

Выбор оборудования для флюорографии и рентгенографии органов грудной клетки на основе оценки качества изображения и уровней облучения пациентов

Солдатов И.В.¹, Водоватов А.В.², Лантух З.А.¹, Соловьёв А.В.^{1,3}, Сморгачева А.К.¹, Артюкова З.Р.¹, Дружинина П.С.²

¹ Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

² 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

³ Морозовская детская городская клиническая больница Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

Современная лучевая диагностика ввиду своего стремительного развития и совершенствования применяемых методов и технологий требует постоянного контроля, в том числе в контексте уровней облучения пациентов. Выбор подходящего рентгенодиагностического оборудования является одним из ключевых аспектов обеспечения радиационной безопасности. Материалы и методы: В исследовании были проанализированы рентгеновские диагностические аппараты и цифровые флюорографы с различными технологиями получения изображения (типами детекторов), на примере исследований лёгких. Оценка аппаратов проводилась с использованием специально разработанной 5-балльной шкалы в отношении ключевых параметров качества и безопасности. Результаты исследования и обсуждение: Результаты исследования показывают, что цифровые рентгенодиагностические аппараты со штативом типа U-дуга и цифровые рентгенографические аппараты с плоскостной панелью детектора демонстрируют более высокое качество изображений по сравнению с другими технологиями при относительно низких уровнях облучения пациента. Дополнительным преимуществом таких аппаратов для городских поликлиник, по сравнению с «классическими» флюорографами, является их универсальность и возможность проведения различных рентгенологических исследований (не только исследований лёгких), что обеспечивает взаимозаменяемость аппаратов и эффективное перенаправление потока пациентов на время ремонта аппарата. Заключение: Результаты данного исследования выделяют важность оптимизации выбора рентгенодиагностического оборудования для достижения наилучших клинических результатов и обеспечения безопасности пациентов при проведении рентгенологических исследований и могут быть применены в систематизации оснащения медицинских организаций, оказывающих первичную медико-санитарную помощь взрослому населению.

Ключевые слова: аппараты для флюорографии, рентгенографии органов грудной клетки, качество изображения, эффективная доза пациентов.

Введение

В последние десятилетия заболевания органов дыхания, включая туберкулез, стали одной из важнейших проблем общественного здоровья [1]. Раннее выявление и диагностика этих заболеваний могут существенно сократить риск для жизни и улучшить качество жизни пациентов [2].

Флюорография и рентгенография органов грудной клетки используются для диагностики туберкулеза легких, пневмонии, гидроторакса, пневмоторакса, ателектаза легкого, объемных образований легких, переломов ребер, кардиомегалии и иных заболеваний средостения [3, 4]. В Российской Федерации основным методом выявления туберкулеза является флюорография. Приблизительно 89 % всех

обнаруженных случаев туберкулеза были выявлены при проведении флюорографии [5].

В г. Москве в период с 2017 по 2021 гг. наблюдается снижение числа флюорографических и рентгенографических исследований с 28,4 % и 63,9 % в 2017 году до 22,7 % и 61,7 % в 2021 году соответственно (% от общего числа рентгенологических исследований). Количественная оценка проведенных рентгенографических исследований между 2017 и 2021 гг. составляет: для аналоговых аппаратов – с 5 095 403 до 2 032 306, для цифровых аппаратов – с 12 238 678 до 14 925 505. При этом исследования органов грудной клетки сохраняют свою важность, занимая 20,1 % в 2017 году и 18,4 % в 2021 году [6] (от общего числа исследований). В то же время, согласно статистике Росстата в целом по Рос-

Солдатов Илья Владимирович

Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы

Адрес для переписки: 127051, Россия, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1; E-mail: SoldatovIV2@zdrav.mos.ru

сии, ежегодно количество людей прошедших флюорографическое обследование возросло с 70 миллионов человек в 2017 году до 87,7 миллионов в 2023 году [7, 8]. В то же время уверенную лидирующую позицию занимают рентгенодиагностические, в том числе профилактические, исследования, проведенные в амбулаторных медицинских организациях [9].

Парк рентгенографического и флюорографического оборудования в медицинских организациях Департамента здравоохранения г. Москвы в 2022 г составлял 685 рентгеновских диагностических аппаратов и 230 флюорографов и U-дуг [10]. Однако аппаратура, используемая для флюорографии и рентгенографии органов грудной клетки, значительно различается по ряду параметров, что создает потребность в объективном сравнении и анализе, особенно при планировании оснащения.

Обычно необходимость оснащения (пере- или дооснащения) парка оборудования лучевой диагностики просто утверждается. Конкретные подходы, принципы предлагаются крайне редко и в очень ограниченном виде. В научных работах по проблемам совершенствования служб лучевой диагностики вопросы оснащения рассматривались лишь как один из аспектов, причем далеко не самый первоочередной. Примечательно, что даже в случаях многофакторного изучения показателей лучевой диагностики [11] вопросы оснащения (тем более перспективного его плана) и радиационной безопасности исследований рассматривались параллельно, без попыток оценки взаимного влияния.

Сравнение качества изображения рентгеновских аппаратов является важным аспектом в области медицинской диагностики. Определение оптимального аппарата для оснащения играет решающую роль в точности диагностики, принятии клинических решений и, как следствие, лечении пациента. Поэтому при выборе оборудования критически важно провести всестороннее сравнение между различными аппаратами и выявить их преимущества и недостатки с точки зрения визуализации.

Цель исследования – разработка и апробация методики объективного количественного сравнения рентгеновских аппаратов, применяемых для диагностики органов грудной клетки.

Материалы и методы

С позиции выполнения требований ОСПОРБ 99/2010 важным при медицинском облучении в диагностике является использование надлежащего оборудования с возможностью получения изображения такого качества и информативности, которого достаточного для описания исследования врачом-рентгенологом, с учетом минимизации уровней облучения пациента насколько это возможно. В качестве ключевых характеристик аппаратов были выбраны эффективная доза за процедуру (единичный рентгеновский снимок органов грудной клетки), параметры качества изображения и оценка качества изображения врачом-рентгенологом. Эффективная доза показывает меру возникновения риска отдаленных последствий от воздействия ионизирующего излучения на пациента. Оценки качества изображения

(техническая на основе измерений и экспертная оценка врачами-рентгенологами) напрямую характеризуют качество визуализации и, как следствие, возможность точной диагностики по результатам исследования.

Определение эффективной дозы пациента

Для определения эффективной дозы проводились измерения произведения дозы на площадь с помощью клинического дозиметра ДРК-1Э, определение радиационного выхода с помощью дозиметра универсального для контроля характеристик рентгеновских аппаратов Piranha модификации R&F/M 657. Также использовался многофункциональный грудной фантом LUNGMAN, Ref/PH-1 Multipurpose Chest Phantom N1, с его помощью определялись параметры исследования, характерные для съемки легких в автоматическом режиме. Параметры проведения рентгенографии органов грудной клетки или флюорографии на различных аппаратах выбирались согласно протоколам, рекомендованным производителем или в автоматическом режиме съемки в задне-передней проекции (ЗП). Коэффициенты перехода и эффективные дозы рассчитывались с помощью компьютерной программы РСХМС 2.0, соответствующей методике, обозначенной в МУ 2.6.1.2944-11¹.

Определение параметров изображения

Ввиду того, что в выборку аппаратов с различными технологиями, характерными для парка московского здравоохранения, попали аналоговые и цифровые рентгенографические аппараты и флюорографы, а также необходимости простоты применения параметра для интерпретации врачами-рентгенологами, для определения качества изображения были выбраны: максимальный размер облучаемого поля детектора (см x см), контрастная чувствительность (%) и пространственная разрешающая способность (пар.лин/мм). В дальнейшее исследование включались аппараты с максимальным размером облучаемого поля детектора не менее 35 x 38 см. У аппаратов с полем меньшего размера есть риск непопадания на детектор всей необходимой области интереса при исследовании лёгких у крупных пациентов.

Контрастная чувствительность оценивалась по изображению тест-объекта, содержащего детали заданного контраста, расположенного во входной плоскости приемника рентгеновского изображения, при съемке тест-объекта ТКЧ-05². Ввиду близких значений контрастной чувствительности у выбранных технологий было принято решение установить условную величину контрастной чувствительности не более 1,0 % при дозе во входной плоскости (далее – D) не более 5 мкГр. При выполнении указанного условия аппарат включался в исследование. Далее по изображению тест-объекта ТПР-4-2 у аппаратов определялась пространственная разрешающая способность. Таким образом, для оценки качества изображения в баллах были допущены аппараты, у которых по результатам измерений выполняются требования по максимальному размеру облучаемого поля и контрастной чувствительности; аппараты, не удовлетворяющие требованиям до оценки, не допускались.

¹ МУ 2.6.1.2944-11 «Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований». [МУ 2.6.1.2944-11 "Control of effective radiation doses to patients during medical X-ray examinations". Methodological guidelines (In Russ.)].

² МР № 16 Методы и аппаратно-программные средства оценки параметров и характеристик цифровой рентгенодиагностической аппаратуры в условиях эксплуатации [MP №16 Methods and hardware-software means of estimation of parameters and characteristics of digital X-ray diagnostic equipment under operating conditions (In Russ.)].

Определение качества изображения

Основываясь на опыте аудита рентгенологических исследований [12], было принято решение выполнения независимой оценки изображений врачами-рентгенологами.

Три доступных эксперта-рентгенолога со стажем работы более 5 лет независимо просматривали по 10 исследований органов грудной клетки с каждого аппарата и оценивали качество по 5-бальной шкале. Данные врачи на постоянной основе занимаются аудитом флюорографических исследований и имеют высокую квалификацию. Все исследования (за исключением исследований на пленке) оценивались на идентичных диагностических мониторах BARCO Nio Color 3MP (MDNC-3421). Исследования на пленке рассматривались с помощью негатоскопа.

Выбор технологий детектирования и аппаратов

Для апробации была составлена выборка рентгеновских аппаратов. Был проведен анализ информационной системы учета медицинского оборудования единой медицинской информационно-аналитической системы - УМО ЕМИАС, со-

державшей информацию о функционирующем в медицинских организациях Департамента здравоохранения г. Москвы (далее - ДЗМ) оборудовании.

По результатам анализа рынка оборудования для лучевой диагностики и литературных источников [13, 14, 15] были выделены 6 самых распространенных технологий типов приемников, используемых в рентгенодиагностике легких: плоскостной детектор, линейный сканирующий детектор, детектор на основе ПЗС-матрицы, приемник, состоящий из 4 чувствительных полей детекторов с технологией сшивки изображения, систем компьютерной радиографии, кассета с пленкой. При этом, в сегменте аппаратов с плоскостным детектором, исходя из типа штативного устройства, подходящего для быстрого проведения исследования (по сравнению с рентгенодиагностическим аппаратом на 2 рабочих места), целесообразно выделить в отдельную группу аппараты со штативом типа U-дуга, что может быть важным для проведения профилактических осмотров. Таким образом в зависимости от приёмника и штативного устройства были выбраны 7 типов аппаратов. В выборку апробации включались аппараты согласно схеме, указанной на рисунке 1.

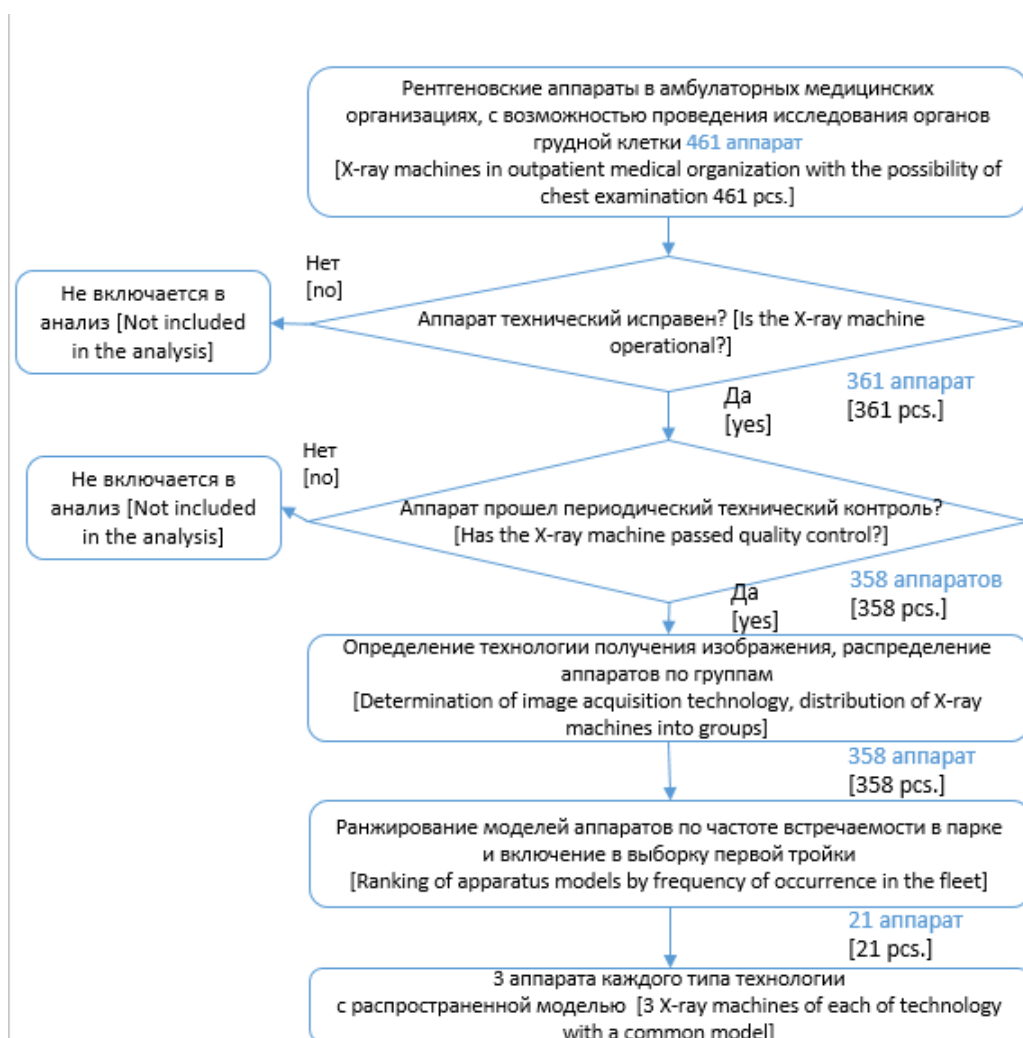


Рис. 1. Схема выбора аппаратов для исследования
[Fig. 1. The scheme of selection of devices for the research]

В представленном на рисунке 1 парке оборудования присутствовали все 7 типов аппаратов; для каждого типа были выбраны по 3 аппарата самой распространённой модели (итого 21 аппарат). Аппараты выбранных моделей составляли более 70 % от всего парка. Сперва проводилась оценка выбранных аппаратов по указанным критериям, далее она усреднялась для получения оценки технологии приемника.

Для разработки модели оценки был проведен

опрос 20 врачей-рентгенологов [16] по вопросу определения весовых коэффициентов (от 0 до 1) между параметрами качества изображения и уровнем облучения при профилактическом исследовании органов грудной клетки.

Результаты

Результаты измерений параметров, указанных в материалах и методах, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты

[Table 1

Results]

№	Тип аппарата [Type of X-ray machine]	Максимальный размер облучаемого поля детектора (кассеты), см x см [Maximum size of the irradiated detector field, cm x cm]	Контрастная чувствительность, % при D < 5 мкГр [Contrast sensitivity, %]	Пространственное разрешение, пар. лин./мм [Spatial resolution, pairs/mm]	Эффективная доза, мЗв [Effective dose, mSv]
1	Аналоговый рентгеновский аппарат с системой компьютерной радиологии	35 x 43	0,5	3,0	0,012
2		35 x 43	0,5	3,0	0,016
3	[X-ray machine with a computed radiography system]	35 x 43	0,5	2,8	0,088
4	Аналоговый рентгеновский аппарат с пленкой	35 x 43	1,0	4,3	0,034
5		35 x 43	0,5	4,0	0,172
6	[X-ray machine with film processing]	35 x 43	0,5	4,0	0,073
7	Цифровой флюорограф с ПЗС-матрицей	39 x 39	1,0	2,2	0,019
8		39 x 39	1,0	1,8	0,052
9	[Digital x-ray chest survey units based on CCD-camera]	39 x 39	1,0	2,2	0,029
10	Цифровой рентгенодиагностический аппарат со штативом типа U-дуга с плоскостной панелью детектором	43 x 43	1,0	4,0	0,049
11		43 x 43	1,0	4,0	0,021
12	[Digital X-ray diagnostic machine with U-arc tripod with a flat panel detector]	43 x 43	1,0	4,0	0,035
13	Цифровой рентгенографический аппарат с плоскостной панелью детектором	43 x 43	1,0	4,0	0,037
14		43 x 43	1,0	4,3	0,047
15	[Digital X-ray diagnostic machine with a flat panel detector]	43 x 43	1,0	4,3	0,025
16	Цифровой флюорограф с технологией сшивки	40 x 40	1,0	1,8	0,006
17		40 x 40	1,0	1,8	0,008
18	[Digital x-ray chest survey units with slot-scan digital radiography]	40 x 40	1,0	2,2	0,006
19	Цифровой флюорограф со сканирующей системой	39 x 39	1,0	2,0	0,014
20		39 x 39	1,0	2,2	0,011
21	[Scanning digital X-ray chest survey units]	39 x 39	1,0	2,0	0,017

Для количественной оценки различных характеристик было принято решение приведения всех значений к относительным единицам за счет введения 5-бальной шкалы.

Для оценки эффективной дозы $A(D_{эф.})$ на шкале должна сохраняться зависимость: чем больше, полученное значение в баллах, тем меньше лучевая нагрузка облучения пациента. Максимальное значение составило 0,172 мЗв; оно характеризуется высокими дозами для выбранных технологий и вида исследования флюорография или рентгенография легких, поэтому эффективной дозе 0,172 мЗв была присвоена оценка в 1 балл. Минимальное значение эффективной дозы составило 0,006 мЗв, что является низкодозовой характеристикой и может быть принято за 5 баллов. Все измеренные значения лежат в диапазоне 0,006 и 0,172 виду и отличаются более чем на 2 порядка, поэтому зависимость «эффективная доза–оценка» была представлена в виде десятичного логарифма дозы от оценки, при этом линия тренда–линейная (рис. 2а). Линейная зависимость дает правильную оценку взаимосвязи двух величин. Далее каждому

определенному значению эффективной дозы присваивается оценка от 1 до 5. Данный подход позволит объективно сравнить между собой 21 аппарат по величине эффективной дозы, приведённой к 5-ти бальной шкале.

Для проверки полученных результатов измерения и подтверждения релевантности выбранной зависимости «доза–оценка» было проведено измерения на 361 исправном аппарате парка во взрослых поликлиниках ДЗМ по измерениям аккредитованной испытательной лаборатории ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ». Диапазон эффективных доз при исследовании органов грудной клетки составил от 0,001 до 0,530 мЗв за процедуру, что подтверждается также литературными данными [13, 17], а также руководствами по эксплуатации на аппараты. При этом, исходя из распределения, значения до 0,01 мЗв можно характеризовать как дозы значительно ниже средних, а значения свыше 0,15 мЗв можно характеризовать как дозы значительно выше средних. По результатам измерений максимальное и минимальное значения эффективной дозы соответствовали указанным выше диапазонам и литературным данным.

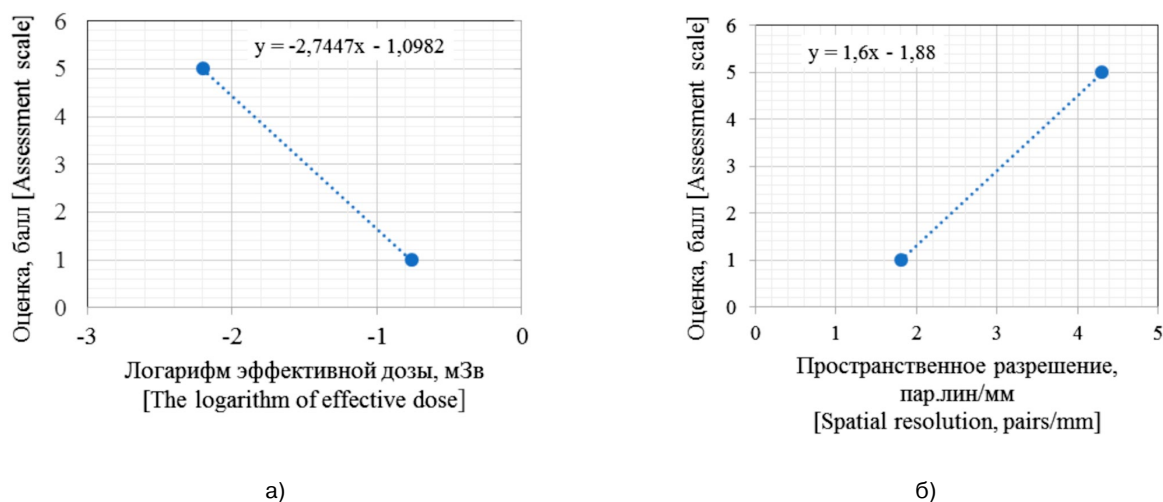


Рис. 2. Шкалы оценки: а) шкала оценки эффективной дозы; б) шкала оценки качества изображения
[Fig. 2. Assessment scale: а) effective dose assessment scale; б) image quality rating scale]

Пространственная разрешающая способность 1,4–1,6 пар.лин/мм, на которую ориентировались более 20 лет назад [18] в настоящее время считается недостаточной для качественной диагностики заболеваний лёгких. При низком уровне разрешения аппарат не способен различать мелкие детали, что критически важно для выявления патологий, таких как мелкие опухоли, микрокальцинаты, тонкие костные переломы. Недостаточная детализация может привести к ошибкам в диагностике, пропуску заболеваний и необходимости повторных исследований, что увеличивает дозу облучения для пациента. По результатам протоколов контроля эксплуатационных параметров аппаратов, выполненных ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», для 361 аппарата значения ниже 2,2 пар.лин/мм можно считать группой аппаратов с низким качеством изображения³ [14], свыше 4 пар.лин/мм можно считать высоким качеством изображения по данному параметру, что подтверждается [19].

Для оценки пространственной разрешающей способности B (пр.р.) среди измеренных значений минимальное составляло 1,8 пар.лин/мм, что соответствует указанным выше диапазонам и соответствует 1 баллу. Максимальное

из измеренных значений в 4,3 пар.лин/мм соответствует 5 баллам. Результирующая шкала представлена на рисунке 2б. Ввиду значений одного порядка измерений зависимость «разрешающая способность – оценка» была представлена в виде линейной прямой. Далее каждому определённому значению пространственной разрешающей способности присваивается оценка от 1 до 5.

Для оценки качества исследования врачом–рентгенологом C (о.вр.) была использована 5-бальная шкала, предложенная в работе [18], которая, фактически, представляет собой адаптированную шкалу Лайкерта и учитывает общую характеристику изображения, визуализацию нормальной анатомии, патологий и наличие артефактов. Одним из основных параметров в данном исследовании является качество визуализации рентгеновского аппарата методом экспертной оценки, которая оценивается в баллах по шкале от 1 до 5. Стандартное отклонение для данного показателя может быть оценено как 0,67 балла. Анализ показал, что для достижения точности оценки (полуширины 95 % доверительного интервала) качества визуализации рентгеновского

аппарата в 0,5 балла для каждого аппарата необходимо провести оценку не менее чем на 10 изображениях.

Разработка интегральной оценки качества изображения и уровней облучения

Показатели $A(D\text{эф.})$, $B(\text{пр.р.})$ и $C(\text{о.вр.})$ для технологии были рассчитаны как среднее значение между оценками каждого аппарата в выборке. Для оценки качества изображения исследования с применением $B(\text{пр.р.})$ и $C(\text{о.вр.})$ был выбран весовой коэффициент 0,7. А для оценки воздействия ионизирующего излучения на организм пациента $A(D\text{эф.})$ был выбран весовой коэффициент 0,3. Весовые коэффициенты значимости определены по оценкам экспертов в области лучевой диагностики с учетом того, что качество диагностического изображения наиболее важно и является более значимой величиной,

чем уровень лучевой нагрузки пациента; однако оценка лучевой нагрузки также вносит весомый вклад в результирующую оценку.

Интегральная оценка технологии приемника рентгеновских аппаратов Q в данном исследовании оценивалась по формуле:

$$Q = 0,3 \times A(D\text{эф.}) + 0,7 \times \frac{B(\text{пр.р.}) + C(\text{о.вр.})}{2},$$

где $A(D\text{эф.})$ – оценка эффективной дозы;

$B(\text{пр.р.})$ – оценка качества изображения;

$C(\text{о.вр.})$ – оценка врачей-рентгенологов.

Сводные результирующие данные по сравнению оборудования и результаты интегральной оценки приведены в таблице 2.

Таблица 2

Сравнительная оценка рентгеновских аппаратов

[Table 2]

Comparative evaluation of X-ray machines

№	Технология приемника [Detector technology]	Оценка эффективной дозы $A(D\text{эф.})$ [Effective dose assessment]	Оценка качества изображения $B(\text{пр.р.})$ [Image quality assessment]	Оценка врачей-рентгенологов $C(\text{о.вр.})$ [Radiologists assessment]	Интегральная оценка технологии Q [Integrated assessment of technology]
1	Аналоговый рентгеновский аппарат с системой компьютерной радиографии [X-ray machine with a computed radiography system]	3,27	2,81	4,37	3,49
2	Аналоговый рентгеновский аппарат с пленкой [X-ray machine with film processing]	1,97	4,68	3,24	3,36
3	Цифровой флюорограф с ПЗС-матрицей [Digital x-ray chest survey units based on CCD-camera]	3,06	1,43	3,48	2,63
4	Цифровой рентгенодиагностический аппарат со штативом типа U-дуга с плоскпанельным детектором [Digital X-ray diagnostic machine with U-arc tripod with flat panel Detector]	2,97	4,52	4,76	4,14
5	Цифровой рентгенографический аппарат с плоскпанельным детектором [Digital X-ray diagnostic machine with flat panel detector]	2,89	4,84	4,58	4,16
6	Цифровой флюорограф с технологией сшивки [Digital x-ray chest survey units with slot-scan digital radiography]	4,89	1,21	3,46	3,10
7	Цифровой флюорограф со сканирующей системой [Scanning digital X-ray chest survey units]	4,01	1,43	4,22	3,18

Ограничения

К ограничениям данной работы следует отнести число экспертов, проводящих оценку качества изображения, использовалось максимальное число экспертов, доступное на момент проведения исследования. Данные подходы обусловлены необходимостью упрощения методики сравнения технологий рентгеновских аппаратов и обеспечения воспроизводимости

результатов оценки. Кроме того, для решения подобных задач большее влияние оказывает наличие системы арбитража [19].

Обсуждение

В результате проведенного исследования были составлены оценки 7 технологий проведения флюорографии и рентгенографии органов грудной клетки. По эф-

фективной дозе максимальную оценку 4,89 баллов получил аппарат с технологией шивки. Оценка качества изображения показала максимальный балл (4,84 балла) при использовании цифрового рентгенографического аппарата с плоскпанельным детектором. Экспертная оценка качества изображения врачами-рентгенологами присудила максимальный балл цифровому рентгенодиагностическому аппарату со штативом типа U-дуга с плоскпанельным детектором – 4,76 балла. Интегральная оценка показала, что ведущей технологией с количеством 4,16 балла стала технология, заложенная в цифровой рентгенографический аппарат с плоскпанельным детектором.

По результатам исследования следует отметить универсальность аппаратов типа U-дуга или цифрового рентгенографического аппарата с плоскпанельным детектором, что позволяет проводить все основные виды рентгенодиагностических исследований. Это делает их более удобными и эффективными для медицинских учреждений, оказывающих первичную медико-санитарную помощь взрослому населению. В то же время использование цифровых флюорографов необходимо и обоснованно прежде всего в центрах борьбы с туберкулезом, туберкулезных диспансерах, центрах проведения массовых обследований населения, то есть там, где необходима высокая пропускная способность приемлемом качестве изображения с минимальными уровнями облучения и где не требуется проведение других видов исследований.

Представленный результат оценки технологии может быть применен только к рассматриваемой генеральной совокупности аппаратов амбулаторно-поликлинических медицинских организаций г. Москвы. Однако разработанная методика может быть уверенно приложена к любому составу и размеру выборки аппаратов в других регионах.

В исследовании Жунхуа Сун и соавторов [22] были подтверждены результаты исследования ученых из Люксембурга [23], которые указывают на невозможность стандартизации рентгенологических исследований из-за разнообразия рентгеновских аппаратов, используемых в клинической практике. Следовательно, требуется оптимизация для каждого конкретного рентгеновского аппарата и каждого рентгенологического исследования в связи с различными параметрами цифровых систем. Подобные выводы были сделаны также в работе Крофта и соавторов [23], которые проанализировали исследования, полученные на антропоморфном фантоме грудной клетки. В их исследовании было оценено восемь различных цифровых систем для диагностики заболеваний грудной клетки, и были выявлены значительные различия между ними. Также отмечалось варьирование дозы облучения в зависимости от применяемых цифровых систем.

Связь между дозой излучения и качеством изображения оценивается как количественно (через физические измерения, такие как функция передачи модуляции и квантовая эффективность), так и качественно (через экспертную оценку). Однако качественные оценки могут варьироваться в зависимости от восприятия и опыта рентгенолога и от того, насколько они отражают клиническую ситуацию [22]. Качество изображения зависит от специфики клинического вопроса, размера, плотности и контрастности объектов, а также от принципа ALARA, нацеленного на снижение воздействия ионизирующего излучения [25].

Методика оценки технологий рентгеновских аппаратов актуальна для определения оптимального оснащения общегородской сети медицинских организаций или службы здравоохранения региона. При массовом оснащении без системного и научного подхода наличие оборудования вовсе не решает проблемы доступности и качества медицинской помощи. Пример системы планирования оснащения оборудования отделения лучевой диагностики, представлен на рисунке 3. Циклический процесс, состоящий из 4 этапов, учитывает необходимые для успешного оснащения отделения лучевой диагностики факторы и обеспечивает эффективность, качество и безопасность, доступность и удовлетворенность оснащением.



Рис. 3. Система планирования оснащения оборудования лучевой диагностики медицинской организации

[Fig. 3. The planning system for equipping radiation diagnostics equipment of a medical organization]

На первом этапе формулируется «Клиническая потребность» медицинской организации в проведении рентгенологических исследований, виды которых, удовлетворяют диагностическому запросу прикрепленного населения, отвечают задачам службы лучевой диагностики города и соответствуют современным методам и лучшим мировым практикам лучевой диагностики. Второй этап – выбор технологий, который обеспечивает качество и безопасность будущей эксплуатации оборудования (наглядно продемонстрирован в рамках данной статьи). Применение разработанной методики оценки технологий рентгеновских аппаратов позволяет сформировать требования к закупке оборудования с учетом клинической потребности, радиационной безопасности и качества визуализации. В рамках этапа «Оснащение» выполняется анализ имеющегося парка оборудования по критериям COCIR [26] и/или стандарту оснащения отделения лучевой диагностики, принятому в регионе (или стране). На этапе мониторинга и онлайн прогнозирования оценивается удовлетворенность и эффективность по результатам оснащения. Внедрение в практику цифрового мониторинга и информационных технологий: радиологических информационных систем, аналитических систем мониторинга эффективности оборудования обеспечивает оперативное реагирование на изменения в видах и динамике ко-

личества исследований, в клинической потребности, в дозовых показателях путем ежегодного пересмотра планирования оснащения с горизонтом не менее 4–5 лет.

Заключение

Разработана методика объективного количественного сравнения рентгеновских аппаратов, применяемых для диагностики органов грудной клетки. Методика, апробированная на 21 рентгеновском аппарате, позволила определить аппарат с оптимальным соотношением показателей обеспечения радиационной безопасности и качества изображения – цифровой рентгенографический аппарат с плоскопанельным детектором. Было проведено сравнение оборудования для лучевой диагностики органов грудной клетки, в том числе цифровых рентгенодиагностических аппаратов со штативом типа U-дуга и флюорографов, использующих различные технологии формирования рентгеновского изображения. Высокое качество изображений на аппаратах типа U-дуга (с плоскопанельным детектором) обеспечивает более точную диагностику, а больший, по сравнению с флюорографами, размер детектора (43 x 43, см x см) уменьшает вероятность обрезки области исследования.

Кроме того, значения эффективной дозы облучения пациентов при рентгенографии органов грудной клетки на цифровом оборудовании соответствуют установленному НРБ 99/2009 годовому ограничению эффективной дозы в 1 мЗв для профилактических исследований, что подтверждает безопасность использования данных аппаратов для рентгенографических профилактических медицинских процедур.

Разработанная в результате исследования методика оценки рентгеновских аппаратов может быть применена при выборе оборудования как для муниципальных, так и для коммерческих организаций.

Таким образом, результаты данного исследования дают готовый инструмент для оптимизации выбора оборудования для лучевой диагностики. Представленная методика описывает как объективные технические параметры оборудования, так и субъективные оценки врачей-рентгенологов, что позволяет описать функциональные возможности аппарата в комплексе. Результат работы найдет применение в систематизации оснащения медицинских организаций, оказывающих первичную медико-санитарную помощь взрослому населению.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Солдатов И.В. – дизайн исследования, поиск публикаций по теме, анализ литературы, проведение измерений, обработка полученных результатов, написание текста;

Водоватов А.В. – дизайн исследования, систематизация и редактирование статьи;

Лантух З.А. – проведение измерений, обработка полученных результатов, систематизация и редактирование статьи;

Соловьёв А.В. – проведение оценки качества изображения, поиск публикаций по теме;

Сморчкова А.К. – проведение оценки качества изображения;

Артюкова З.Р. – проведение оценки качества изображения;

Дружинина П.С. – обработка результатов измерения.

Информация о конфликте интересов

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Сведения об источнике финансирования

Данная статья подготовлена авторским коллективом в рамках НИР «Научное развитие медико-технологических и организационных аспектов обеспечения радиационной безопасности при оказании медицинской помощи», (№ ЕГИСУ: №123031500006-9).

Литература

1. Kim S. Deep Learning in Multi-Class Lung Diseases' Classification on Chest X-ray Images // *Diagnostics* 2022. Vol. 12. P. 915. DOI: 10.3390/diagnostics12040915.
2. Hwa Kieu S.T. A Survey of Deep Learning for Lung Disease Detection on Medical Images: State-of-the-Art, Taxonomy, Issues and Future Directions // *Journal of Imaging*. 2020. Vol. 6. P. 131. DOI: 10.3390/jimaging6120131.
3. Hansell D.M. Fleischner Society: glossary of terms for thoracic imaging // *Radiology*. 2008. Vol. 246, No 3, P. 697–722.
4. Лучевая диагностика органов грудной клетки?: национальное руководство / гл. ред. тома В.Н. Троян, А.И. Шехтер. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2014. 584 с. URL: https://www.geotar.ru/lots/Q0124609.html?ysclid=lw7trupp_hh701709187 (дата обращения: 15.05.2024).
5. Стерликов С.А., Руднев С.Г., Обухова О.В. Медико-экономическая эффективность выявления больных туберкулёзом методом флюорографии с использованием двойного независимого чтения // *Социальные аспекты здоровья населения*. 2013. № 34 (6). С. 13.
6. Алехнович А.В. Ретроспективный анализ доз облучения пациентов при рентгенорадиологических исследованиях в многопрофильных медицинских организациях московского региона // *Госпитальная медицина*. 2023. Т. 6, № 3. С. 50–58.
7. Gogoberidze Y.T. PhthisisBioMed Artificial Medical Intelligence: Software for Automated Analysis of Digital Chest X-ray/Fluorograms // *Modern Technologies in Medicine*. 2023. Vol. 15, No 4. P. 5.
8. Здравоохранение URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/13721> (дата обращения: 15.02.2024).
9. Шахабов И.В., Мельников Ю.Ю., Смышляев А.В. Трендовый анализ деятельности подразделений лучевой диагностики в медицинских организациях, оказывающих помощь в амбулаторных условиях // *Вестник Ивановской медицинской академии*. 2020. Т. 25, № 1. С. 17–19.
10. Васильев Ю.А., Кудрявцев Н.Д., Мухортова А.Н. и др. Показатели деятельности отделений лучевой диагностики Департамента здравоохранения города Москвы в 2016–2022 гг. // *Менеджер здравоохранения*. 2024. № 5. С. 36–48.
11. Власова М.М. Научное обоснование организации службы лучевой диагностики и лучевой терапии в условиях отдельного региона в период реорганизации здравоохранения. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора медицинских наук / С.-Петербург. гос. мед. ун-т им. И.П. Павлова. Санкт-Петербург, 2001. С. 37.
12. Schaefer-Prokop C. Digital chest radiography: An update on modern technology, dose containment and control of image quality // *European Radiology*. 2008. Vol. 18, No 9. P. 1818–1830.
13. Зеликман М.И. Цифровые системы в рентгенодиагностике. М.: ОАО «Издательство «Медицина», 2007. 208 с.:ил.
14. Леонов Б.И., Козловский Э.Б., Блинов Н.Н. Сравнительная характеристика отечественных цифровых флюорографов // *Конъюнктура и исследования*. 2005. С. 75–77.

15. Бехтерев А.В., Лабусов В.А., Путьмаков А.Н., Строков И.И. О флюорографии, цифровой рентгенографии, скрининге и эффективности // Журнал Поликлиника. 2019. Т. 18, № 9. С. 1818-1830.
16. Постников В.М. Анализ подходов к формированию состава экспертной группы, ориентированной на подготовку и принятие решений / Наука и образование. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2012. № 5.
17. Дружинина Ю.В., Лантух З.А., Толкачев К.В. и др. Референтные диагностические уровни при проведении рентгенографических исследований в г. Москве // Радиационная гигиена. 2024. Т. 17, № 3. С. 103-113. DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-3-103-113.
18. Гуржиев А.Н. Что интересует рентгенолога в цифровой флюорографии? // Радиология и практика. 2002. Т. 4, № 1. С. 53-57.
19. Бехтерев А.В., Лабусов В.А., Лохтин Р.А. и др. Поиск объективных критериев качества цифровых рентгеновских изображений для оптимизации режимов их регистрации по отношению качество/доза // Российский электронный журнал лучевой диагностики. 2019. Т. 9, № 1. С. 160-176. DOI: 10.21569/22227415201991160176. - EDN IRYPV.
20. Камышанская И.Г., Черемисин В.М., Водоватов А.В., Борискина А.Н. Результаты клинической апробации низкодозовых протоколов проведения цифровой линейной томографии органов грудной клетки // Радиационная гигиена. 2020. Т. 13, № 1. С. 47-59. DOI: 10.21514/1998-426X-2020-13-1-47-59.
21. Kulberg N.S., Reshetnikov R.V., Novik V.P. Elizarov A.B. Вариативность заключений при интерпретации КТ-снимков: один за всех и все за одного // Digital Diagnostics. 2021. Т. 2, № 2. С. 105-118.
22. Sun Z. Optimization of chest radiographic imaging parameters: A comparison of image quality and entrance skin dose for digital chest radiography systems // Clinical Imaging. 2012. Vol. 36, No 4. P. 279-286.
23. Blanc D. European guidelines on quality criteria for diagnostic images // Radioprotection. 1998. Vol. 32, No 1. P. 73-74.
24. Kroft L.J.M. Comparison of eight different digital chest radiography systems: Variation in detection of simulated chest disease // American Journal of Roentgenology. 2005. Vol. 185, No 2. P. 339-346.
25. Busch H.P. Image quality and dose management in digital radiography: a new paradigm for optimisation // Radiation Protection Dosimetry. 2005. Vol. 117, No 1-3. P. 143-147.
26. COCIR Medical Imaging Equipment Age Profile & Density 2021. URL: https://www.cocir.org/fileadmin/Publications_2021/COCIR_Medical_Imaging_Equipment_Age_Profile_Density_-_2021_Edition.pdf (дата обращения: 15.02.2024).

Поступила: 11.02.2025

Солдатов Илья Владимирович – начальник испытательной лаборатории, Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы. **Адрес для переписки:** 127051, Россия, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1; E-mail: SoldatovIV2@zdrav.mos.ru
ORCID: 0000-0002-4867-0746

Водоватов Александр Валерьевич – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией радиационной гигиены медицинских организаций, 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
ORCID: 0000-0002-5191-7535

Лантух Зоя Александровна – начальник отдела дозиметрического контроля и медицинской физики, Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия
ORCID: 0000-0001-6623-9610

Соловьёв Александр Владимирович – младший научный сотрудник отдела стандартизации и контроля качества, Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы; врач-рентгенолог, Морозовская детская городская клиническая больница Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия
ORCID: 0000-0003-4485-2638

Сморчкова Анастасия Кирилловна – младший научный сотрудник отдела стандартизации и контроля качества, врач-рентгенолог отдела сопровождения проектов по внедрению технологий искусственного интеллекта, Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия
ORCID: 0000-0002-9766-3390

Артюкова Злата Романовна – младший научный сотрудник отдела стандартизации и контроля качества, врач-рентгенолог отдела сопровождения проектов по внедрению технологий искусственного интеллекта, Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия
ORCID: 0000-0003-2960-9787

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

Для цитирования: Солдатов И.В., Водоватов А.В., Лантух З.А., Соловьёв А.В., Сморгчкова А.К., Артюкова З.Р., Дружинина П.С. Выбор оборудования для флюорографии и рентгенографии органов грудной клетки на основе оценки качества изображения и уровней облучения пациентов // Радиационная гигиена. 2025. Т. 18, № 2. С. 66–76. DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-2-66-76

Selection of equipment for fluorography and chest radiography based on assessment of image quality and patient exposure levels

Ilya V. Soldatov¹, Aleksandr V. Vodovotov², Zoya A. Lantukh¹, Alexander V. Solovev^{1,3}, Anastasia K. Smorchkova¹, Zlata R. Artyukova¹, Polina S. Druzhinina²

¹ Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Healthcare Department, Moscow, Russia

² 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

³ Morozovskaya Children's City Clinical Hospital, Moscow, Russia

Modern radiation diagnostics, due to its rapid development and improvement of the methods and technologies used, requires constant monitoring, including in the context of patient irradiation levels. The choice of appropriate X-ray diagnostic equipment is one of the key aspects of ensuring radiation protection. Materials and Methods: The study analyzed X-ray diagnostic machines and digital fluorographs with different imaging technologies (detector types), using the example of lung surveys. The evaluation of the machines was carried out using a specially developed 5-point scale in relation to key parameters of quality and safety. Results and Discussion: The results of the study show that digital X-ray diagnostic machines with a U-arc stand and digital X-ray machines with a flat panel detector demonstrate higher image quality compared to other technologies at relatively low levels of patient irradiation. An additional advantage of such devices for city clinics, compared to "classic" fluorographs, is their versatility and the ability to conduct various X-ray examinations (not only lung examinations), which ensures the interchangeability of devices and the effective redirection of the patient flow during the repair of the device. Conclusion: The results of the study emphasize the importance of choosing the appropriate X-ray equipment to ensure high quality diagnostics and patient protection, taking into account the profile of the organization's medical care.

Key words: chest X-ray devices, fluorography, image quality, effective dose of patients.

Authors' personal contribution

Ilya V. Soldatov – research design development, search for relevant publications, literature analysis, data processing, writing;

Aleksandr V. Vodovotov – research design development, systematization and editing of the review;

Zoya A. Lantukh – data processing, systematization and final editing of the review;

Alexander V. Solovev – image quality assessment, search for relevant publications;

Anastasia K. Smorchkova – image quality assessment;

Zlata R. Artyukova – image quality assessment;

Polina S. Druzhinina – data processing.

Conflict of interests

Authors declare the absence of conflict of interest.

Sources of funding

This paper was prepared by a group of authors as a part of the research and development effort titled "Scientific advances in medical, technological and organizational aspects of radiation safety in health care" (USIS No: №123031500006-9).

References

- Kim S, Rim B, Choi S, Lee A, Min S, Hong M. Deep Learning in Multi-Class Lung Diseases' Classification on Chest X-ray Images. *Diagnostics*. 2022;12(4): 915.
- Hwa Kieu ST, Bade A, Ahmad Hijazi MH, Kolivand H. A Survey of Deep Learning for Lung Disease Detection on Medical Images: State-of-the-Art, Taxonomy, Issues and Future Directions. *Journal of Imaging*. 2020;6(12): 131.
- Hansell DM, Bankier AA, MacMahon H, McLoud TC, Müller NL, Remy J. Fleischner Society: glossary of terms for thoracic imaging. *Radiology*. 2008;246(3): 697–722.
- Troyan VN. Radiation diagnostics of the chest organs: National guidelines for radiodiagnosis and therapy. Moscow: GEOTAR-Media; 2014. Available from: <https://www.geotar.ru/lots/Q0124609.html> [Accessed May 15, 2024] (In Russian).
- Sterlikov SA, Rudnev SG, Obukhova OV. Medical and cost-effectiveness of TB detection by fluorography using double reading of chest films. *Sotsialnye aspekty zdorovya naseleniya = Social aspects of public health*. 2013;34(6): 13.
- Alekhnovich AV, Druzhinina YuV, Lantukh ZA, Dmitrashchenko AA, Belyakin SA. Associated diseases of the liver and cardiovascular system. *Gospitalnaya meditsina = Hospital medicine*. 2023;6(3): 50–58.
- Gogoberidze YT, Klassen VI, Natenson MY, Prosvirkin IA, Vladimirov AV, Sharova DE, et al. PhthisisBioMed Artificial Medical Intelligence: Software for Automated Analysis of Digital Chest X-ray/Fluorograms. *Modern Technologies in Medicine*. 2023;15(4): 5.
- Health care. Available from: <https://rosstat.gov.ru/folder/13721> [Accessed May 15, 2024].
- Shakhabov IV, Melnikov YU, Smyshlayev AM. Trend analysis of radiological diagnosis units activity in out-patient medical facilities. *Vestnik Ivanovskoy meditsinskoy akademii = Vestnik of the Ivanovo Medical Academy*. 2020;25(1): 17–19.
- Vasilev YuA, Kudryavtsev ND, Mukhortova AN, Soldatov IV, Vladymyrsky AV. Operation results of radiology departments of the Moscow Health Care Department in 2016–2022. *Menedzher zdravookhraneniya = Health care manager*. 2024;5: 36–48. DOI: 10.21045/1811-0185-2024-5-36-48.
- Vlasova MM. Scientific substantiation of the organization of the service of radiation diagnostics and radiation therapy in the conditions of a separate region during the reorganization of health care. Doct. Diss. St. Petersburg; 2001. 37 p.

Ilya V. Soldatov

Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Healthcare Department

Address for correspondence: Petrovka Str. 24, p. 1. bldg. 1, Moscow, 127051, Russia; E-mail: SoldatovIV2@zdrav.mos.ru

12. Schaefer-Prokop C, Neitzel U, Venema HW, Uffmann M, Prokop M. Digital chest radiography: An update on modern technology, dose containment and control of image quality. *European Radiology*. 2008;18(9): 1818–1830.
13. Zelikman MI. Digital systems in medical X-ray diagnostics: monograph. Moscow: Medicine; 2007.
14. Leonov BI, Blinov NN, Kozlovsky EB, Gurchiev AN. Comparative Characteristics of Domestic Digital Photofluorographs. Business environment and research; 2005. P. 75–77.
15. Bekhterev AV, Labusov VA, Pulmakov AN, Stokov II. Radiologic Diagnostic Methods in Lung Cancer Screening: Literature Review. *Zhurnal Poliklinika = Polyclinic Magazine*. 2019;18(9): 1818–1830.
16. Postnikov VM. Analysis of approaches to forming the composition of an expert group focused on preparation and decision-making. Science and education. Moscow: Bauman Moscow State Technical University; 2012. No 5.
17. Druzhinina YuV, Lantukh ZA, Tolkachev KV, Soldatov IV, Shatenok MP, Vodovotov AV, et al. Diagnostic reference levels for the city of Moscow during X-ray examinations. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2024;17(3): 103–113. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-3-103-113.
18. Gurchiev AN. What interests a radiologist in digital fluorography? *Radiologiya i praktika = Radiology and Practice*. 2002;4(1): 53–57.
19. Bekhterev AV, Labusov VA, Iokhtin RA, Pyanov DA, Stokov II, Khramov MS. Search for objective quality criteria for digital x-ray images to optimize their acquisition modes in terms of the quality/dose ratio. *Rossiyskiy elektronnyy zhurnal luchevoj diagnostiki = Russian electronic journal of radiology*. 2019; 9(1): 160–176. DOI: 10.21569/2227415201991160176.
20. Kamyshanskaya IG, Cheremisin VM, Vodovotov AV, Boriskina AN. Results of the clinical evaluation of the low-dose protocols of the digital linear tomography of the chest. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2020;13(1): 47–59. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2020-13-1-47-59.
21. Kulberg NS, Reshetnikov RV, Novik VP, Elizarov AB, Gusev MA, Gombolevisky VA, et al. Inter-observer variability between readers of CT images: all for one and one for all. *Digital Diagnostics*. 2021;2(2): 105–118.
22. Sun Z, Lin C, Tyan YS, Ng KH. Optimization of chest radiographic imaging parameters: A comparison of image quality and entrance skin dose for digital chest radiography systems. *Clinical Imaging*. 2012;36(4): 279–286.
23. Blanc D. European guidelines on quality criteria for diagnostic images. *Radioprotection*. 1998;32(1): 73–74.
24. Kroft LJM, Veldkamp WJH, Mertens BJA, Boot MV, Geleijns J. Comparison of eight different digital chest radiography systems: Variation in detection of simulated chest disease. *American Journal of Roentgenology*. 2005; 185(2): 339–346.
25. Busch HP, Faulkner K. Image quality and dose management in digital radiography: a new paradigm for optimisation. *Radiation Protection Dosimetry*. 2005;117(1–3): 143–147.
26. COCIR Medical Imaging Equipment Age Profile & Density 2021 Available from: https://www.cocir.org/fileadmin/Publications_2021/COCIR_Medical_Imaging_Equipment_Age_Profile_Density_-_2021_Edition.pdf [Accessed February 15, 2024].

Received: February 11, 2025

Ilya V. Soldatov – Head of Laboratory, Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Department of Health, (Petrovka Str. 24, p. 1. bldg. 1, Moscow, 127051, Russia; E-mail: SoldatovIV2@zdrav.mos.ru) ORCID: 0000-0002-4867-0746

Aleksandr V. Vodovotov – Candidate of Biological Sciences, Head of Laboratory, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; Docent, Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia ORCID: 0000-0002-5191-7535

For correspondence: Zoya A. Lantukh – Head of the Department of Dosimetry and Medical Physics, Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Department of Health ORCID: 0000-0001-6623-9610

Alexander V. Solovev – Junior Researcher of the Department of Standardization and Quality Control, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department; Radiologist, Morozovskaya Children's City Clinical Hospital, Moscow, Russia ORCID: 0000-0003-4485-2638

Anastasia K. Smorchkova – Junior Researcher of the Department of Standardization and Quality Control, Radiologist of Department of Project Support for the implementation of artificial Intelligence technologies, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow, Russia ORCID: 0000-0002-9766-3390

Zlata R. Artyukova – Junior Researcher of the Department of Standardization and Quality Control, Radiologist of Department of Project Support for the implementation of artificial Intelligence technologies, Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies of the Moscow Health Care Department, Moscow, Russia ORCID: 0000-0003-2960-9787

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

For citation: Soldatov I.V., Vodovotov A.V., Lantukh Z.A., Solovev A.V., Smorchkova A.K., Artyukova Z.R., Druzhinina P.S. Selection of equipment for fluorography and chest radiography based on assessment of image quality and patient exposure levels. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2025. Vol. 18, No. 2. P. 66–76. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-2-66-76