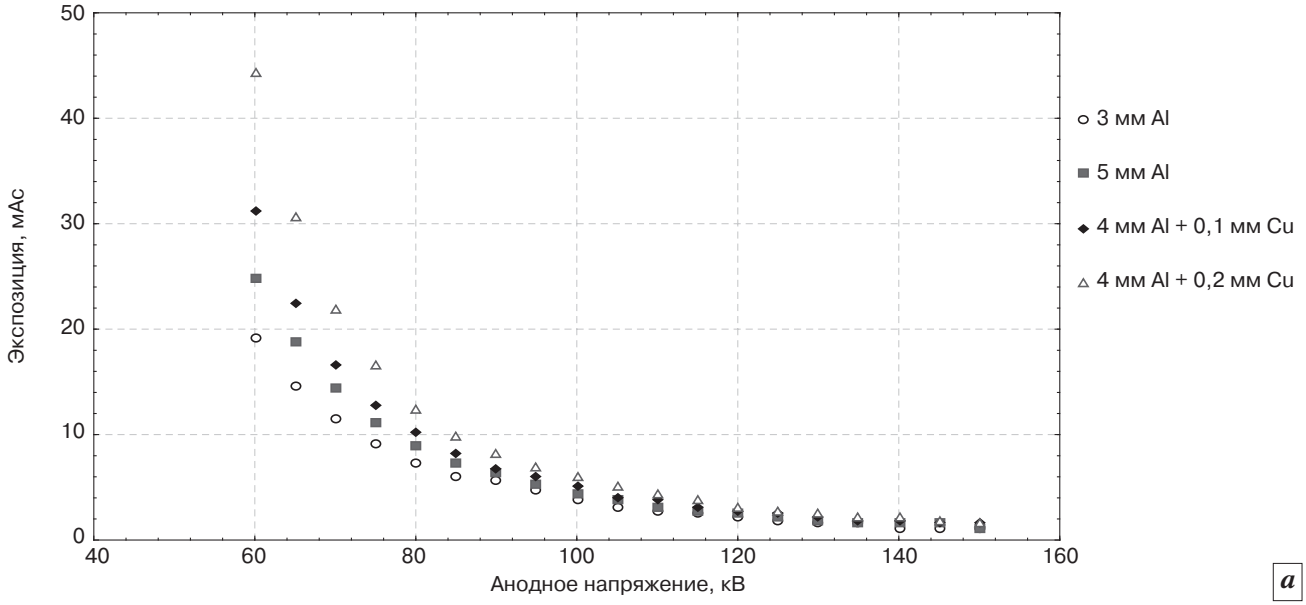
Обсуждение

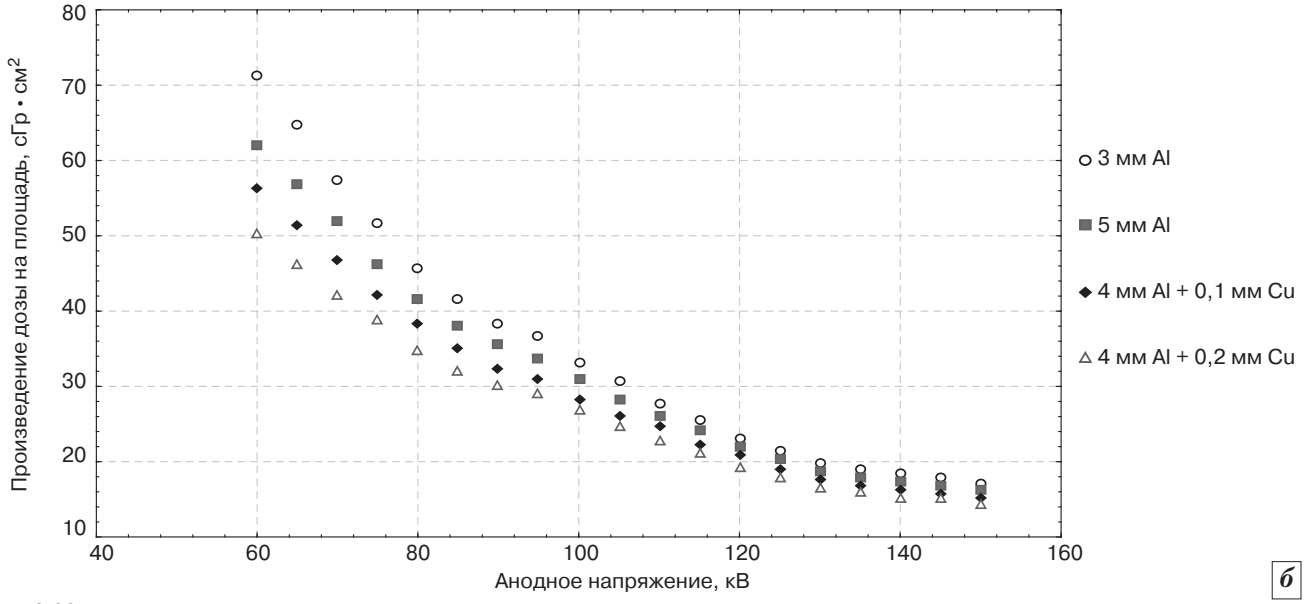
Сравнение существующих протоколов изображений в С.-Петербурге и Мальмё. В российской клинической практике проведение РГ ОГК обязательно для пациента, поступающего в стационар, а также при профилактических медицинских осмотрах. Данное исследование направлено на выявление туберкулеза, опухолей и других заболеваний легких. Исторически сложилось так, что для выполнения этой процедуры применяют низкое V (80–100 кВ) [18]. Использование низкого анодного V с АКЭ приводит к сравнительно высоким значениям экспозиции, что увеличивает дозовую нагрузку на пациентов. Европейская клиническая практика предусматривает применение высокого V (140–150 кВ),

Таблица 3

Сравнение ПДП и эффективной дозы для стандартного режима проведения исследования ОГК

Дозовая величина	Мариинская больница			Университетский госпиталь округа Скона			
	ФЦ1	АРЦ1	АРЦ2	М1	М2	С1	С2
ПДП, сГр • см^2	37,30	51,50	31,00	2,40	1,80	2,90	3,00
Е, мкЗв	70,00	100,00	50,00	5,60	4,20	5,40	6,80





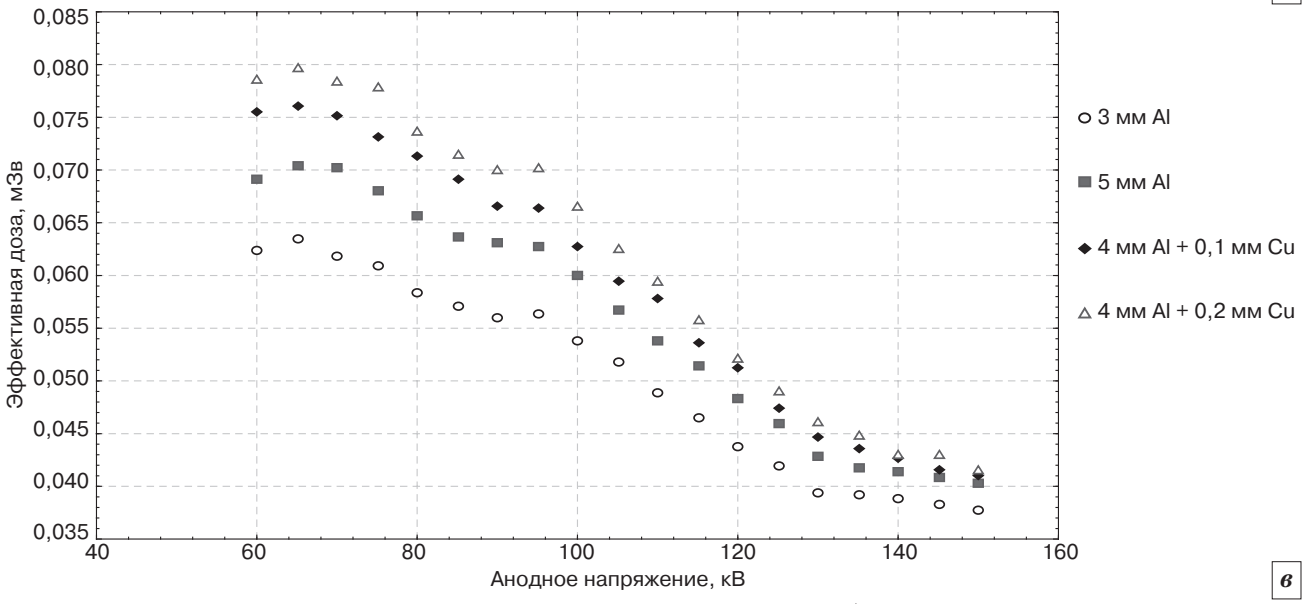


Рис. 2. Графики зависимости экспозиции (*а*), произведения дозы на площадь (*б*) и эффективной дозы (*в*) от напряжения на трубке при разных значениях общей фильтрации для рентгеновского аппарата АРЦ2 (Мариинская больница) с растром

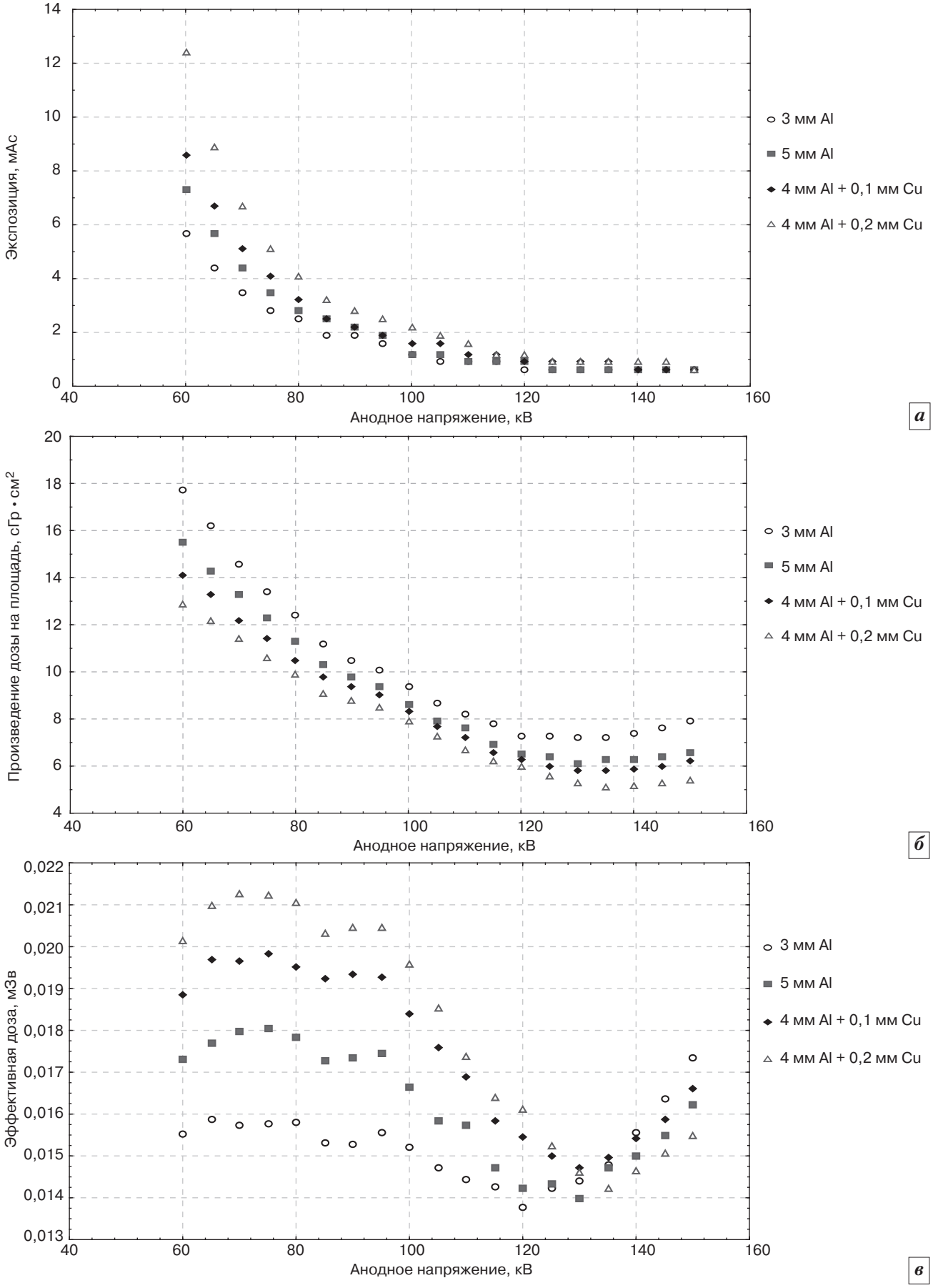


Рис. 3. Графики зависимости экспозиции (*а*), произведения дозы на площадь (*б*) и эффективной дозы (*в*) от напряжения на трубке при разных значениях общей фильтрации для рентгеновского аппарата АРЦ2 (Мариинская больница) без растра

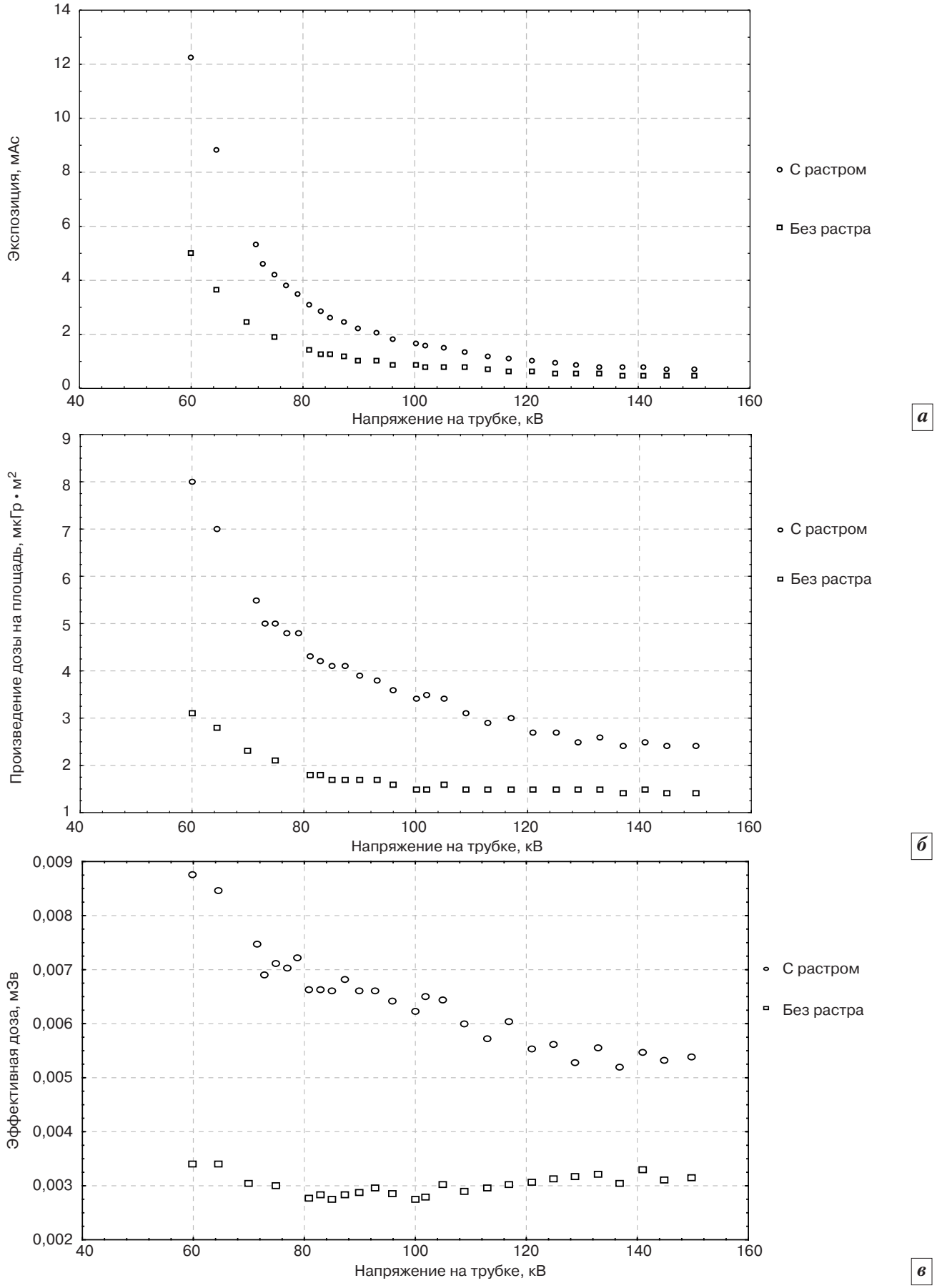


Рис. 4. Графики зависимости экспозиции (*а*), произведения дозы на площадь (*б*) и эффективной дозы (*в*) от напряжения на трубке с растром и без растра для рентгеновского аппарата С1 (УГС)

Таблица 4

Произведение дозы на площадь (ПДП), поглощенная доза (D) в молочной железе (МЖ) и легких (Л), эффективная доза (E) при различной толщине полной фильтрации для рентгеновского аппарата АРЦ2

Толщина полной фильтрации	Анодное напряжение							
	100 кВ				150 кВ			
	ПДП, сГр•см^2	$D_{МЖ}$, мкГр	$D_{Л}$, мкГр	E, мкЗв	ПДП, сГр•см^2	$D_{МЖ}$, мкГр	$D_{Л}$, мкГр	E, мкЗв
3 мм Al	33,3	43,0	186	53,8	17,2	34,0	122	37,7
5 мм Al	31,0	49,0	203	59,9	16,4	36,0	129	40,0
4 мм Al + 0,1 мм Cu	28,3	54,0	210	62,7	15,3	38,0	129	41,0
4 мм Al + 0,2 мм Cu	26,9	59,0	218	66,6	14,5	39,0	131	41,5

Примечание. Дозовые величины определены для фантома Chest Phantom N1 «Lungman» с использованием АКЭ.

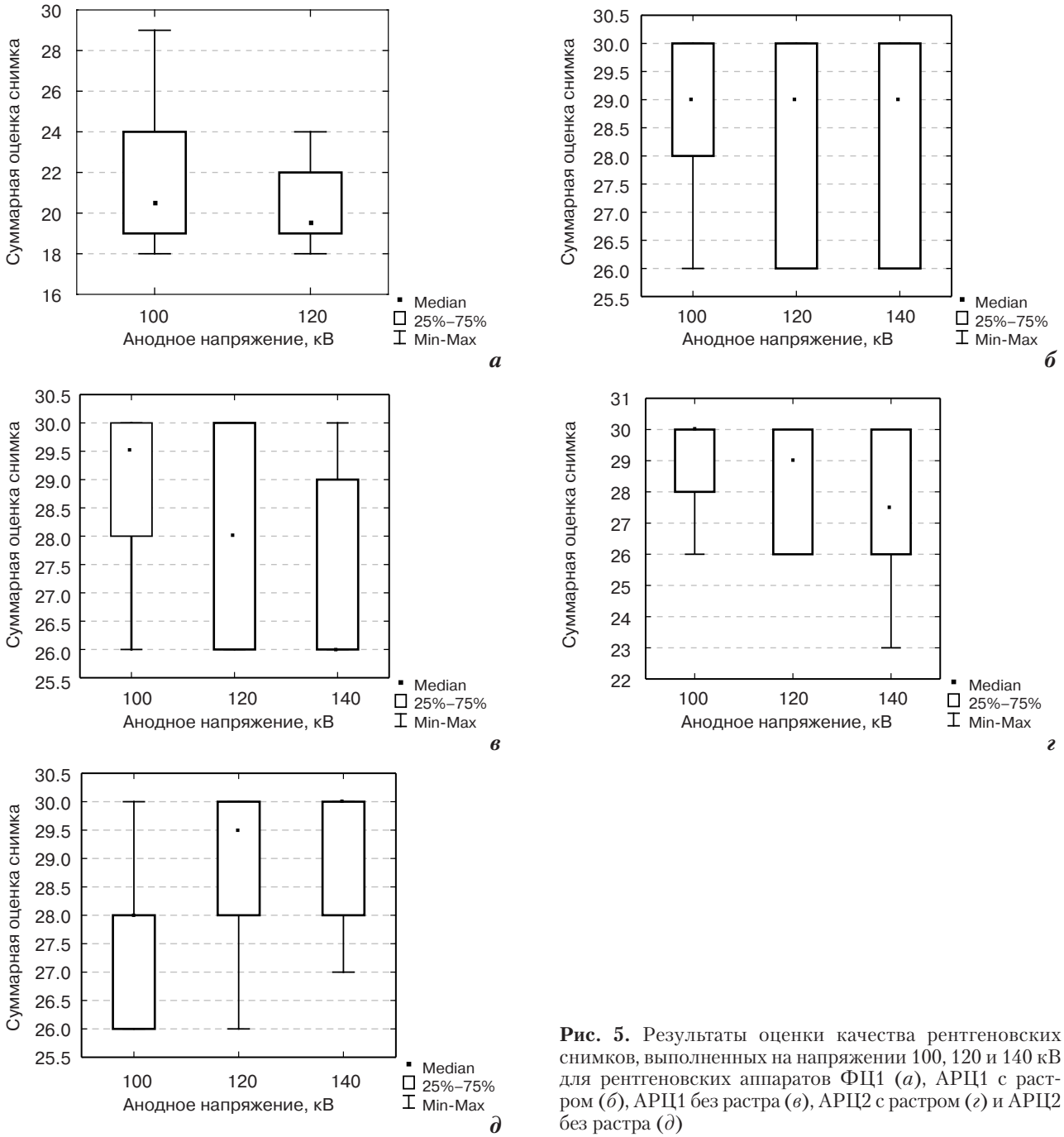


Рис. 5. Результаты оценки качества рентгеновских снимков, выполненных на напряжении 100, 120 и 140 кВ для рентгеновских аппаратов ФЦ1 (*а*), АРЦ1 с растром (*б*), АРЦ1 без растра (*в*), АРЦ2 с растром (*г*) и АРЦ2 без растра (*д*)

Рис. 6. Пример снимка фантома, полученного на аппарате ФЦ1 (*а*) и АРЦ1 (*б*)

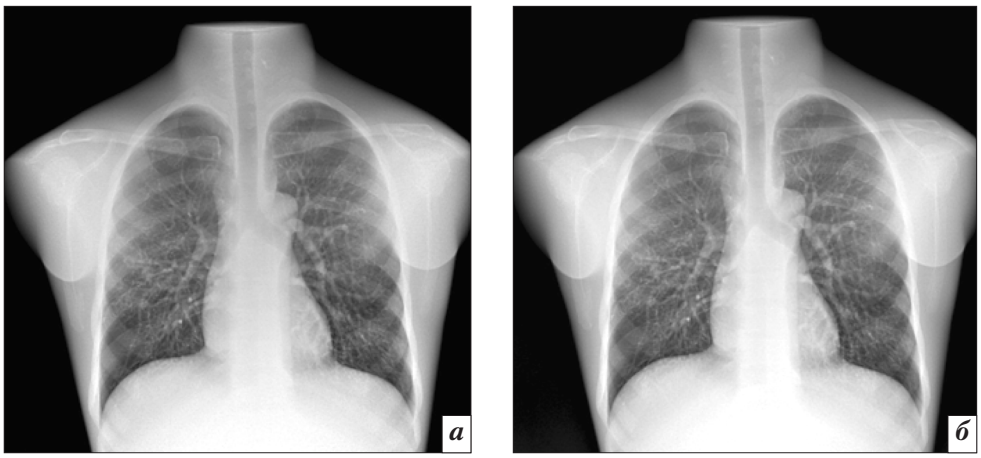


Рис. 7. Рентгенограммы грудной клетки фантома, выполненные на аппарате АРЦ1 с растром (*а*) и без растра (*б*), при напряжении 120 кВ

при котором обеспечивается лучшая визуализация тканей, скрытых структурами нормальной анатомии грудной клетки (ребрами, сердцем, печенью) [13].

Как видно из таблицы 3, в МБ по сравнению с УГС значения ПДП были выше в 15, 21 и 12 раз, а значения Е были выше в 13, 18 и 9 раз для аппаратов ФЦ1, АРЦ1 и АРЦ2 соответственно. Значения доз ПДП и Е всех четырех аппаратов УГС были усреднены для удобства сравнения с дозами МБ. В УГС значения ПДП и Е существенно не различались, что объяснялось использованием настроек оборудования для стандартизованных протоколов исследования ОГК. Средние значения ПДП и Е трех аппаратов МБ были соответственно в 16 и 13 раз больше среднего значения четырех аппаратов УГС. В МБ высокие значения ПДП и Е были обусловлены особенностями настройки АКЭ, что может быть связано как с низкой чувствительностью приемников изображения, так и с осознанным выбором высокодозовых режимов для получения приемлемого качества изображения. Это подтвердилось при сравнении значений экспозиции во время РГ ОГК с одинаковым V на трубке российских и шведских аппаратов. Значения экспозиции для аппаратов МБ превышали таковые для аппаратов в УГС в 4–7 раз.

Следует отметить, что в российских медицинских учреждениях не хватает специализированного персонала (медицинских физиков), ответственного за оптимизацию защиты пациентов от медицинского облучения и за обеспечение надлежащей работы рентгеновского оборудования. На основе результатов данного исследования будут разработаны рекомендации по оптимизации проведения РГ ОГК, предназначенные для персонала отдела лучевой диагностики.

Влияние параметров проведения исследования на ПДП и Е. Наиболее практичным решением по снижению как ПДП, так и Е в российских медицинских учреждениях является увеличение стандартного анодного V со 100 кВ до диапазона 125–150 кВ (в соответствии с ограничениями генератора). В МБ при переходе на более высокое V стало бы возможным снижение ПДП на 18, 40 и 44%, а значения Е – на 16, 33 и 26% для аппаратов ФЦ1, АРЦ1 и АРЦ2 соответственно (см. табл. 3, рис. 5). При V 125 кВ и выше значение Е снижалось только на 1–2% за каждый шаг в 5 кВ, применительно к существующим настройкам АКЭ. Для аппаратов в УГС снижение V на трубке до 130 кВ привело к снижению ПДП и Е, но такое снижение доз было настолько мало, что находилось в пределах неопределенности измерений (см. рис. 4).

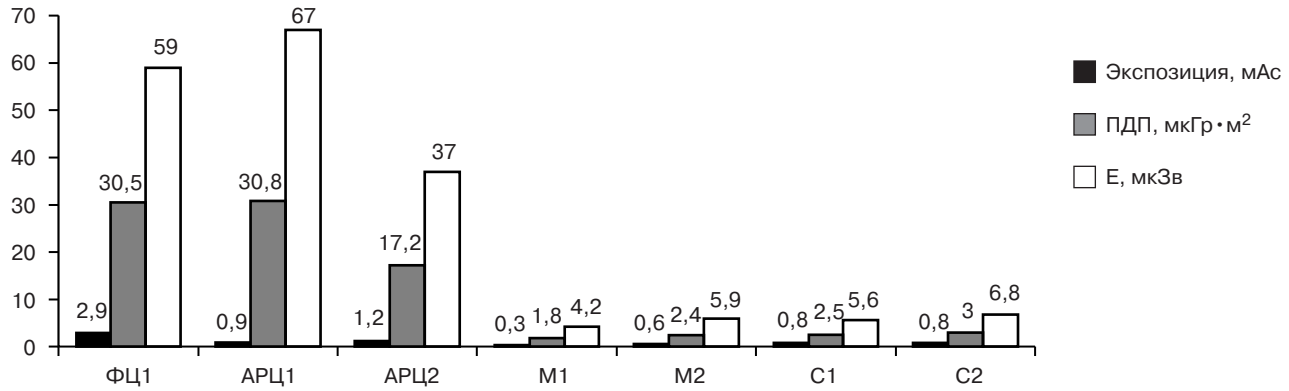


Рис. 8. Сравнение экспозиции, произведения дозы на площадь и эффективной дозы для аппаратов МБ и УГС после применения предложенных протоколов проведения исследования ОГК

Увеличение толщины полной фильтрации привело к снижению интенсивности низкоэнергетического рентгеновского излучения, снижению входной дозы и ПДП. Вместе с тем при РГ ОГК в передней проекции основные радиочувствительные органы пациента (легкие и молочные железы) расположены вплотную к приемнику изображения, поэтому изменение в относительном распределении дозы в теле человека будет приводить к увеличению поглощенной дозы и Е [19] (см. табл. 4, рис. 3). Увеличение толщины полной фильтрации с 3 мм Al до 4 мм Al с добавлением 0,2 мм Cu ведет к увеличению доз (см. табл. 4). Значение Е вырастает на 20 и 10%, поглощенная доза в молочной железе – на 27 и 13%, в легких – на 15 и 7% при V 100 и 150 кВ соответственно. При этом поглощенная доза в коже практически не меняется. Следовательно, для проведения РГ ОГК в передней проекции рекомендуется использовать минимально возможную толщину полной фильтрации.

Отказ от использования растра приводит к снижению доз (см. рис. 2, 3, 4). При малом анодном V (например, 60 кВ) как ПДП, так и Е одинаково снижаются при съемке без растра, причем в МБ – на 75%, а в УГС – на 60%. При высоком анодном V (150 кВ) и съемке без растра величина ПДП и Е снижается на 50% в МБ и на 40% – в УГС.

Ранее мы уже проводили экспериментальное исследование по изучению возможности отказа от использования растра в цифровой РГ [20]. Это исследование и нынешняя работа касаются оптимизации радиационной защиты, поиска путей снижения доз облучения. Однако эти два исследования существенно отличаются друг от друга по методике исполнения и поставленным целям. Новизна нынешнего исследования в том, что оно проводилось на заводских настройках с АКЭ, в диапазоне анодного V 60–150 кВ, с использованием антропоморфного фантома, имеющего антропометрические характеристики и анатомию грудной клетки, соответствующую стандартному пациенту, с оценкой качества снимков экспертами-рентгенологами. Предыдущее исследование [20] было выполнено на ограниченном диапазоне анодного V (70–80 кВ), с использованием тест-объектов, а выбор низкодозового режима осуществлялся исключительно путем изменения экспозиции. Определение Е при работе с тест-объектами не проводилось, а Е для трех пациентов-добровольцев были получены с консоли рентгеновского аппарата, без использования специализированных методов их определения.

Таким образом, несмотря на то что в исследовании по «устранению отсеивающего растра...» [20] были показаны схожие тенденции по снижению величины ПДП (в 3 раза и более), на наш взгляд, сравнивать результаты работ было бы некорректно по следующим причинам:

1. Данное исследование предназначено для врачей-рентгенологов и рентгенолаборантов рентгеновского кабинета, которые самостоятельно могут подобрать оптимальный параметр проведения РГ ОГК (V и толщину полной фильтрации), без внесения изменений в настройки рентгеновского аппарата. Предыдущее исследование [20] было предназначено для производителей рентгеновской техники, которые, опираясь на представленные зависимости ПДП от экспозиции, могут настроить систему АКЭ оптимальным образом (с учетом минимальной дозовой нагрузки на пациента).

2. Нынешнее исследование подтверждает необходимость использования Е как индикатора радиационного вреда (риска) для пациента. Характер изменения Е с изменением анодного V, толщины полной фильтрации и отказ от использования растра существенно отличаются от характера изменения ПДП. Предыдущее исследование описывало исключительно ПДП.

Был отмечен аномальный характер поведения Е с увеличением анодного V при рентгенографии без растра (см. рис. 3, 4). Это можно объяснить погрешностью определения Е через ПДП в диа-

пазоне низких доз, так как с увеличением анодного V значения экспозиции и ПДП практически не меняются.

По результатам нашей работы в МБ предлагается использовать следующие протоколы проведения РГ: анодное напряжение (V) для рентгеновских аппаратов АРЦ1 и АРЦ2 – 150 кВ, для аппарата ФЦ1 – 125 кВ (из-за ограничений генератора), толщина полной фильтрации 3 мм Al (без дополнительных фильтров). Этот протокол позволил снизить ПДП и Е на 47 и 33% соответственно. Отказ от растра рекомендуется при обследовании астеников и нормостеников. Однако новые протоколы РГ ОГК все же сохраняют значимую разницу в дозовой нагрузке на пациентов между МБ и УГС (см. рис. 8).

Качество изображения при использовании предложенных протоколов. Предлагаемые протоколы проведения исследований ОГК в МБ, безусловно, приведут к изменениям диагностического качества изображения. С увеличением анодного V снизится контраст изображения, а отказ от использования растра будет сопровождаться повышением шума [21–25]. Увеличение толщины полной фильтрации незначительно уменьшит контраст изображения. Однако данный эффект не оказывает значительного влияния на качество изображения [19, 21, 23]. Статистическая обработка результатов оценки качества изображений, полученных от экспертов-рентгенологов, не выявила достоверных различий между режимами выполнения РГ ОГК (см. рис. 5). Все снимки имели приемлемое качество изображения, особенно после использования ручной постобработки (см. рис. 7).

Следует заметить, что анатомия фантома имеет лучшую детализацию структур по сравнению с реальной анатомией человека и не позволяет объективно проводить анализ качества изображения при стандартном и экспериментальном исследованиях. На наш взгляд, окончательное решение по изменению протокола цифровой РГ ОГК должно быть принято после изучения качества изображений, полученных при обследовании пациентов.

Выводы

1. При проведении экспериментальной цифровой РГ грудной клетки фантомов дозовые характеристики на отечественных рентгеновских аппаратах в Мариинской больнице превышают шведские для ПДП – в 12–21 раз, для Е – в 9–18 раз. Это объясняется неоптимальными параметрами проведения РГ, низкой чувствительностью детекторов, настройкой АКЭ на высокую дозу облучения.

2. При РГ ОГК увеличение V на трубке до 125–150 кВ (в зависимости от генератора) и снижение толщины общей фильтрации до 3 мм Al приводит к снижению ПДП на 47% и Е – на 33%.

3. Отказ от растра может одинаково снизить ПДП и Е – на 75%.

4. Несмотря на использование разных протоколов РГ ОГК, все полученные снимки имели приемлемое диагностическое качество, особенно после их постобработки. Визуализация деталей анатомических структур на снимке грудной клетки фантома более высокая, и этим она отличается от реальных пациентов. Данный факт требует дальнейшего изучения влияния различных низкодозовых протоколов РГ ОГК на качество изображения реальных пациентов.

Благодарности

Авторы благодарят персонал рентгеновских отделений Мариинской больницы и Университетского госпиталя округа Скона, особенно господина С. Бернхардссона, за помощь в эксперименте и за возможность использовать оборудование для проведения данного исследования.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование

Публикация является частью научно-исследовательской работы в Лундском университете, в рамках стипендии Шведского Института (Александр Водоватов, 00110/2015).

Литература [References]

1. Репин В.С., Барышков Н.К., Братилова А.А., Варфоломеева К.В., Гончарова Ю.Н., Кононенко Д.В. и др. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2013 году: Информационный сборник. СПб.; 2014. [Repin V.S., Baryshkov N.K., Bratilova A.A., Varfolomeeva K.V., Goncharova Yu.N., Kononenko D.V. et al. Doses to the population of the Russian Federation in 2013: an information collection. St. Petersburg; 2014 (in Russ.).]
2. Голиков В.Ю., Балонов М.И., Кальницкий С.А., Братилова А.А., Сарычева С.С., Шацкий И.Г., Водоватов А.В. Уровни облучения пациентов при проведении рентгенологических исследований в Санкт-Петербурге и Ленинградской области. *Радиационная гигиена*. 2011; 4 (1): 5–13. [Golikov V.Yu., Balonov M.I., Kal'nitskiy S.A., Bratilova A.A., Sarycheva S.S., Shatskiy I.G., Vodovatov A.V. Levels of exposure to patients during X-ray studies in St. Petersburg and Leningrad Region. *Radiatsionnaya Gigiena (Radiation Hygiene, Russian journal)*. 2011; 4 (1): 5–13 (in Russ.).]
3. Водоватов А.В., Кальницкий С.А., Балонов М.И., Камышанская И.Г. К разработке референтных диагностических уровней облучения пациентов в отечественной рентгеновской диагностике. *Радиационная гигиена*. 2013; 6 (3): 29–36. [Vodovatov A.V., Kal'nitskiy S.A., Balonov M.I., Kamyshanskaya I.G. To develop diagnostic reference levels of exposure of patients in the national X-ray diagnosis. *Radiatsionnaya Gigiena (Radiation Hygiene, Russian journal)*. 2013; 6 (3): 29–36 (in Russ.).]
4. Балонов М.И., Голиков В.Ю., Звонова И.А., Кальницкий С.А.,

Репин В.С., Сарычева С.С., Чипига Л.А. Современные уровни медицинского облучения в России. *Радиационная гигиена*. 2015; 8 (3): 67–79. [Balonov M.I., Golikov V.Yu., Zvonova I.A., Kal'nitskiy S.A., Repin V.S., Sarycheva S.S., Chipiga L.A. Current levels of medical exposure in Russia. *Radiatsionnaya Gigiena (Radiation Hygiene, Russian journal)*. 2015; 8 (3): 67–79 (in Russ.).]
5. Международная комиссия по радиационной защите. Радиационная защита в медицине: Публикация 105 МКРЗ. Под ред. Д. Валентина. http://www.icrp.org/docs/P105Russian.pdf [International Commission on radiological protection. Radiation protection in medicine: ICRP Publication 105. Ed. D. Valentine. http://www.icrp.org/docs/P105 Russian.pdf (in Russ.).]
6. Применение референтных диагностических уровней для оптимизации радиационной защиты пациента в рентгенологических исследованиях общего назначения: Методические рекомендации (МР 2.6.1.0066-12). М.: Роспотребнадзор; 2012. [The use of diagnostic reference levels for optimization of radiation protection of the patient in X-ray examinations, General purpose: Methodical recommendations (MR 2.6.1.0066-12). Moscow: Rospotrebnadzor; 2012 (in Russ.).]
7. European Commission. Radiation Protection 109. Guidance on Diagnostic Reference Levels (DRLs) for Medical Exposures. European Commission. Brussels, Luxembourg. 1999.
8. Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований: Методические указания (МУ 2.6.1.2944-11). М.: Роспотребнадзор; 2011. [Control of effective doses to patients in medical X-ray examinations: Methodical instructions (MU 2.6.1.2944-11). Moscow: Rospotrebnadzor; 2011 (in Russ.).]
9. Kyotokagaku. Chest Phantom N1 Instruction Manual. http://www.kyotokagaku.com/products/detail03/pdf/ph-1_manual.pdf
10. Kyotokagaku. CT Torso Phantom CTU-41 User Manual. http://www.kyotokagaku.com/products/detail03/pdf/ph-4_manual.pdf
11. Tapiovaara M., Siiskonen T. PCXMC. A Monte Carlo program for calculating patient doses in medical x-ray examinations. STUK-A231. Helsinki, Finalnd. 2008; http://www.stuk.fi/documents/12547/474783/stuk-231.pdf/c950e99c-3537-4344-bf76-07a54e5f1afa
12. Tingberg A. Quantifying the quality of medical X-ray images: an evaluation based on normal anatomy for lumbar spine and chest radiography. Dr. med. sc. Thesises of Diss. Malmö: Lund University; 2000.
13. European guidelines on quality criteria for diagnostic radiographic images. European Commission. Brussels, Luxembourg; 1996.
14. Михайлов А.Н., Абельская И.С. Диагностические критерии и технические параметры при рентгенографических исследованиях. *Медицинские новости*. 2005; 10: 45–50. [Mikhaylov A.N., Abel'skaya I.S. Diagnostic criteria and specifications with radiographic studies. *Meditsinskie Novosti (Medical News, Belarusian journal)*. 2005; 10: 45–50 (in Bel.).]
15. Завадовская В.Д. (ред.). Лучевая диагностика: Учебно-методическое пособие. Часть 1. М.: Видар; 2009. [Zavadovskaya V.D. (ed.) Radiation diagnostics: Educational handbook. Part 1. Moscow: Vidar; 2009 (in Russ.).]
16. Остман Й.В., Уальд К., Кроссин Дж. Основы лучевой диагностики. От изображения к диагнозу. Пер. с англ. М.: Медицинская литература; 2012. [Ostman J.W., Wilde C., Crossin G. Fundamentals of radiation diagnosis. From the image to the diagnosis: Transl. from Eng. Moscow: Meditsinskaya Literatura; 2012 (in Russ.).]
17. Линденбратен Л.Д., Королюк И.П. Медицинская радиология: Учебник для студентов медицинских вузов. 2-е изд. М.: Медицина; 2000. [Lindenbraten L.D., Korolyuk I.P. Nuclear medicine. The textbook for medical students. 2nd ed. Moscow: Meditsina; 2000 (in Russ.).]
18. Троян В.Н., Шехтер А.И., Терновой С.К. (ред.) Лучевая диагностика органов грудной клетки. Национальные руководства по лучевой диагностике и терапии. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2014. [Troyan V.N., Shekhter A.I., Ternovoy S.K. (eds) Radiodiagnostics chest. National guidelines for X-ray diagnostics and therapy. Moscow: GEOTAR-Media; 2014 (in Russ.).]
19. Brosi Ph., Stuessi A., Verdun F.R., Wolf R. Copper filtration in pediatric digital X-ray imaging: its impact on image quality and dose. *Rad. Phys. and Tech*. 2011; 4 (2): 148–55.
20. Камышанская И.Г., Черемисин В.М., Перепелицина Н.В. Оптимизация радиационной защиты путем устранения отсеивающего растра в цифровой рентгенографии. *Радиационная гигиена*. 2015; 8 (2): 19–24. [Kamyshanskaya I.G., Cheremisin V.M., Perepelitsina N.V. Optimization of radiation protection by removing the sieve raster digital radiography. *Radiatsionnaya Gigiena (Radiation Hygiene, Russian journal)*. 2015; 8 (2): 19–24 (in Russ.).]
21. ICRU, Image Quality in Chest Radiography. *J. ICRU*. 2003; 3 (2).
22. Grewal R.K., Young N., Colins L., Karunnaratne N., Sabharwal N. Digital chest radiography image quality assessment with dose reduction. *Australas. Phys. Eng. Sci. Med*. 2012; 35: 71–80.
23. Hamer O.W., Sirlin C.B., Strotzer M. et al. Chest radiography with a flat-panel detector: image quality with dose reduction after coper filtration. *Radiology*. 2005; 237: 691–700.
24. Uffmann M., Neitzel U., Prokop M., Kabalan N., Weber M., Herold C.J., Schaefer-Prokop C. Flat-panel–detector chest radiography: effect of tube voltage on image quality. *Radiology*. 2005; 235: 642–50.
25. DeWerd L., Kissick M. (eds) The phantoms of medical and health physics. Biological and medical physics, biomedical engineering. New York: Springer New York; 2014.

Поступила 15.09.2017
Принята к печати 22.09.2017