

**С.Е. Охрименко¹, И.П. Коренков², Н.А. Аكوпова¹, С.А. Рыжкин³,
С.И. Иванов¹**

ОПТИМИЗАЦИЯ ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РЕНТГЕНОДИАГНОСТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

S.E. Okhrimenko¹, I.P. Korenkov², N.A. Akopova¹, S.A. Ryzhkin³, S.I. Ivanov¹
Patient Dose Optimization during X-Ray Investigation

РЕФЕРАТ

ABSTRACT

Цель: Оценка технического состояния парка рентгенодиагностических аппаратов (РДА) Москвы, установление зависимости уровней облучения пациентов от технического состояния РДА.

Материалы и методы: Радиационный контроль физико-технических (эксплуатационных) параметров РДА, оценка доз облучения пациентов за счет рентгенодиагностических исследований.

Результаты: Приведены материалы оценки технического состояния рентгенодиагностического парка г. Москвы, оценка дозовых нагрузок пациентов за 1998–2013 гг. Установлена зависимость доз облучения пациентов от технического состояния РДА. Установлено, что доза облучения пациентов должна оцениваться в каждом случае, а применение усреднённых (табличных) значений приводит к существенным искажениям при оценке дозовой нагрузки. Одним из главных аспектов обеспечения радиационной безопасности пациентов является реализация принципа оптимизации: максимально возможное снижение доз облучения пациентов при сохранении надлежащего качества диагностической информации. Решающую роль в реализации настоящей задачи играет понимание персоналом необходимости снижения доз облучения пациентов, влияния технического состояния оборудования на лучевую нагрузку и внедрение представленных в статье подходов в повседневную практику.

Выводы: Анализ полученных результатов показывает, что доза облучения пациентов с 1998 по 2013 гг. уменьшилась более чем в 2,5 раза. Снижение лучевой нагрузки связано с выводом из эксплуатации РДА, не отвечающих требованиям действующих нормативных документов, внедрением цифровых технологий, введением контроля доз облучения пациентов при проведении рентгенологических процедур.

Ключевые слова: рентгеновское излучение, пациенты, эффективные дозы облучения, радиационно-гигиенический паспорт, рентгеноскопия, рентгенография, компьютерная томография

Purpose: To estimate the technical condition of the X-ray machine park in Moscow, according to the establishment of patient exposure levels from the technical condition.

Material and methods: Radiation monitoring of physical and technical parameters of X-ray machines, patient dose assessment due to X-ray studies.

Results: The evaluation of the technical condition of x-ray park of Moscow, the assessment of radiation exposure of patients for 1998–2013 is given. The dependence of radiation doses of patients from the technical condition of the X-ray diagnostic apparatus was estimated. It is established that the patient radiation dose should be evaluated in each case, and the use of averaged (tabular) values leads to significant distortions during the assessing radiation exposure. One of the main aspects of ensuring radiation safety of patients is the implementation of the principle of optimization: the maximum possible decrease in exposure to patients while maintaining appropriate quality diagnostic information. The crucial thing in the implementation of this task is played by the staff understanding the need to reduce the radiation doses of patients, the influence of the technical condition of the equipment at the radiation exposure and the implementation presented in the paper approaches into everyday practice.

Summary: Analysis of the results shows that the dose of irradiation of patients from 1998 to 2013 decreased by more than 2.5 times. Reduced radiation exposure associated with the decommissioning of the X-ray machines that do not meet the requirements of the applicable regulations, the introduction of digital technology, the introduction of patient dose monitoring during radiological procedures.

Key words: X-ray radiation, patients, effective radiation doses, radiation-hygienic passport, fluoroscopy, radiography, CT scan

Введение

Одним из основных факторов облучения населения является медицинское облучение и, прежде всего, рентгенодиагностические процедуры [1]. Ежегодно в Москве выполняется до 6 млн рентгенологических исследований, доля облучения в структуре дозовой нагрузки достигала 30–50 % годовой дозы облучения населения, а средняя индивидуальная доза составляла по данным [2] 1,2–1,5 мЗв, а в Москве 1,8 мЗв [3].

Основными факторами, формирующими лучевую нагрузку пациентов, являются физико-технические параметры выполняемого исследования (техническое

состояние) рентгеновского аппарата, его соответствие действующим стандартам, санитарно-эпидемиологическим требованиям, соблюдение оптимальных режимов, максимально возможная защита пациентов при проведении исследований.

Материалы и методы

Рассмотрены результаты радиационного контроля технических (эксплуатационных) параметров (ЭП) рентгенодиагностических аппаратов (РДА), а также контроля доз облучения пациентов при рентгенодиагностических исследованиях. Контроль ЭП осуществ-

¹ Российская медицинская академия последипломного образования, Москва. E-mail: ooniii@mail.ru

² Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва

³ Казанский федеральный университет, Казань

¹ Russian Medical Academy of Postgraduate Education, Moscow, Russia. E-mail: ooniii@mail.ru

² A.I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of FMBA, Moscow, Russia.

³ Kazan Federal University, Kazan, Russia

влялся с применением специализированного клинического дозиметра Nomex производства РТW (Германия), позволяющего неинвазивным способом осуществлять комплексное тестирование параметров рентгеновского аппарата, путём измерения таких характеристик, как напряжение (U), время (t), количество электричества (мАс), линейность и повторяемость характеристик, радиационный выход, доза облучения пациента и др. Целью исследований являлось определение возможности эксплуатации РДА и проведения оптимизации режимов исследований. Данная работа легла в основу методологии гигиенической экспертизы рентгеновских аппаратов в Российской Федерации [4, 5]. Для определения доз облучения пациентов применялся дозиметр рентгеновского излучения клинический ДРК-1 производства ООО НПП «Доза», который был использован нами также для выявления неисправных РДА в соответствии со специально разработанной инструкцией [6].

Результаты и обсуждение

Первые в России работы по гигиенической оценке параметров РДА и их соответствия действующим стандартам и санитарно-эпидемиологическим требованиям проведены санитарной службой Москвы и кафедрой радиационной гигиены РМАПО с применением клинического дозиметра Nomex ещё в 1998 г. Регулярные исследования ЭП на территории Москвы проводятся с 1999 г. Нами установлено, что на начальном этапе исследования 32,8 % рентгеновских аппаратов не соответствовали нормативным требованиям [7, 8]. Такие аппараты выводились из эксплуатации, если ремонтные работы не устраняли выявленных нарушений ЭП. Примеры несоответствий ЭП аппаратов требованиям нормативных документов приведены в табл. 1.

Около 30 % из впервые выявленных с отклонениями ЭП аппаратов не удалось привести в полное соответствие с действующими нормативными требованиями и после проведения ремонтных работ. В этом случае, такие РДА, если позволяли результаты экспертизы, временно эксплуатировались с теми или иными ограничениями до замены. На них запрещалось проведение определённых рентгеноскопических исследований в связи с низкой разрешающей способностью

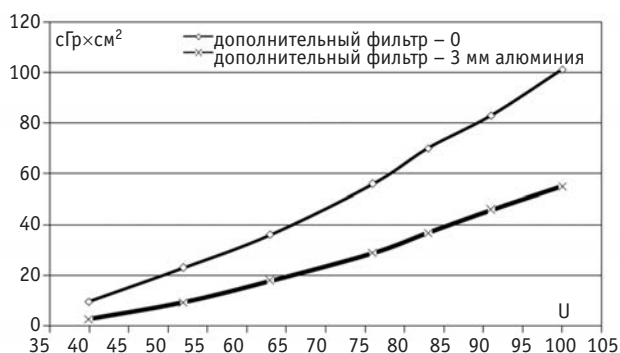


Рис. 1. Эталонная зависимость показателя сГр×см² от напряжения (U) и дополнительной фильтрации при штатной работе РДА

Таблица 1

Примеры выявляемых неисправностей РДА, явившихся причинами снятия их с эксплуатации

Наименование РДА	Виды выявленных отклонений
РУМ-20	Не соответствует требованиям по уставкам значений длительности экспозиции, напряжения, совпадению полей оптического и рентгеновского полей облучения.
HYRALUX	Не соответствует требованиям по линейности дозы при заданном анодном напряжении от уставок времени, невозможность устранения выявленных отклонений.
РУМ-17	Отсутствует индикация комбинированного фильтра, неисправна блокировка двери, невозможность устранения выявленных отклонений.
9Л5	Не соответствие требованиям по длительности экспозиции, анодному напряжению, совпадению светового и радиационного полей, пробой изоляции на корпус, невозможность устранения выявленных отклонений.

электронно-оптического преобразователя (ЭОП), вводились ограничения на использование уставок анодного тока и напряжения и т.д. Таким образом, сокращался перечень разрешенных исследований, что указывалось в санитарно-эпидемиологическом заключении на РДА, оформление которого было обязательно в соответствии с действовавшим в то время законодательством.

В рамках настоящей работы проведены исследования с применением клинического дозиметра ДРК-1 по установлению связи между дозой облучения пациентов, техническим состоянием аппарата и режимами работы. Установлены эталонные зависимости показаний прибора ДРК-1 (произведение дозы на площадь сГр×см²) и значений ЭП при штатных режимах работы РДА (рис. 1, 2).

Примеры отклонений физико-технических или эксплуатационных параметров аппаратов, таких как количество электричества (мАс), напряжение (U), экспозиция (t), и их влияния на показатель произведения дозы на площадь и, соответственно, дозу облучения (лучевую нагрузку) пациента приведены на рис. 3, 4 [6].

Как видно из данных графиков, у РДА с отклонениями физико-технических параметров наблюдается увеличение доз облучения пациентов и ухудшение

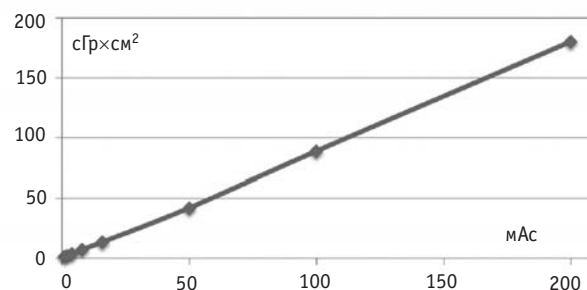


Рис. 2. Эталонная зависимость показателя сГр×см² от количества электричества (мАс) при штатной работе РДА

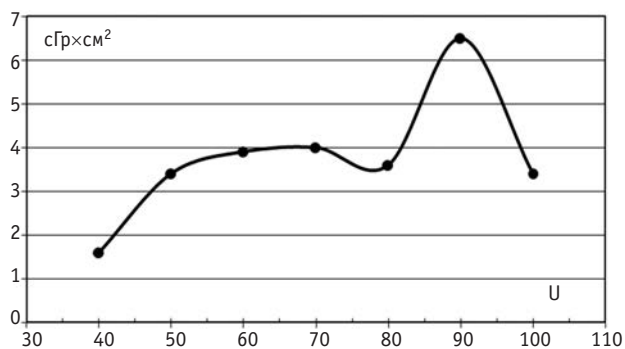


Рис. 3. Пример отклонения зависимости $\text{сГр}\times\text{см}^2$ от напряжения (U) при нарушении штатных режимов работы РДА

качества получаемого изображения. Выявление таких отклонений требовало проведения углублённой экспертизы с применением клинического дозиметра Nотех и принятием решения по результатам экспертизы о возможности или невозможности дальнейшей эксплуатации РДА.

За 2000–2004 гг. было выявлено 256 РДА, подлежащих выводу из эксплуатации, 154 из которых по результатам контроля доз облучения пациентов с помощью дозиметра ДРК-1, для чего нами была разработана соответствующая инструкция. Этим прибором в 2000 г. были оснащены отделы радиационной гигиены центров Госсанэпиднадзора во всех административных округах Москвы, что позволило ускорить выполнение работ по выявлению неисправных РДА, подлежащих замене. Благодаря проведённой работе по приведению РДА в соответствие с нормативными требованиями и по их замене, количество выявляемых аппаратов, не отвечающих требованиям санитарных правил, снизилось до 10 %. На основании результатов настоящей работы требования по контролю эксплуатационных параметров были впервые введены в СанПиН 2.6.1.802-99, а затем и СанПиН 2.6.1.1192-03 (приложение 10) [4, 5].

Вторым направлением наших исследований являлась оценка эффективных доз облучения пациентов. Эти работы проводились нами на протяжении 15 лет и

Таблица 2

Характерные дозы облучения пациентов для отдельных рентгенологических процедур

Виды исследований	Доза, мЗв
Рентгеноскопические исследования (взрослые)	
Лёгкие и органы средостения	1,3–2,1
Желудок	0,6–1,7
12-перстная кишка	2,6–4,2
Рентгенографические исследования	
Шейный отдел позвоночника (взрослые)	0,005–1,0
Шейный отдел позвоночника (дети)	0,056–0,002
Грудной отдел позвоночника (взрослые)	0,1–0,6
Флюорография цифровая	0,1–0,15
Органы грудной клетки (взрослые)	0,006–1,0
Органы грудной клетки (дети)	0,01–0,3
Поясничный отдел позвоночника (взрослые)	0,2–2,5
Грудопоясничный отдел (дети)	0,7–1,1
Рентгенография черепа (взрослые)	0,007–0,16
Рентгенография черепа (дети)	0,01–0,02

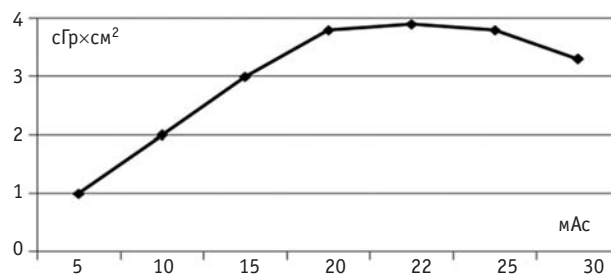


Рис. 4. Пример отклонения зависимости $\text{сГр}\times\text{см}^2$ от количества электричества (мАс) при нарушении штатных режимов работы РДА

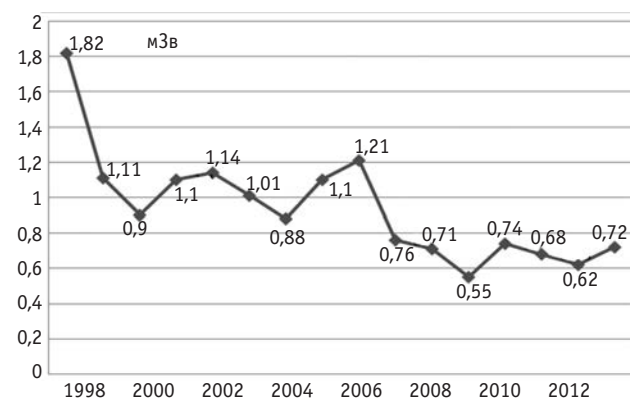


Рис. 5. Динамика средних индивидуальных доз медицинского облучения населения г. Москвы за 1998–2013 гг. (без компьютерной томографии)

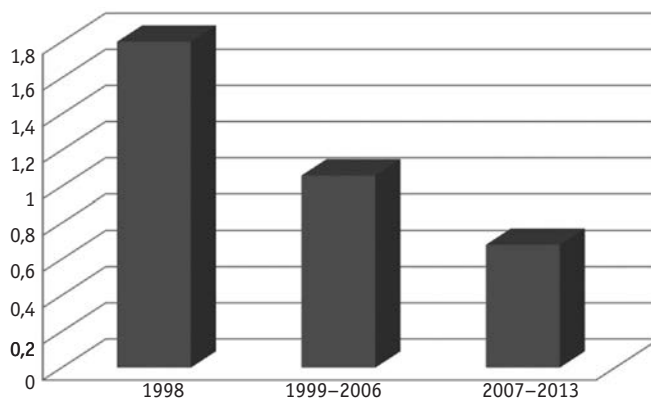


Рис. 6. Динамика средних индивидуальных доз медицинского облучения населения Москвы по периодам, без компьютерной томографии, мЗв/год

все результаты оформлялись в формах государственной статистической отчетности № 3-ДОЗ и в радиационно-гигиеническом паспорте (РГП) территории г. Москвы [3, 9]. Пример доз облучения в зависимости от вида процедур и типа исследований приведен в табл. 2 [9].

Наибольшие дозы облучения отмечаются при рентгеноскопических исследованиях (12-перстная кишка, органы грудной клетки). Кроме того, показано, что использование стандартных таблиц доз не даёт объективной картины, и для правильного учёта доз необходимо

В 2013 г. в РФ выполнено почти 260 млн рентгенорадиологических процедур

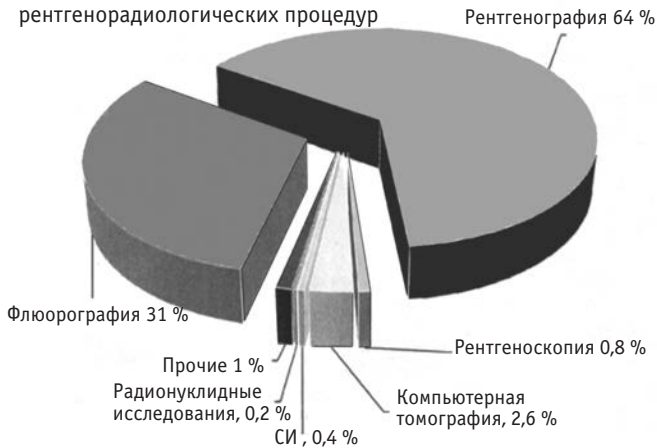


Рис. 7. Доля компьютерной томографии в структуре рентгеновских диагностических исследований

использовать измеренные значения радиационного выхода или произведения дозы на площадь [9].

Анализ данных РГП по дозам облучения за 1998–2013 гг. показывает, что введение технологий по контролю качества РДА и лучевой нагрузки на пациентов обеспечило существенное снижение доз облучения. Динамика средних индивидуальных доз облучения (без учета доз от РКТ) пациентов за счет оптимизации проведения рентгенодиагностических исследований приведены на рис. 5, 6.

По данным [10], значение годовой дозы при рентгеновской компьютерной томографии (РКТ) составляет в среднем 3,48 мЗв (в некоторых случаях доза облучения может достигать 10 мЗв за 1 процедуру). Причем, несмотря на сравнительно небольшой общий объем КТ-исследований (рис. 7), вклад РКТ в коллективную дозу облучения пациентов достигает 35 %. Следовательно, при увеличении количества РКТ-исследований следует ожидать рост лучевых нагрузок на пациентов.

Снижение средних индивидуальных доз медицинского облучения в указанные периоды объясняется выводением из эксплуатации аппаратов, не отвечающих санитарно-эпидемиологическим требованиям, внедрением контроля качества проведения рентгенодиагностических исследований, внедрением цифровых технологий и методов оценки доз облучения.

Важную роль в оптимизации лучевых нагрузок пациентов играет осознание рентгенологами актуальности этого вопроса, чему способствовало внедрение современных методов контроля эксплуатационных параметров РДА и установление зависимости лучевых нагрузок на пациентов от технического состояния аппаратов.

Выводы

1. На основании проведенных исследований установлено, что около 30 % РДА не соответствовали требованиям санитарных правил. Данные аппараты выведены из эксплуатации.

2. Проведена оценка эффективных доз облучения пациентов при рентгенодиагностических исследованиях, показана динамика доз с 1998 по 2013 гг. Дозы облучения пациентов за этот период снижены более чем в 2 раза. Снижение уровней облучения пациентов связано с выводением из эксплуатации РДА, не отвечающих требованиям нормативных документов, контролем эксплуатационных параметров, внедрением цифровых технологий и методов измерения доз облучения.

3. Прогнозирован рост коллективной дозы облучения пациентов за счет увеличения РКТ-исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. НКДАР ООН, 2012. Источники и эффекты ионизирующего излучения. Доклад Научного комитета ООН по действию атомной радиации 2000 г. Генеральной Ассамблеи с научными приложениями. Пер. с англ. — Нью-Йорк. 2012. 756 с.
2. Ставицкий Р.В., Блинов Н.Н., Рабкин И.Х., Лебедев Л.А. Радиационная защита в медицинской рентгенологии. — М.: «Кабур». 1994. 272 с.
3. Радиационно-гигиенический паспорт территории г. Москвы за 1998. — М. 1999. 6 с.
4. Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований. СанПиН 2.6.1.802-99.
5. Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований. СанПиН 2.6.1 1192-03.
6. Воронин К.В., Охрименко С.Е., Никитина М.Н. Измерение произведения дозы на площадь как метод контроля параметров рентгеновского аппарата и оптимизации доз облучения пациентов // АНРИ. 2000. № 4. С. 65–69.
7. Охрименко С.Е., Воронин К.В., Иванов С.И., Аكوпова Н.А. Обеспечение радиационной безопасности в рентгенодиагностике с применением новых технологий // Здоровоохранение и мед. техника. 2004. № 4. С. 36–37.
8. Охрименко С.Е., Иванов С.И., Лазаренко В.Н. и соавт. Использование эксплуатационных параметров рентгеновских аппаратов в качестве критериев для принятия решения о продлении срока их эксплуатации // Вестник С.-Пб. гос. мед. академии им. И.И. Сеченова. 2002. № 3. С. 56–59.
9. Охрименко С.Е., Воронин К.В., Иванов С.И. Эффективные дозы пациентов, полученные на основе измерений ДРК-1 в ЛПУ г. Москвы // АНРИ. 2003. № 1. С. 39–43.
10. Романович И. К. Актуальные задачи радиационной гигиены в свете итогов ФЦП ЯРБ // Российская научная конференция «Радиационная защита и радиационная безопасность в ядерных технологиях». — М. 2015. С. 30–38.

Поступила: 13.05.2016

Принята к публикации: 18.05.2016