

**Рыжкин Сергей Александрович**

**ОПТИМИЗАЦИЯ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА  
ПАЦИЕНТОВ И МЕДИЦИНСКИЙ ПЕРСОНАЛ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ  
РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕДУР  
(на примере Республики Татарстан)**

14.01.13 – Лучевая диагностика, лучевая терапия  
14.02.03 – Общественное здоровье и здравоохранение

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора медицинских наук

Работа выполнена в Казанской государственной медицинской академии – филиале федерального государственного бюджетного образовательного учреждения дополнительного профессионального образования «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации (КГМА – филиал ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России).

**Научные консультанты:**

Михайлов Марс Константинович, доктор медицинских наук, профессор;  
Хасанов Рустем Шамильевич, член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук, профессор.

**Официальные оппоненты:**

**Васильев Александр Юрьевич**, доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН, ФГБОУ ВО «Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова» Минздрава России, профессор кафедры лучевой диагностики.

**Калининская Алефтина Александровна**, доктор медицинских наук, профессор, ФГБУ «Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения» Минздрава России, главный научный сотрудник отделения медико-социальных проблем.

**Шахов Борис Евгеньевич**, доктор медицинских наук, профессор, ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Минздрава России, заведующий кафедрой лучевой диагностики, интервенционной и сердечно-сосудистой хирургии ФДПО.

**Ведущая организация:** федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-медицинская академия имени С.М.Кирова» Министерства обороны Российской Федерации.

Защита диссертации состоится «11» декабря 2019 г. в 10 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 208.071.05 на базе ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России по адресу: 125993, г. Москва, ул. Баррикадная, д. 2/1, стр. 1 e-mail: rmaro@rmaro.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке федерального государственного бюджетного образовательного учреждения дополнительного профессионального образования «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации по адресу: 125445, г. Москва, ул. Беломорская, д. 19/38 и на сайте: <https://rmaro.ru/>.

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 года

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Самсонова Любовь Николаевна

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность темы исследования**

К одному из наиболее интенсивно развивающихся направлений современного здравоохранения относится служба лучевой диагностики, отличительные особенности которой заключаются в высокой степени технологичности, внедрении цифрового оборудования и информационных ресурсов для хранения и передачи диагностических изображений, широком применении томографических технологий с высокой разрешающей способностью, активном поиске новых методик раннего и своевременного выявления заболеваний, интенсивном развитии рентгенохирургических методов визуализации и лечения [Тюрин И. Е., 2017]. В начале 2000-х годов многие специалисты отмечали, что материально-техническое состояние службы лучевой диагностики находилось в неудовлетворительном состоянии, в структуре преобладали малоинформативные исследования (рентгенография, флюорография, рентгеноскопия) [Рожкова Н.И., Кочетова Г.П., 2007; Вишнякова Н.М., Кальницкий С.А., 2010]. Начиная с 2006 года, в результате технического переоснащения службы лучевой диагностики происходит рост числа медицинских организаций, использующих источники ионизирующего излучения (ИИИ), и увеличение количества рентгенологических исследований.

Модернизация службы лучевой диагностики сопровождается изменениями уровней лучевых нагрузок на пациентов и медицинский персонал, что по причине высокой биологической активности ионизирующих излучений может привести к неблагоприятным последствиям для здоровья населения [BEIR VII]. Помимо весомого вклада в общую структуру облучения населения медицинские источники характеризуются высокой мощностью дозы. Они используются при диагностике заболеваний пациентов, организм которых ослаблен, детей, лиц детородного возраста [Ставицкий Р.В., 2003]. Поэтому в нормальных, неаварийных условиях медицинское облучение по биологическому действию реально превосходит все остальные виды радиационного воздействия вместе взятые [UNSCEAR, 2000].

Таким образом, в последние годы в практике здравоохранения существует проблема обеспечения низких безопасных уровней доз облучения и снижения числа облучаемых лиц (пациентов и медицинского персонала) при использовании электромагнитного (рентгеновского) излучения для диагностики патологических состояний органов и систем человека.

В этой связи актуальной задачей является оценка степени влияния произошедших за последние десятилетия изменений в материально-техническом оснащении службы лучевой диагностики и структуре рентгенологической работы на состояние здоровья, а также на уровни лучевых нагрузок населения.

### **Степень разработанности проблемы**

В настоящее время, когда отмечается значительный рост неблагоприятных факторов окружающей среды, использование ионизирующего (рентгеновского) излучения в медицинской рентгенологии должно осуществляться в мак-

симально эффективной и безопасной степени. Основой для принятия управленческих решений по применению методов лучевой диагностики является проверка соответствия принципам нормирования, обоснования и оптимизации, установленных рекомендациями Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ) и требованиями Федерального закона «О радиационной безопасности населения» №3-ФЗ от 9 января 1996 года. Считается, что необходимым условием концепций, используемых в радиационной защите в диапазоне малых доз, и, особенно, концепции эффективной дозы, является линейность зависимости доза – неблагоприятный эффект и аддитивность доз. Однако в последние годы появляется все большее количество работ, свидетельствующих о нелинейном характере биологического ответа в области малых доз ионизирующего излучения [Жижина Г.П., 2011; Васильев С.А. и др., 2012]. В этой связи существует потребность в разработке новых научно обоснованных подходов для изучения влияния рентгеновского излучения на биологические объекты и оценки радиационного риска в целях обеспечения безопасности пациентов, медицинского персонала при использовании малых доз радиации.

На этом фоне отмечается недостаточная информированность врачей, практикующих в лучевой диагностике, по вопросам воздействия ионизирующих излучений на организм человека [Наркевич Б.Я., Долгушин Б.И., 2013; Лебедев Н.И., Осипов М.В., Фомин Е.П., 2014; Brenner D.J., Elliston C.D., 2004]. Немаловажную роль в регулировании воздействия радиации на население должен играть человеческий фактор, а именно повышение компетентности медицинского персонала, выполняющего рентгенологические процедуры.

В литературе недостаточно данных по оценке обоснованности современного уровня использования рентгеновского излучения в целях лучевой диагностики заболеваний населения в здравоохранении. Не показана возможность применения комплекса дозиметрических, биологических, физико-химических, клинических методов для уточнения степени радиационного риска различных методов рентгенологических исследований. Не разработаны мероприятия по повышению компетентности врачей по выбору методик, обеспечивающих более безопасные уровни доз облучения пациентов и медицинского персонала. Вопросы планирования адресной реализации практикоориентированных образовательных программ, направленных на повышение компетенций врачей по оптимизации безопасности радиационного воздействия при выполнении рентгенологических процедур в литературе не описаны. Все изложенное выше определило необходимость проведения настоящего исследования.

### **Цель исследования**

Научное обоснование и разработка путей оптимизации радиационного воздействия на пациентов и медицинский персонал при выполнении рентгенологических процедур на примере медицинских организаций Татарстана.

### **Задачи исследования**

1. Установить зависимость между количеством выполняемых рентгенологических процедур на 1000 постоянного среднегодового населения для диагно-

стики основных групп заболеваний и состоянием здоровья населения городов Казани, Набережные Челны, а также 43-х административных районов РТ и в целом по Татарстану за период с 2006 по 2017 годы.

2. Изучить динамику показателей медицинского облучения населения РТ (коллективная эффективная доза, средняя индивидуальная доза за процедуру и другие) по основным видам рентгенологических исследований.

3. Выявить особенности учета доз пациентов при выполнении основных видов рентгенологических исследований.

4. Предложить научно обоснованный подход по дополнительной оценке используемых методов рентгенодиагностики с точки зрения их безопасности.

5. Изучить показатели профессионального (техногенного) облучения медицинского персонала, работающего с рентгеновским излучением, и определить группы работников, подвергающихся наибольшему облучению.

6. Разработать мероприятия по оптимизации лучевых нагрузок на пациентов и медицинский персонал при рентгенэндоваскулярных вмешательствах.

7. Для повышения уровня компетенций врачей-специалистов по отношению к безопасной работе с источниками ионизирующих излучений внедрить в образовательный процесс результаты настоящего исследования.

### **Научная новизна результатов исследования**

При проведении систематического исследования, выполненного на основе статистических данных за последние 12 лет на примере РТ, с использованием критериев доказательной медицины впервые установлена зависимость между увеличением объемов рентгенодиагностической работы и ростом первичной заболеваемости и распространенности болезней по основным группам заболеваний.

При изучении динамики показателей медицинского облучения населения РТ впервые показано интенсивное и разнонаправленное изменение коллективных эффективных доз по двум видам рентгенологических исследований: флюорографии и рентгеновской компьютерной томографии (РКТ). Выявлено, что несмотря на проводимые мероприятия по инструментальному учету доз облучения пациентов, остается значительной доля доз, учтенных только на основании данных, полученных расчетным путем, без предварительных измерений (723,1 чел.-Зв из общего значения, равного 2059,6 чел.-Зв), что обуславливает необходимость поиска новых подходов для более объективной оценки доз облучения.

В целях дополнения имеющейся официальной статистической информации по определению радиационного риска впервые предложено использование модельных систем (тестерные микроорганизмы (тест Эймса) и водномолекулярные структуры дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК)), чувствительных к воздействию диапазонов доз (мощностей доз) ионизирующей радиации, применяемых в медицинской диагностической практике.

Впервые оценена результативность внедрения методик снижения лучевой нагрузки на пациентов и медицинский персонал с использованием одномоментной селективной катетеризации артерий при рентгенэндоваскулярных вмешательствах.

Установлено, что адресная реализация образовательных программ, направленных на повышение компетенций врачей по безопасному выполнению рентгенологических процедур, позволяет значительно снизить дозы облучения пациентов и персонала, в частности врачей по рентгенэндоваскулярной диагностике и лечению, которые, как впервые показано в работе, подвергаются в настоящее время наибольшему облучению.

### **Теоретическая и практическая значимость**

Разработана концепция оптимизации радиационного воздействия на пациентов и медицинский персонал при проведении рентгенологических процедур. Сформулирована научная идея разработки модельных систем, чувствительных к воздействию малых доз ионизирующей радиации, позволяющих уточнить и дополнить сведения о степени радиационной безопасности используемых на практике методов лучевой диагностики. Научно обоснованы пути оптимизации радиационного воздействия на пациентов и медицинский персонал при выполнении рентгенологических процедур на примере медицинских организаций РТ.

Практическая значимость работы оценивается следующими показателями: установлены виды рентгенологических процедур и технических условий их проведения, которые несут повышенную и оптимальную нагрузку на генетический аппарат клеток; разработаны образовательные программы, направленные на формирование компетенций у обучающихся по повышению степени радиационной безопасности выполняемых рентгенологических процедур. Эти программы могут быть использованы преподавателями образовательных организаций высшего и дополнительного профессионального образования при подготовке врачей-рентгенологов и инженеров по техническому обслуживанию медицинского оборудования, используемого в медицинской рентгенологии.

Работа поддерживалась научным грантом Академии наук Республики Татарстан, государственный контракт №11-35/2013 (Г) от 28.05.2013 «Изучение влияния рентгеновского излучения, используемого в медицинской рентгенодиагностической практике, на генетический аппарат микроорганизмов в качестве модельной системы для гигиенической оценки медицинского облучения человека», грантом Российского гуманитарного научного фонда «Новые подходы для изучения влияния рентгеновского излучения на биологические объекты с целью улучшения радиозэкологической обстановки, связанной с медицинским облучением населения», проект №14-16-16002 а(р) (2014-2015 годы), грантом Российского фонда фундаментальных исследований «Комплексная медико-социальная оценка обоснованности опасений возникновения катаракты глаза у медицинского персонала, выполняющего рентгенохирургические вмешательства», проект №16-16-16018 а(р) (2016-2017 годы). Руководитель перечисленных проектов - Рыжкин С.А.

### **Методология и методы исследования**

**Предметом исследования** является проблема обеспечения низких безопасных уровней доз облучения и снижения числа облучаемых лиц (пациентов

и медицинского персонала) при использовании электромагнитного (рентгеновского) излучения для диагностики патологических состояний органов и систем человека в практике здравоохранения.

**Объектами исследования** являлись статистические формы №1-ДОЗ, №3-ДОЗ, №30; радиационно-гигиенические паспорта территории РТ; официальная статистическая информация Минздрава РТ, ежегодно издаваемая в виде сборника «Статистика здоровья населения и здравоохранения (по материалам Республики Татарстан)»; протоколы оценки эксплуатационных параметров и дозиметрии (радиационный выход рентгеновских трубок, параметров производства дозы на площадь, экспозиция и другие) основных типов и моделей рентгенодиагностических аппаратов (РДА), используемых в медицинских организациях РТ; данные по изучению влияния рентгеновского излучения на физико-химические свойства растворов ДНК; экспериментальные данные по изучению токсических и мутагенных эффектов при воздействии различных доз и режимов излучения медицинских рентгенодиагностических аппаратов на тестерные микроорганизмы; результаты анкетирования врачей-специалистов; протоколы рентгенэндоваскулярных вмешательств; протоколы магнитно-резонансных гистеросальпингографий; протоколы измерения эквивалентных доз в коже, в хрусталике глаза, а также расчета эффективных доз общего облучения медицинского персонала; результаты клинического изучения показателей светопреломляющей системы органа зрения медицинского персонала.

Методологическая и теоретическая основа исследования базируется на принципах нормирования, обоснования и оптимизации, установленных рекомендациями МКРЗ и требованиями Федерального закона «О радиационной безопасности населения» №3-ФЗ от 9 января 1996 года.

С учетом поставленных задач использовалась следующая методология исследования:

1 этап. Оценка значения медицинского облучения в структуре радиационных нагрузок на население РТ, определение характеристик аппаратов и оборудования, используемого для лучевой диагностики. Установление взаимосвязи показателей работы подразделений лучевой диагностики медицинских организаций и состояния здоровья населения РТ. Выявление существующих тенденции в формировании и учете доз медицинского облучения населения РТ.

2 этап. Определение уровней техногенного облучения медицинского персонала при использовании источников рентгеновского излучения для диагностики и лечения пациентов.

3 этап. Разработка путей оптимизации безопасности радиационного воздействия на пациентов и персонал при проведении рентгенологических процедур, в том числе плана образовательных мероприятий по формированию компетенций безопасной работы с ИИИ у медицинского персонала.

При проведении исследований на всех этапах проводилась статистическая обработка полученных данных (статистический критерий Уилкоксона, критерий сопряженности хи-квадрат, методы исследования зависимости между

двумя характеристиками (вычисление коэффициентов корреляции и построение линий регрессии)).

Методами исследования, использованными в работе, являются: клиническая дозиметрия и определение эксплуатационных параметров работы РДА; методы определения токсичности и мутагенности рентгеновского излучения в тесте Эймса; динамическое светорассеяние и атомно-силовая микроскопия для изучения влияния рентгеновского излучения на водно-молекулярные структуры ДНК; одномоментные селективные катетеризации артерий при проведении коронарографии; магнитно-резонансная гистеросальпингография; индивидуальный дозиметрический контроль и определение состояния органа зрения медицинского персонала, а также пилотажное социологическое исследование.

### **Основные положения, выносимые на защиту**

1. В целом по РТ выявлена зависимость количества выполненных рентгенологических процедур на 1000 среднегодового постоянного населения от показателей здоровья по основным группам заболеваний, что на практике может быть использовано как индикатор обоснованности существующих уровней медицинского облучения населения, а в случае нарушения такой зависимости стать основанием для аудита причин неоптимального использования рентгенологических методов для диагностики соответствующих групп заболеваний в некоторых административных районах РТ, а также адресной реализации образовательных программ повышения квалификации для врачей-специалистов, основанных на результатах настоящего исследования.

2. С целью повышения объективности оценки степени радиационной опасности рентгенологических процедур, используемых в медицинской практике, и, как следствие, принятия управленческих решений о необходимости применения мер оптимизации радиационного воздействия на пациентов и медицинский персонал разработан комплекс дозиметрических, биологических, физико-химических, клинических методов, уточняющих степень радиационного риска различных методов рентгенологических исследований.

3. Использование комплекса дозиметрических, биологических, физико-химических, клинических методов позволяет определить приоритетные направления для снижения лучевых нагрузок на пациентов и медицинский персонал, одним из примеров которых является применение методик одномоментной селективной катетеризации артерий при рентгенэндоваскулярных вмешательствах.

### **Степень достоверности и апробация результатов исследования**

Результаты диссертационного исследования подтверждены большим объемом официальной статистической информации, проанализированной в соответствии с задачами исследования по медицинским организациям г. Казани, Н. Челны, 43-х административных районов РТ и в целом по Татарстану за период наблюдения 12 лет, применением современного поверенного дозиметрического оборудования, а также обработкой полученных данных с использованием статистических методов. Проведение диссертационного исследования



одобрено Комитетом по этике КГМА – филиала ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России от 08 ноября 2018 года, протокол №11/11 и при апробации диссертации на расширенном заседании кафедры лучевой диагностики (протокол №124-а/19 от 11 марта 2019 года). Вышеуказанное позволяет считать полученные результаты достоверными, а сделанные выводы обоснованными и вытекающими из результатов проведенных исследований.

Основные положения и выводы диссертационного исследования были представлены, доложены и обсуждены на 20-ти Международных и Всероссийских конференциях, среди которых Международная конференция «Современные проблемы обеспечения радиационной безопасности населения» (Санкт-Петербург, 2006), IV Всероссийский национальный конгресс лучевых диагностов и терапевтов «Радиология-2010» (Москва, 2010), Международная конференция «Актуальные вопросы радиационной гигиены» (Санкт-Петербург, 2012), Международная научная школа по радиобиологии (Обнинск, 2013), Всероссийский национальный конгресс лучевых диагностов и терапевтов «Радиология-2014» (Москва, 2014), XXVI Симпозиум «Современная химическая физика» (Москва, 2014), Международная конференция «Влияние ионизирующей и неионизирующей радиации на структуру и биологические свойства живых клеток» (Цахкадзор, 2015), Всероссийский национальный конгресс лучевых диагностов и терапевтов «Радиология-2015» (Москва, 2015), Всероссийский национальный конгресс лучевых диагностов и терапевтов «Радиология-2016» (Москва, 2016), Конгрессы Российского общества рентгенологов и радиологов (Москва, 2015, 2016, 2017 (устный доклад), 2018 (устный доклад, работа в качестве сопредседателя секционного заседания «Непрерывное медицинское образование в лучевой диагностике»)).

### **Внедрение результатов работы**

Результаты диссертационного исследования внедрены в практическую деятельность ГАУЗ РКБ МЗ РТ, Управления Роспотребнадзора по Республике Татарстан, Медико-санитарной части ФГАОУ ВО Казанский (Приволжский) федеральный университет, Диагностического центра ООО «БАРСМЕД». Отдельные разделы диссертационной работы используются в образовательном процессе кафедры лучевой диагностики КГМА – филиала ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, кафедры общей гигиены ФГБОУ ВО Казанский ГМУ Минздрава России, кафедры медицинской физики Института физики ФГАОУ ВО Казанский (Приволжский) федеральный университет, Института фундаментальной медицины и биологии ФГАОУ ВО Казанский (Приволжский) федеральный университет, Института дополнительного профессионального образования ФГАОУ ВО «КНИТУ» Минобрнауки России.

### **Публикации**

По материалам диссертации опубликованы 44 печатные работы, в том числе 22 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 20 работ в материалах Международных, Всероссийских и региональных конференций и конгрессов, 2 учебных пособия.

## **Соответствие диссертации паспортам научных специальностей**

Диссертация является междисциплинарным исследованием, посвященным разработке концепции оптимизации радиационного воздействия на пациентов и медицинский персонал при проведении рентгенологических процедур на примере медицинских организаций РТ, а также плана образовательных мероприятий по увеличению степени радиационной безопасности использования электромагнитного рентгеновского излучения для диагностики патологических состояний различных органов, систем человека и улучшению показателей здоровья населения РТ в современных социально-экономических условиях. Диссертационная работа соответствует формулам специальностей: 14.01.13 - Лучевая диагностика, лучевая терапия и области исследования: п. 1 «Лучевая диагностика: диагностика патологических состояний различных органов и систем человека путем формирования и изучения изображений в различных физических полях (электромагнитных, корпускулярных, ультразвуковых и др.)» и 14.02.03 - Общественное здоровье и здравоохранение и областям исследования: п. 2 «Разработка методов исследования, изучения и оценки состояния здоровья населения и тенденций его изменения, исследование демографических процессов, структур заболеваемости, физического развития, воздействия социальных, демографических факторов и факторов внешней среды на здоровье населения, его отдельных групп», п. 3 «Исследование организации медицинской помощи населению, разработка новых организационных моделей и технологий профилактики, оказания медицинской помощи и реабилитации населения; изучение качества внебольничной и стационарной медицинской помощи».

### **Личный вклад автора**

Личный вклад автора является основным на всех этапах – от обоснования актуальности темы диссертационной работы и степени разработанности проблемы, разработки идеи работы, определении методологического подхода и методов исследования, формулировки цели и задач работы, выбора путей их решения до непосредственного участия соискателя в получении исходных данных. Самостоятельно или при участии специалистов в области дозиметрии, генетики и микробиологии, физической химии, социологии, врачей по рентгенэндоваскулярным диагностике и лечению, врачей-офтальмологов выполнена основная часть работы, анализ и статистическая обработка полученных данных, обобщение результатов, формулировка положений, выносимых на защиту, выводов и практических рекомендаций, подготовка публикаций, апробация результатов исследования.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертационная работа изложена на 300 страницах машинописного текста, состоит из введения, обзора литературы, главы «Материалы и методы исследования», четырех глав собственных исследований, заключения (обсуждения полученных результатов, выводов, практических рекомендаций), списка литературы, включающего 384 источника (187 отечественных и 197 зарубежных), списка сокращений. Работа иллюстрирована 76 рисунками, 73 таблицами.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

### Материалы и методы исследования

В радиационно-гигиенических паспортах территории РТ и формах статистической отчетности №3-ДОЗ медицинских организаций в разрезе городов Казань и Н. Челны, 43-х административных районов РТ, а также в целом по Татарстану за период с 2006 по 2017 годы анализировался перечень и количество медицинских организаций, применяющих ИИИ; типы и количество установок с ИИИ, используемых в медицинских организациях; данные о количестве и структуре облучения населения при медицинских процедурах; данные о численности и годовых дозах (средняя индивидуальная доза (мЗв/год), коллективных дозах (чел.-Зв/год)) облучения персонала групп А и Б; данные о дозах (коллективная доза (чел.-Зв/год), средняя доза на жителя (мЗв/чел.)) и структуре годовой эффективной коллективной дозы облучения населения от всех видов облучения населения РТ (природное, техногенное, медицинское, аварийное); данные о количестве радиационных аварий, происшествий и о случаях лучевой патологии.

Для анализа динамики демографических показателей, показателей состояния здоровья использована официальная статистическая информация Минздрава РТ, ежегодно издаваемая в виде сборника «Статистика здоровья населения и здравоохранения (по материалам Республики Татарстан)», а также содержащаяся в сборнике статистических данных «Злокачественные новообразования в Республике Татарстан в 2007–2016 годах» и на официальном Интернет-сайте Минздрава РТ (<http://minzdrav.tatarstan.ru/rus/informatsiya-i-statistika.htm>).

С помощью форм федерального государственного статистического наблюдения №30 «Сведения о медицинской организации» проанализированы показатели кадрового и материально-технического обеспечения службы лучевой диагностики (количество и виды аппаратов, оборудования для лучевой диагностики), а также показатели деятельности диагностических подразделений (количество и виды рентгенодиагностических (в том числе РКТ) исследований, рентгенологических профилактических обследований, интервенционных вмешательств под лучевым контролем, ультразвуковых исследований, магнитно-резонансных томографических исследований, радиологических исследований).

В работе измерены и оценены эксплуатационные параметры (радиационный выход рентгеновских трубок, параметры произведения дозы на площадь, экспозиция и другие) основных типов и моделей РДА, используемых в медицинских организациях РТ с последующим изучением влияния рентгеновского излучения, генерируемого данными аппаратами в различных режимах, на модельные системы. Данные измерения и оценки выполнены для пяти цифровых РДА ФЦ-01 «Электрон» (серийные номера: 05325, 06505, 6731, 71117, 081240), пяти стационарных рентгенодиагностических комплексов на три рабочих места (Vision, заводской номер 6070546; РДС/4-«Абрис», заводской номер 05.03.111; комплекс рентгенодиагностический телеуправляемый КРТ «Электрон», серийный номер 06109; Multix Pro, серийный номер 8126 (SIEMENS Healthineers); комплекс рентгенодиагностический телеуправляемый КРТ «Электрон», серий-

ный номер GP 0000421), пяти рентгеновских компьютерных томографов («LightSpeed Pro 32», серийный номер 5552YC5 (GE Medical Systems); «Aquilion-64» TSX-101A, серийный номер HCB0943584 (Toshiba Medical Systems Corporation); «Siemens Somatom Sensation 64», серийный номер 54251 (SIEMENS Healthineers); «Siemens Somatom Emotion 16», серийный номер 78993 (SIEMENS Healthineers); «Ingenuity», серийный номер 82788 (Philips)), двух рентгеновских ангиографических аппаратов (CAS-880A, серийный номер 99D1312852 (Toshiba Medical Systems Corporation) и Innova 3100-IQ, серийный № 587276BU7 (GE Medical Systems).

Данные о готовности медицинского персонала использовать мероприятия по оптимизации радиационного воздействия на пациентов и медицинский персонал собраны путем анкетирования 125 врачей-слушателей, завершивших обучение по дополнительным профессиональным программам повышения квалификации, основанным на результатах настоящего исследования, и дальнейшей статистической обработки с помощью компьютерной программы SPSS.

В период с 2012 по 2015 годы в отделении рентгенохирургических методов диагностики и лечения ГАУЗ «Республиканская клиническая больница №2» (ныне – Медико-санитарная часть ФГАОУ ВО Казанский федеральный университет) в операционной, оснащенной ангиографической цифровой установкой с плоским детектором Axiom Artis dTA (Siemens), 98 пациентам с сердечно-сосудистыми заболеваниями (ишемическая болезнь сердца (ИБС), атеросклероз магистральных артерий) выполнены рентгенэндоваскулярные вмешательства. Возраст пациентов находился в пределах от 43 до 79 лет (средний возраст составил  $56,8 \pm 1,7$  лет). Все больные с учетом методики проведения селективной коронарографии были распределены на 2 группы. Первую группу пациентов составили 48 больных, исследованных по усовершенствованной методике через лучевой доступ с использованием универсального коронарного катетера для одномоментной селективной катетеризации устьев левой и правой коронарных артерий. Вторую группу составили 50 больных, прошедших селективную коронарографию по стандартной методике через бедренный доступ с использованием двух коронарных катетеров.

В Диагностическом центре ООО «БАРСМЕД» за период с 2015 по 2016 годы 12 пациенткам, средний возраст которых составил  $30,0 \pm 2,1$  лет, с использованием магнитно-резонансного томографа Verio Magnetom 3T (Siemens) выполнена магнитно-резонансная гистеросальпингография. Зоной интереса при проведении исследований являлись органы малого таза – матка и маточные трубы. Для проведения исследований использовались стандартные параметры, импульсная последовательность T2. В качестве контрастного средства использовался углекислый газ.

Оценка и анализ показателей доз облучения медицинского персонала в медицинских организациях выполнен с использованием форм государственного статистического наблюдения №1-ДОЗ, а также на основании измерений индивидуальных доз облучения персонала. С использованием термомюминисцентного метода дозиметрии измерены такие операционные величины, как индиви-

дуальные эквиваленты дозы Нр(0,07), Нр(3), Нр(10), определены эквивалентные дозы в коже, хрусталике глаза и рассчитаны эффективные дозы общего облучения у 12 врачей и 15 медицинских работников из числа среднего медицинского персонала МКДЦ (период наблюдения 2016-2017 годы), 9 врачей и 12 медицинских работников из числа среднего медицинского персонала РКБ (период наблюдения 2016-2017 годы), 4 врачей и 4 операционных медицинских сестер ГКБ №7 (период наблюдения – 3 квартал 2015 года), у 1 врача РКБ 2 (ныне – МСЧ КФУ, период наблюдения 2-3 кварталы 2015 года). На кафедре офтальмологии ФГБОУ ВО Казанский ГМУ Минздрава России выполнено клиническое (офтальмологическое) исследование органа зрения 7-ми врачей по рентгенэндоваскулярным диагностике и лечению (РЭДЛ). Для клинического изучения показателей светопреломляющей системы органа зрения использовались следующие методы: сбор анамнеза, объективный осмотр, биомикроскопия глаза (конъюнктивы глазного яблока, стекловидного тела) и В-сканирование глаза. Карта клинического (офтальмологического) обследования органов зрения медицинского персонала содержит паспортные данные обследуемого (Ф.И.О., пол, возраст, адрес), анамнестические сведения (стаж работы с источниками рентгеновского излучения, профессиональный маршрут, наличие факторов риска, наличие соответствующе патологии), данные объективного (офтальмологического) осмотра, результаты биомикроскопии глаза (конъюнктивы, глазного яблока, стекловидного тела), В-сканирования глаза.

### Результаты исследования

#### Оценка зависимости медицинского облучения пациентов от состояния здоровья населения. Роль медицинских организаций в формировании техногенного облучения в РТ

*Значение медицинского облучения в структуре радиационных нагрузок на население. Характеристика аппаратов и оборудования, используемых для лучевой диагностики*

За последние годы в РТ обновлен парк аппаратов для лучевой диагностики, современная материально-техническая база позволяет выполнять широкий круг лучевых исследований. Увеличивается количество рентгенорадиологических процедур, которое в 2017 году достигло значения 7067182 (рисунок 1).

Количество процедур, абсолютные числа

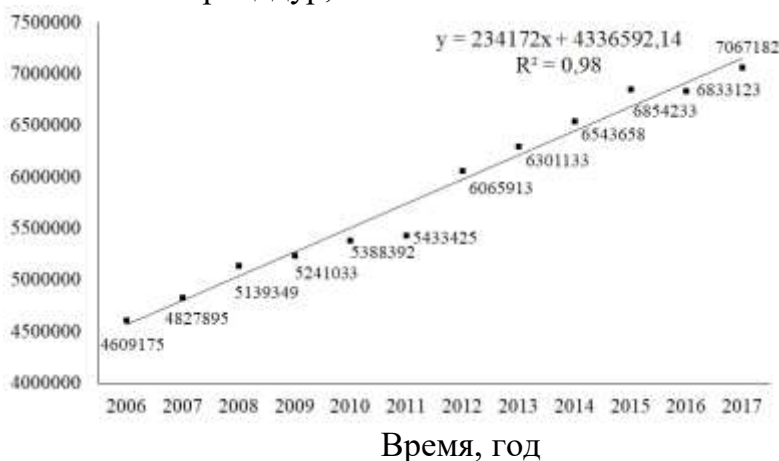


Рисунок 1. Количество выполненных рентгенорадиологических процедур в РТ за период с 2006 по 2017 годы, абсолютные числа.

*Значение техногенного облучения медицинского персонала. Характеристика кадрового обеспечения службы лучевой диагностики*

Составляющими коллективной дозы облучения населения РТ за рассматриваемый период являются техногенно измененный радиационный фон за счет глобальных выпадений  $19,1 \pm 0,1$  чел.-Зв ( $19,4$  чел.-Зв,  $0,14\%$  в общей структуре облучения в 2017 г.) и деятельность организаций, использующих ИИИ, за счет облучения персонала  $3,2 \pm 0,3$  чел.-Зв ( $3,7$  чел.-Зв,  $0,03\%$  в общей структуре облучения в 2017 г.). Медицинские организации в РТ составляют  $70,6\%$  в общем количестве объектов, использующих в своей деятельности ИИИ. При этом  $51\%$  персонала, работающего с ИИИ в РТ, представлены работниками сферы здравоохранения, к которым относятся, в основном, врачи-рентгенологи, врачи по РЭДЛ, рентгенлаборанты. Врачи-рентгенологи, работающие в амбулаторных медицинских организациях, составляют  $46,2\%$ , в стационарных медицинских организациях –  $53,8\%$ . Соответственно, рентгенлаборантов в амбулаторных медицинских организациях –  $47,8\%$ , в стационарных медицинских организациях –  $52,2\%$ .

*Оценка зависимости количества выполненных рентгенологических процедур от состояния здоровья населения*

*Использование рентгеновского излучения в диагностике и лечении болезней системы кровообращения*

Первое место в структуре смертности населения Татарстана занимает смертность по причине болезней системы кровообращения (БСК) ( $587,9$  на  $100000$  населения). По предварительным итогам реализации Программы «Сердце Татарстана» установлено, что в сравнении с 2006 в 2016 г. количество выполненных стентирований коронарных сосудов возросло в 20 раз (с 215 до 4414), коронарографий – в 35 раз (с 318 до 11175). Структура вмешательств на сердце, отделах аорты и нижней полой вены, выполненных в медицинских организациях Республики Татарстан в 2017 г., представлена в таблице 1.

Таблица 1.

Количество внутрисосудистых интервенционных вмешательств на сердце, грудной и брюшной аорте, нижней полой вене под лучевым контролем, выполненных в медицинских организациях РТ в 2017 году.

Анатомическая область	Количество вмешательств, абсолютные числа		
	Диагностические	Лечебные	Всего
Сердце, всего	8312	3840	12152
в том числе, на коронарных сосудах	8090	3383	11473
в том числе, на камерах сердца и клапанах	222	439	661
Грудная аорта	26	119	145
Брюшная аорта	557	6	563
Нижняя полая вена	34	20	54
Итого	8929	3985	12914

Из общего числа исследований, указанных в таблице 1, 2890 проведено пациентам с инфарктом миокарда, из них 1335 – в первые 90 минут с момента госпитализации. Все вмешательства осуществляются врачами по РЭДЛ под контролем рентгеновского излучения с использованием стационарных ангиографических аппаратов и рентгенотелевизионных установок типа С-дуга.

Статистическая обработка данных позволила установить, что за рассматриваемый период значимое увеличение первичной заболеваемости БСК отсутствует ( $p=0,854$ ), распространенность БСК значимо выросла ( $p=0,024$ ). Показатель заболеваемости БСК в рассматриваемый период находится на уровне  $33,4 \pm 1,6$  на 1000 населения, показатель распространенности –  $244,6 \pm 3,5$  на 1000 населения. С использованием критерия Уилкоксона установлено, что значения показателей смертности по причине БСК в 2017 г. достоверно ниже в сравнении с 2006 г. ( $p < 0,001$ ).

#### *Использование рентгеновского излучения в диагностике новообразований*

На втором месте по вкладу в общую структуру смертности находятся новообразования (191,3 на 100000 населения). В последние годы отмечается увеличение смертности по причине данного класса заболеваний (при сравнении показателей за 2006 и 2017 годы,  $p < 0,001$ ).

Установлено, что за рассматриваемый период имеет место достоверное увеличение как показателей первичной заболеваемости новообразованиями ( $p=0,028$ ), так и показателей распространенности новообразований ( $p < 0,001$ ). Накопление контингента больных происходит в силу повышения как заболеваемости, так и распространенности новообразований (рисунок 2).

Показатель, на 1000 населения

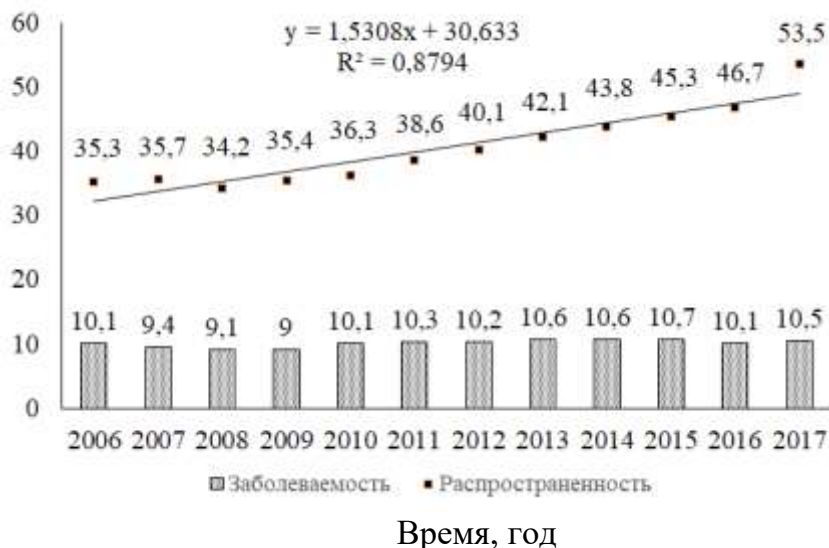


Рисунок 2. Динамика показателей заболеваемости и распространенности новообразований в РТ за период с 2006 по 2017 годы.

При диспансерном наблюдении данного контингента больных широко используются рентгенологические методы, что подтверждается установленной при помощи критерия хи-квадрат зависимостью между количеством рентгенологических процедур на 1000 населения и распространенностью новообразований ( $p < 0,001$ ).



Это свидетельствует об обоснованности существующего уровня медицинского облучения населения при диагностике и контроле лечения онкологических заболеваний.

Среди всех новообразований за рассматриваемый период особое внимание заслуживают злокачественные новообразования (ЗНО) по причине тенденции к устойчивому росту (рисунок 3).

Показатель заболеваемости, на 1000 населения

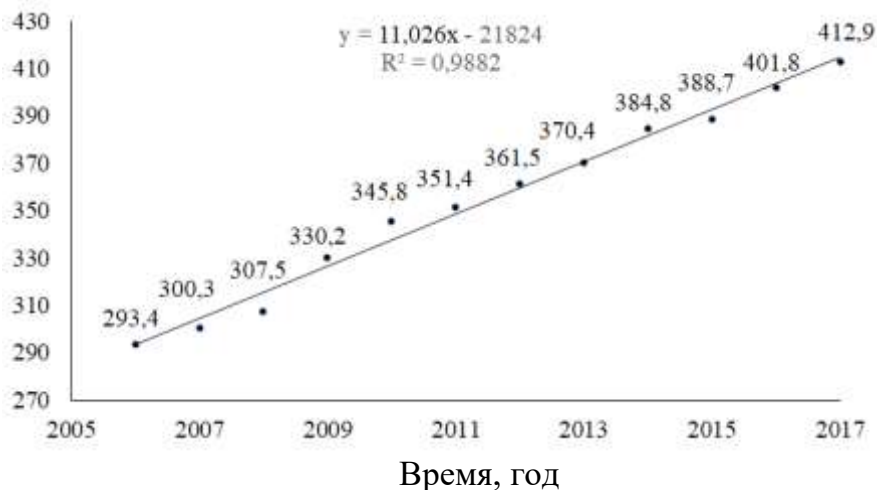


Рисунок 3. Заболеваемость ЗНО в РТ за период с 2006 по 2017 годы.

Рентгеновское излучение все больше используется для ранней диагностики рака молочной железы. В РТ ежегодно наблюдается увеличение количества маммографических исследований с 15391 в 2006 году до 221825 в 2017 году.

Изменения в области маммографических процедур носят не только количественный, но и выраженный качественный характер, как с точки зрения используемых технологий получения, обработки диагностического изображения, так и организационных технологий.

Если в 2006 году лишь 19,4% маммографических процедур было выполнено профилактически, то в 2017 году данное значение достигло 89,3%. При этом в 2006 году весь объем выполнялся на пленочных аппаратах. В 2017 году 55,0% профилактических и 14,4% диагностических маммографических исследований выполнено на цифровых маммографах.

Установлена зависимость между первичной заболеваемостью ЗНО молочной железы (рисунок 4) и количеством маммографических процедур, которая была подтверждена при помощи критерия хи-квадрат ( $p=0,047$ ).

Увеличение объемов маммографических процедур способствует выявлению больных. Установлено, что первичная заболеваемость ЗНО молочной железы в 2016 году достоверно выше в сравнении с 2006 годом ( $p<0,001$ ), при этом отсутствует достоверное увеличение значений смертности ( $p=0,155$ ) (рисунок 4).

Своевременная лучевая диагностика заболеваний молочных желез и своевременное начало лечения способствуют уменьшению показателей запущенности заболевания (рисунок 5), позволяют продлить жизнь пациентам.



Показатель, на 100000 населения

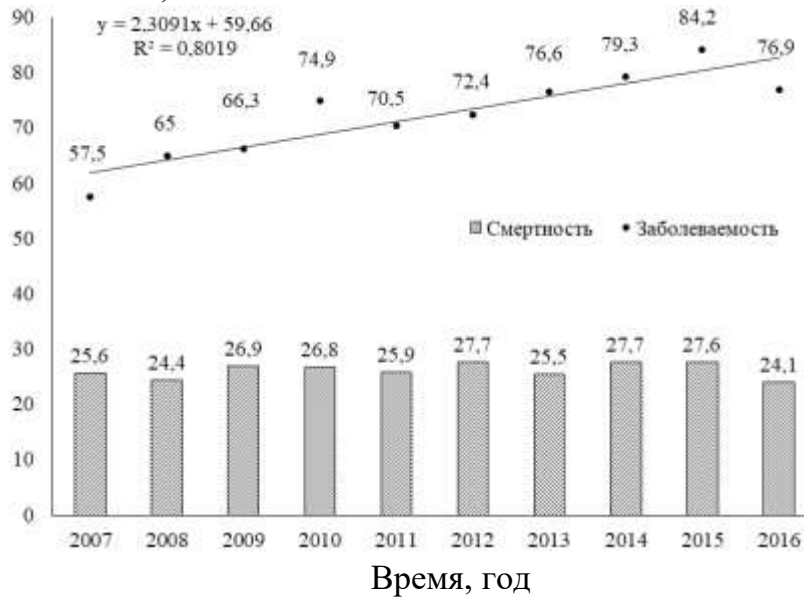


Рисунок 4. Динамика показателей заболеваемости и смертности по причине злокачественных новообразований молочной железы (на 100000 населения) в РТ.

Запущенность, %

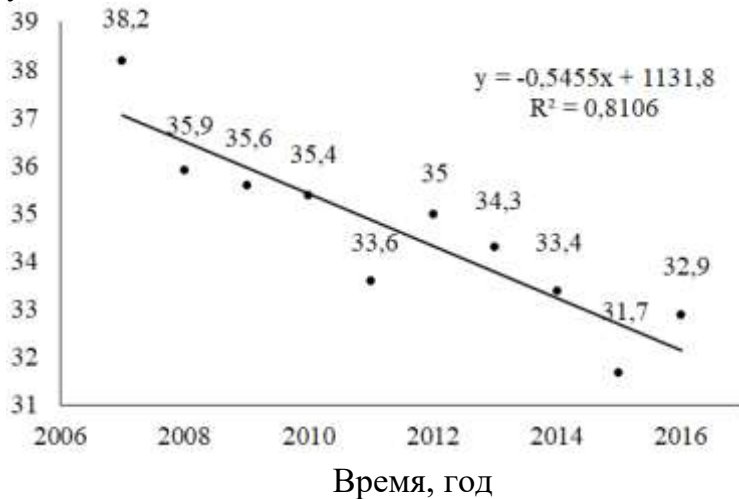


Рисунок 5. Изменение показателей запущенности заболеваний злокачественными новообразованиями молочной железы у женщин в РТ, %.

*Использование рентгеновского излучения в диагностике и контроле результатов лечения при травмах и заболеваниях костно-суставной системы*

Показатель первичной заболеваемости по причине травм, отравлений и некоторых других последствий воздействия внешних причин составляет в среднем  $101,9 \pm 1,2$  на 1000 населения. С использованием критерия Уилкоксона нами установлено, что за рассматриваемый период отсутствует достоверное изменение значений первичной заболеваемости по данным причинам ( $p=0,937$ ). Лидирующие места в структуре травматизма занимают переломы верхних и нижних конечностей. Динамика их количества составляет в среднем  $2048,4 \pm 77,9$  случаев на 100000 населения без достоверного изменения ( $p=0,995$ ). На втором месте в структуре травматизма находятся переломы позвоночника, костей туловища, черепа и лицевых костей со средним значением  $407,1 \pm 7,6$  случаев на 100000 населения. За рассматриваемый период отсутствует изменение уровня переломов позвоночника, костей туловища, черепа и лицевых костей ( $p=0,994$ ). Отмечается статистически значимое снижение числа

внутричерепных травм ( $p=0,007$ ). Среднее значение данного показателя  $291,8 \pm 14,3$  случаев на 100000 населения.

Для диагностики и контроля лечения переломов всех локализаций активно используется рентгеновское излучение. Несмотря на отсутствие с 2006 по 2017 гг. статистически значимой разницы в уровнях показателей травматизма, переломов конечностей, переломов позвоночника, костей туловища, черепа и лицевых костей отмечается увеличение количества процедур на 1000 населения по всем исследуемым анатомическим областям ( $p=0,03$ ). С учетом значительного обновления материально-технического оснащения изменения носят не только количественный, но и качественный характер. В 2006 году 96,6% рентгенологических процедур при исследовании конечностей приходилось на пленочные рентгенограммы. К настоящему времени перечень используемых рентгенологических методов расширился. В 24 раза возросло количество цифровых рентгенографических исследований, которые у пациентов с травмами и заболеваниями конечностей составляет 43,0% в общей структуре работы. Данным пациентам теперь проводятся РКТ и специальные исследования. Аналогичные тенденции наблюдаются и в рентгенодиагностике травм и заболеваний позвоночника, черепа и костей туловища.

Установлена зависимость между количеством рентгенологических процедур на костно-суставной системе на 1000 населения и первичной заболеваемостью по причине травм, отравлений и некоторых других последствий воздействия внешних причин, подтвержденная при помощи критерия хи-квадрат ( $p<0,001$ ).

*Использование рентгеновского излучения в диагностике и контроле результатов лечения при заболеваниях органов желудочно-кишечного тракта и брюшной полости*

Несмотря на то, что методами выбора диагностики заболеваний органов желудочно-кишечного тракта и брюшной полости являются эндоскопические методики и ультразвуковые исследования, по данному направлению за период с 2006 по 2017 гг. установлено увеличение количества рентгенологических процедур на 1000 населения ( $p=0,019$ ). Обращает внимание увеличение в 4,4 раза числа выполняемых информативных, но дозозобразующих РКТ и специальных исследований органов брюшной полости. В 3,8 раза чаще стали применяться цифровые рентгенологические технологии. При этом показатели заболеваемости и распространенности заболеваний органов пищеварительной системы среди основных возрастных групп населения РТ в рассматриваемый период находились на уровне, соответственно,  $33,1 \pm 0,4$  и  $117,0 \pm 1,3$  на 1000 населения. При помощи критерия независимости хи-квадрат была проверена гипотеза о независимости количества рентгенологических процедур для диагностики заболеваний органов желудочно-кишечного тракта, брюшной полости в расчете на 1000 населения и уровнями первичной заболеваемости органов пищеварения. Установлено, что данные параметры являются зависимыми ( $p<0,001$ ). Также была установлена зависимость между распространенностью болезней органов пищеварения и количеством рентгенологических процедур на органах желудочно-

кишечного тракта и брюшной полости на 1000 населения ( $p=0,035$ ). Показатель смертности среди населения РТ по причине заболеваний органов пищеварения находится на уровне  $51,7 \pm 1,6$  на 100000 среднегодового постоянного населения. С использованием критерия Уилкоксона установлено увеличение показателя смертности по причине заболеваний органов пищеварения ( $p=0,002$ ).

*Использование рентгеновского излучения в диагностике и контроле результатов лечения при заболеваниях органов дыхания и грудной полости*

Показатели заболеваемости и распространенности заболеваний органов дыхания среди основных возрастных групп населения РТ в период с 2006 по 2017 годы находились на уровне, соответственно,  $332,1 \pm 8,3$  и  $391,0 \pm 7,2$  на 1000 населения. Установлено, что за рассматриваемый период имеется достоверное увеличение уровня первичной заболеваемости ( $p < 0,001$ ) и распространенности заболеваний органов дыхания ( $p < 0,001$ ). В ответ на увеличение уровней первичной заболеваемости среди основных возрастных групп населения РТ заболеваниями органов дыхания и распространенности болезней органов дыхания за рассматриваемый период система здравоохранения отреагировала значительным увеличением количества рентгенологических процедур на 1000 населения, предназначенных для диагностики данных заболеваний ( $p=0,025$ ). Имеет место зависимость между первичной заболеваемостью болезнями органов дыхания и количеством рентгенологических процедур на органах грудной полости на 1000 населения, установленная при помощи критерия хи-квадрат ( $p < 0,001$ ). Также при помощи критерия хи-квадрат установлена зависимость между распространенностью болезней органов дыхания населения и количеством рентгенологических процедур на органах грудной полости на 1000 населения ( $p < 0,001$ ).

В 6,5 раза возросло количество выполняемых цифровых диагностических рентгенограмм органов грудной полости, которые по результатам 2017 года составляют 43,0% в общем объеме рентгенодиагностической работы в связи с данными заболеваниями. В 8,7 раза увеличилось число высокоинформативных РКТ исследований: теперь они составляют более 6,0% всех рентгенологических процедур для диагностики заболеваний органов грудной полости.

Показатель смертности среди населения РТ по причине заболеваний органов дыхания находится на уровне  $47,6 \pm 0,8$  на 100000 населения. С использованием критерия Уилкоксона нами установлено, что за рассматриваемый период отсутствует значимое изменение уровня смертности по причине заболеваний органов дыхания ( $p=0,522$ ).

Рентгеновское излучение наряду с диагностикой заболеваний органов дыхания используется в профилактических целях для массового осмотра населения с целью раннего выявления туберкулеза органов дыхания. В развитие наших работ, в которых была показана эффективность использования цифровых технологий получения и обработки рентгенологических изображений для повышения выявляемости патологии органов дыхания и туберкулеза легких при массовых профилактических рентгенологических исследованиях населения, установлено, что за рассматриваемый период в РТ имеется достоверное

уменьшение уровня заболеваемости туберкулезом органов дыхания ( $p < 0,001$ ), снижение контингента больных активным туберкулезом ( $p < 0,001$ ), в том числе с бацилловыделением ( $p < 0,001$ ).

*Использование рентгеновского излучения в диагностике и контроле результатов лечения при заболеваниях мочевыделительной и половой систем*

С использованием критерия Уилкоксона установлено, что за рассматриваемый период отмечается незначительное уменьшение первичной заболеваемости болезнями мочеполовой системы ( $p = 0,091$ ) и отсутствие достоверного изменения уровня распространенности данных заболеваний ( $p = 0,802$ ). Показатели первичной заболеваемости болезнями мочеполовой системы находятся на уровне  $48,3 \pm 1,3$  на 1000 населения. Распространенность заболеваний мочеполовой системы характеризуется значениями  $113,1 \pm 0,5$  на 1000 населения.

Для диагностики заболеваний мочеполовой системы методами выбора являются лучевые методы, не связанные с воздействием ионизирующего излучения, например, ультразвуковое исследование. При помощи критерия независимости хи-квадрат была проверена гипотеза о независимости количества рентгенологических процедур на органах мочевыделительной, половой систем в расчете на 1000 населения и показателями первичной заболеваемости органов мочеполовой системы. Выявлено, что данные параметры являются зависимыми ( $p < 0,001$ ). Количественные показатели рентгенодиагностической работы обоснованы и зависят от уровня первичной заболеваемости. Установлено, что за рассматриваемый период не отмечается достоверного изменения количества рентгенологических процедур на 1000 населения на органах мочевыделительной и половой системы ( $p = 0,24$ ). Ежегодное количество рентгенологических исследований мочеполовой системы населения РТ находится на уровне  $36728 \pm 1049,3$  со средним количеством процедур, равным  $68172 \pm 1505$ .

Между показателями распространенности заболеваний органов мочеполовой системы и количеством рентгенологических процедур на органах мочевыделительной и половой систем на 1000 населения существует зависимость, подтвержденная при помощи критерия хи-квадрат ( $p < 0,001$ ). Вероятно, это связано с тем, что рентгенологические методы начинают использоваться у данной категории пациентов, когда первичный диагноз уже поставлен, и требуется дифференциальная диагностика, а также контроль эффективности лечения.

Таким образом, за изученный период времени использование рентгеновского излучения для диагностики патологических состояний различных органов и систем человека в РТ постоянно увеличивается, что связано с изменением состояния здоровья населения, в частности, ростом первичной заболеваемости и распространенностью болезней по основным группам заболеваний. По основным анатомическим областям исследований произошли изменения в используемых методах лучевой рентгеновской диагностики, выявлено расширение степени использования современных методов (РКТ, специальные исследования) (таблица 2).

Таблица 2.

Изменение количества и структуры выполняемых рентгенологических процедур в РТ.

№	Вид рентгенологических процедур	Количество выполняемых рентгенологических процедур и вклад различных видов процедур в общую структуру рентгенодиагностической работы в РТ			
		2006 год		2017 год	
		Количество, абсолютные значения	Вклад, %	Количество, абсолютные значения	Вклад, %
1.	Флюорография	1896380	41,3	1890529	26,9
2.	Рентгенография	2578754	56,2	4810469	68,3
3.	РКТ	51701	1,1	279891	4,0
4.	Рентгеноскопия	52744	1,1	35975	0,5
5.	Специальные исследования	12279	0,3	23460	0,3
6.	Итого	4591858	100	6279696	100

### Существующие тенденции в формировании и учете доз медицинского облучения населения Татарстана

За период времени с 2006 по 2017 г. значительно изменилась структура медицинского облучения населения РТ (таблица 3).

Проанализированные в работе данные официальной статистической отчетности по дозам облучения пациентов формируются на основании значений, полученных путем расчетов эффективных доз с использованием результатов предварительных измерений, либо исключительно расчетным методом с применением рекомендованных табличных данных без учета особенностей функционирования конкретного РДА.

Таблица 3.

Изменение структуры медицинского облучения населения при выполнении рентгенологических процедур в РТ.

№	Вид рентгенологических процедур	Коллективные эффективные дозы (КЭД) населения от источников рентгеновского излучения и вклад основных видов процедур в структуру медицинского облучения			
		2006 год		2017 год	
		КЭД, чел.-Зв	Вклад, %	КЭД, чел.-Зв	Вклад, %
1.	Флюорография	609,2	34,0	109,3	5,3
2.	Рентгенография	542,2	30,3	402,2	19,5
3.	РКТ	322,8	18,0	1396,3	67,8
4.	Рентгеноскопия	155,8	8,7	63,6	3,1
5.	Специальные исследования	159,9	9,0	88,2	4,3
6.	Итого	1789,9	100	2059,6	100

Как видно из рисунка 6, в рассматриваемый период времени произошло увеличение количества доз, учтенных на основании предварительных инструментальных измерений: с 614,4 чел.-Зв до 1336,5 чел.-Зв. Доля доз, учтенных исключительно расчетным путем, остается значительной (723,1 чел.-Зв из общего значения, равного 2059,6 чел.-Зв).

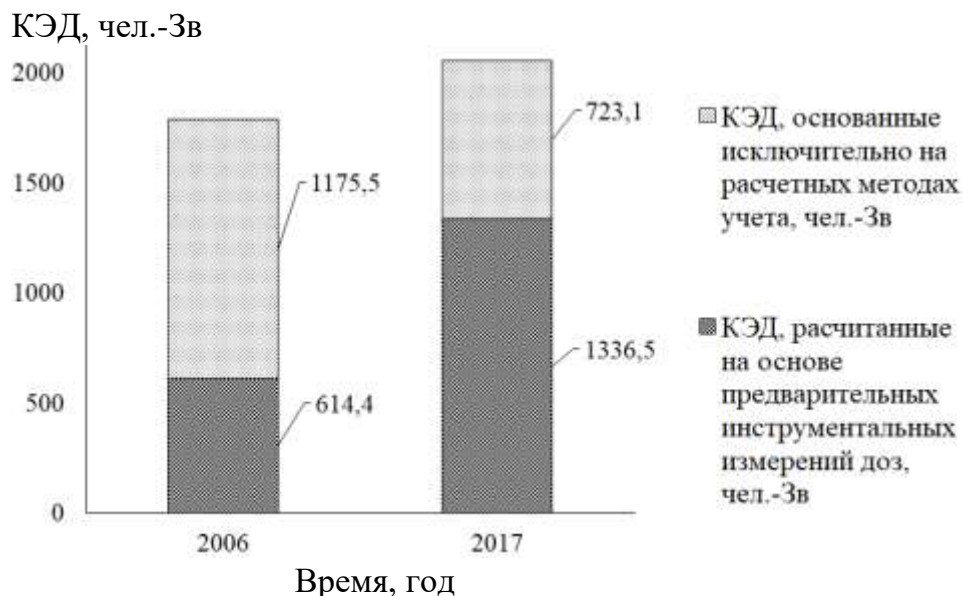


Рисунок 6. Соотношение коллективных эффективных доз медицинского облучения населения РТ (КЭД, чел.-Зв) по способу учета в 2006 и 2017 годах.

#### *Обоснование использования модельных систем для оценки степени радиационной опасности рентгенологических процедур, применяемых в медицинской практике*

Известно, что расчётные методы определения доз облучения пациентов не позволяют в достаточно полной мере объективно оценить степень радиационной опасности рентгенологических процедур, применяемых в медицинской практике. Это влияет на отношение медицинских работников к вопросу о необходимости «бережливого» выполнения исследований и оптимизации доз облучения пациентов, а также может отразиться на выборе врачами-специалистами тех или иных лучевых диагностических процедур.

Сложившаяся ситуация обуславливает необходимость поиска новых подходов для более объективной оценки доз облучения. Одно из возможных решений проблемы дополнения имеющейся официальной статистической информации по оценке радиационного риска состоит в использовании модельных систем, чувствительных к воздействию диапазонов доз (мощностей доз) ионизирующей радиации, применяемых в медицинской диагностической практике. В этой связи актуален поиск простых и надежных модельных систем, позволяющих в дополнение к имеющимся данным провести косвенную оценку влияния рентгенологических процедур на живые организмы. В качестве таких систем нами выбраны две - тестерные микроорганизмы (грамотрицательные (*Salmonella tiphimurium*) и грамположительные (*Staphylococcus aureus*) бактерии) (тест Эймса) и водно-молекулярные структуры ДНК.

Для изучения влияния различных доз и режимов выбраны основные методы рентгенологических исследований: цифровая флюорография, аналоговая (плёночная) рентгенография, рентгеноскопия, РКТ, специальные исследования, перечисленные в таблице 3.

*Особенности формирования и учета доз медицинского облучения при выполнении флюорографических процедур*

Количество ежегодно выполняемых цифровых флюорограмм, начиная с 2006 г., возросло с 670408 до 1698573 в 2017 г., то есть в 2,5 раза. В 2017 году 93,6% всех флюорографических процедур выполнены на цифровых РДА. Установлено, что увеличение доли использования цифровых рентгенологических технологий при проведении массовых профилактических осмотров органов грудной клетки сопровождается достоверным уменьшением лучевых нагрузок на обследуемые контингенты населения ( $p < 0,001$ ). Коллективная эффективная доза облучения населения РТ при профилактических осмотрах снизилась в 5,4 раза с 584,1 чел.-Зв в 2006 г. до 108,9 чел.-Зв в 2017 г., что нашло свое отражение в статистических формах №3-ДОЗ. Средние индивидуальные дозы при выполнении флюорографических процедур на цифровых флюорографических аппаратах, рассчитанные путем измерения доз в различных медицинских организациях, находятся в пределах от  $0,012 \pm 0,0011$  мЗв за процедуру для сканирующих РДА до  $0,15 \pm 0,024$  мЗв за процедуру для РДА на ПЗС-матрице, что существенно ниже аналогичных показателей для плёночных аппаратов. Инструментальный контроль и учет доз облучения обследуемых лиц при профилактической флюорографии увеличился с 38,9%, выполненных в 2006 году флюорографий (736359 процедур из 1893381), до 61,9% в 2017 году (1170358 процедур из 1890529). Вместе с тем, доля учтенных доз облучения на основании расчета, без проведения соответствующих измерений остается значительной, на уровне 38,1%. Изучение влияния рентгеновского облучения в режиме цифровой флюорографии органов грудной полости на модельные системы позволило сделать вывод, что данный режим не оказывает на тестируемые микроорганизмы радиотоксичного и мутагенного действия, культура не погибает и не теряет способность к размножению. Исследование методом динамического светорассеяния (ДРС) влияния на растворы ДНК рентгеновского излучения, генерируемого в указанном режиме флюорографии органов грудной полости, показало, что облучение растворов ДНК практически не влияет на распределение частиц по размерам, размер частиц в обоих случаях составляет  $130 \pm 15$  нм (рисунок 7).

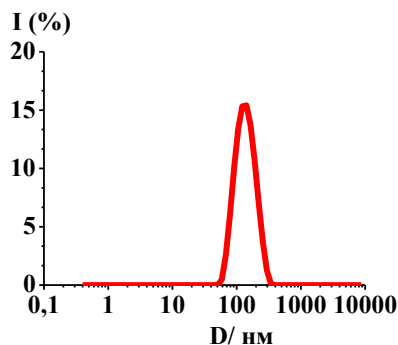


Рисунок 7. Пример распределения частиц по размеру в растворе ДНК до и после облучения в режиме моделирования цифрового флюорографического исследования органов грудной полости в прямой проекции на аппарате ФЦ-01 «Электрон».



Таким образом, экспериментальные данные указывают на то, что режим цифровой флюорографии не вызывает изменений в модельных системах, что может косвенно указывать на безопасность выполнения проверочной флюорографии органов грудной клетки.

*Особенности формирования и учета доз медицинского облучения при выполнении рентгенографических процедур*

За период с 2006 года по 2017 г. отмечается устойчивый рост выполнения рентгенографий с 2578754 процедур до 4810469 процедур в 2017 году (1,2 процедуры на 1 взрослого жителя РТ в год). Однако установлено, что значимое увеличение уровня коллективных эффективных доз вследствие рентгенографических процедур отсутствует ( $p=0,827$ ). Увеличение количества процедур происходит вследствие более, чем одиннадцатикратного (в 11,6 раза) увеличения ежегодно выполненных цифровых рентгенографических процедур. Использование высокочувствительных цифровых детекторов рентгеновского излучения позволяет значительно сократить дозу облучения пациентов. Средние индивидуальные дозы, рассчитанные на основе инструментальных измерений при цифровой рентгенографии органов грудной полости (ОГП), находятся в пределах  $0,15 \pm 0,024$  мЗв, при цифровой рентгенографии поясничного отдела позвоночника составляют  $0,28 \pm 0,044$  мЗв за процедуру. В то же время средние индивидуальные дозы при пленочной рентгенографии ОГП в прямой проекции, рассчитанные с предварительным измерением показателей произведения дозы на площадь (ПДП) и значений радиационного выхода (РВ), находятся в пределах  $0,3 \pm 0,092$  мЗв, поясничного отдела позвоночника в прямой проекции составляют  $0,7 \pm 0,12$  мЗв.

Преимущества внедрения цифровых технологий получения и обработки изображений с использованием высокочувствительных детекторов рентгеновского излучения наглядно прослеживаются на примере их использования при диагностике травм и заболеваний костно-суставной системы. В главе 3 показано значительное увеличение количества процедур на костно-суставной системе на 1000 населения ( $p=0,03$ ). Наряду с этим отсутствует статистически значимое изменение уровня коллективных эффективных доз медицинского облучения на 1000 населения от рентгенологических процедур для диагностики и контроля лечения травм ( $p=0,574$ ), в том числе на черепе, позвоночнике и костях туловища ( $p=0,672$ ). Рентгенологические исследования на конечностях характеризуются низкими уровнями средних индивидуальных доз за процедуру ( $0,014 \pm 0,007$  мЗв). В связи с этим даже при существенном увеличении количества данных процедур (в 2006 году – 688952, в 2017 году – 1267570), коллективная эффективная доза медицинского облучения населения, связанная с их выполнением, незначительна и составляет 17,8 чел.-Зв. Отмечается слабо значимое увеличение коллективных эффективных доз на 1000 населения ( $p=0,07$ ).

Процентное соотношение процедур по различным анатомическим областям с использованием рентгенографии в 2017 г. представлено на рисунке 8.





Рисунок 8. Структура рентгенографических процедур в РТ по видам исследуемых анатомических областей в 2017 году, %.

Динамика количества рентгенографических процедур, сопровождающихся вычислением эффективных доз облучения пациентов, основанном на измерении дозиметрических характеристик (ПДП и РВ), и доз, установленным на основании расчета по табличным данным, представлена на рисунке 9.



Рисунок 9. Изменения в количестве и соотношении выполненных рентгенографических процедур с расчетом и измерением дозы облучения пациентов в РТ за период с 2006 по 2017 годы, абсолютные значения.

Доля рентгенографических процедур, учет доз по которым осуществляется исключительно расчетным методом на основании табличных данных, остается значительной (42,1%). Для выяснения возможного влияния рентгеновского излучения, генерируемого при выполнении графических процедур, проведено исследование воздействия данных режимов излучения на модельные системы. С этой целью нами выбраны наиболее дозообразующие режимы, а именно – рентгенография поясничного отдела позвоночника в прямой и боковой проекциях на РДА, использующих пленочную технологию получения снимка.

При моделировании пленочной рентгенографии поясничного отдела позвоночника в прямой задней (режим 1) и боковой (режим 2) проекциях взрослому человеку старше 19 лет установлено, что режимы 1 и 2 обусловили токсичные эффекты на биологические образцы, культура частично погибает, либо теряет способность к размножению (число колониеобразующих единиц (КОЕ) снижается в 1,44 и в 1,48 раза соответственно по сравнению с необлученным вариантом). Были обнаружены слабые мутагенные эффекты используемых ре-

жимов облучения. Аналогичные исследования, проведенные на цифровых РДА позволили сделать вывод, что уровни и мощности доз генерируемого рентгеновского излучения не вызывают изменений в модельных системах на основе культур клеток.

*Особенности формирования и учета доз медицинского облучения при выполнении рентгеновских компьютерно-томографических процедур*

Абсолютное количество выполняемых РКТ исследований возросло с 51701 процедуры в 2006 г. до 279891 процедур в 2017 г. (рисунок 10).

Количество процедур, абсолютные числа



Рисунок 10. Динамика количества РКТ-процедур по зонам исследований, выполненных в РТ за период с 2006 по 2017 годы, абсолютные числа.

При этом отмечается рост количества процедур по всем зонам исследований (в 2017 г. 43,3% всех РКТ-процедур пришлось на область головы, 20,9% - на органы грудной полости, 19,2% - на позвоночник и опорно-двигательную систему, 16,6% - на органы брюшной полости и забрюшинного пространства). Соответственно увеличиваются уровни коллективных доз облучения населения при выполнении РКТ-исследований и возрастает роль РКТ в формировании годовой дозы от всех источников медицинского облучения (таблица 3). В 2017 году коллективная эффективная доза по причине выполняемых РКТ достигла максимального значения 1396,3 чел.-Зв. Структура коллективной дозы от различных РКТ-процедур представлена на рисунке 11.



Рисунок 11. Вклад РКТ-процедур по основным анатомическим областям исследования в коллективную эффективную дозу от РКТ в 2017 году, чел.-Зв.

Впервые в отчетных формах данные о дозах, полученных путем расчета, основанного на инструментальных измерениях, появились в 2013 году. С каждым годом доля таких данных увеличивается (в 2017 году 53,6% от общего количества процедур), контроль и учет доз становятся более объективными.

Для исследования влияния рентгеновского излучения, генерируемого при выполнении РКТ-процедур, на модельные системы нами выбраны наиболее дозобразующие режимы, а именно – РКТ брюшной полости и органов забрюшинного пространства. Оценка токсичности рентгеновского облучения, генерируемого томографом в режиме «Abdomen», показала, что данный режим обусловил ярко выраженный токсичный эффект, культура частично погибает, либо теряет способность к размножению (число КОЕ снижается в 4 раза по сравнению с необлученным вариантом) (рисунок 12).

Количество КОЕ, единицы

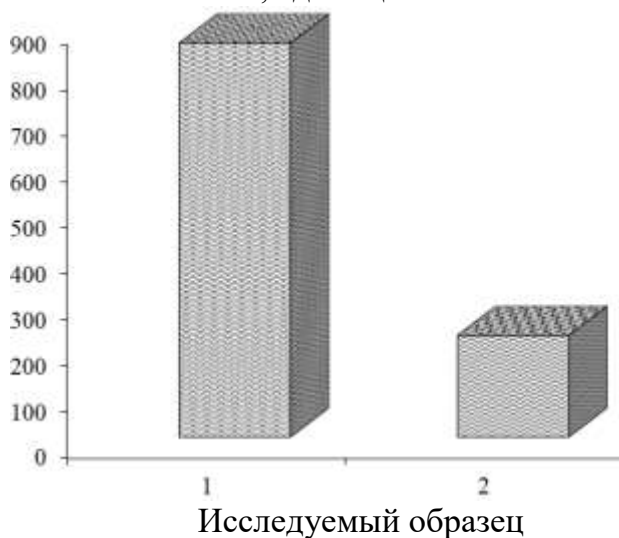


Рисунок 12. Количество КОЕ в контрольном образце без облучения (1) и в облученном образце при моделировании РКТ-исследования в режиме «Abdomen» (2).

Исследование методом ДРС влияния на растворы ДНК рентгеновского излучения, генерируемого в данном режиме, показало, что после облучения распределение частиц по размерам изменяется, становится бимодальным. В системе образуются частицы, средний размер которых составляет  $50 \pm 5$  и  $330 \pm 30$  нм (рисунок 13). Средний размер молекулярно-водных доменов в сотни нм приблизительно в 3 раза больше, чем в необлученном образце (рисунок 7), индекс полидисперсности растет (широкое распределение), частицы по размеру неоднородны (от 100 до 1200 нм) (рисунок 13).

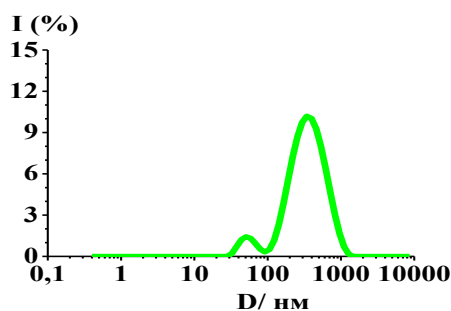


Рисунок 13. Распределение частиц по размеру в растворе ДНК после облучения, моделирующего РКТ брюшной полости и органов забрюшинного пространства в режиме «Abdomen», полученное методом ДРС.

По данным атомно-силовой микроскопии (АСМ) на поверхности слюдяной подложки при высыхании необлученного раствора ДНК образуется пленка и частицы с поперечными размерами от 30 до 300 нм и высотой 1-2 нм, которые возникают в результате формирования в растворе молекулярно-водных доменов, содержащих молекулы ДНК и упорядоченную воду (рисунок 14). На подложке при высыхании облученного раствора ДНК образуется пленка с разрывами и с шероховатостью до 40 нм и частицы с поперечными размерами от 50 до 1500 нм и высотой до 10 нм (рисунок 15).

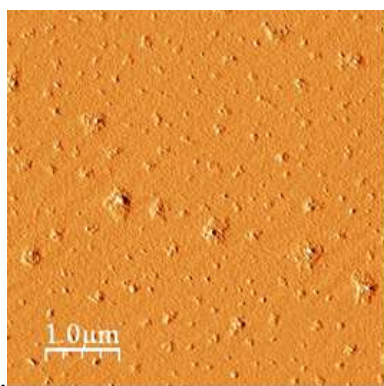


Рисунок 14. АСМ изображения осажденного на слюду водного раствора ДНК.

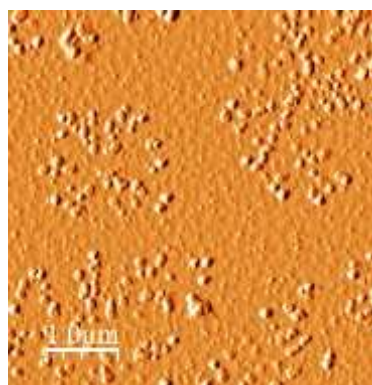


Рисунок 15. АСМ изображения осажденного на слюду водного раствора ДНК после облучения на РКТ в режиме «Abdomen»

Сравнение данных, найденных до и после облучения, говорит о нарушении структуры упорядоченной воды, формирующей плёнку, и укрупнении молекулярно-водных доменов ДНК. Результаты методов АСМ и ДРС согласуются, размеры частиц, обнаруженных обоими методами в необлученных и облученных образцах, совпадают. Установленные факты означают, что рентгеновское излучение, генерируемое при выполнении РКТ, разрушает структуру гидратных оболочек, стабилизирующих молекулы ДНК, в результате чего частицы группируются в структуры сложного строения и большего размера (рисунок 13, 15). В совокупности с воздействием продуктов радиолитического распада воды на молекулы ДНК это может привести к изменению их структуры и функций, а также служить причиной нарушения нормального функционирования живых клеток и основой токсического эффекта, наличие которого показано при облучении микроорганизмов в тесте на токсичность (рисунок 12).

*Особенности формирования и учета доз медицинского облучения при выполнении рентгеноскопических процедур*

Основными зонами исследования при рентгеноскопических процедурах являются органы грудной полости, верхние и нижние отделы желудочно-кишечного тракта. Начиная с 2006 года, отмечается тенденция к уменьшению количества выполняемых рентгеноскопических процедур (рисунок 16). Большинство современных РДА, используемых для рентгенографии в РТ, предусматривает работу режима просвечивания с автоматическим управлением экспозицией и оснащены средствами измерения дозы пациентов.



## Количество процедур, абсолютные числа

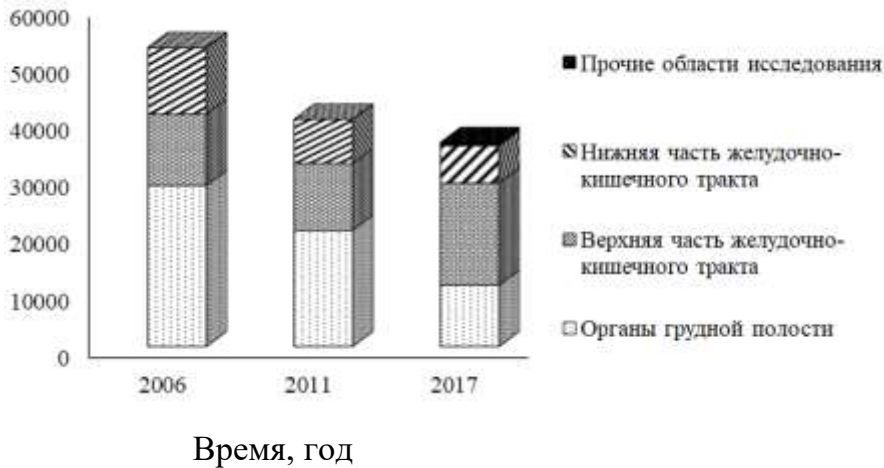


Рисунок 16. Динамика количества рентгеноскопических процедур по зонам исследований, выполненных в РТ за период с 2006 по 2017 годы, абсолютные числа.

В 2017 году 35483 рентгеноскопические процедуры (98,6% из общего количества) в РТ выполнены с измерением дозы облучения пациентов. Уровень коллективной дозы с 2006 по 2017 годы снизился в 2,4 раза с 155,8 до 63,6 чел.-Зв. Структура коллективной дозы от различных рентгеноскопических процедур представлена на рисунке 17.



Рисунок 17. Вклад рентгеноскопических процедур по основным анатомическим областям исследования в коллективную эффективную дозу в РТ от рентгеноскопии в 2017 году, чел.-Зв.

Рентгеноскопические исследования в 2017 году выполнялись в 24-х медицинских организациях. При исследовании верхней части желудочно-кишечного тракта средние индивидуальные дозы находились в пределах  $5,8 \pm 0,7$  мЗв за исследование. Средние индивидуальные дозы при исследовании нижней части желудочно-кишечного тракта находились в пределах  $7,3 \pm 0,9$  мЗв. Рентгеноскопия органов грудной полости сопровождалась дозой облучения пациента  $3,1 \pm 0,7$  мЗв.

Оценка токсичности рентгеновского излучения, генерируемого комплексом рентгенодиагностическим стационарным с использованием рабочего места для проведения рентгеноскопии, позволяет сделать вывод, что данный режим обусловил токсичный эффект на биологический образец, культура частично погибает, либо теряет способность к размножению (число КОЕ снижается в 1,8 раза по сравнению с необлученным вариантом). Проверка на мутагенность показала, что мутагенный эффект данного режима облучения на тестерный штамм в тесте Эймса не обнаружен.

### Особенности формирования и учета доз медицинского облучения при выполнении специальных рентгенологических процедур

К специальным исследованиям относятся рентгенологические исследования, характеризующиеся сложностью проведения, введением в организм рентгеноконтрастных веществ, выполнением хирургических вмешательств под контролем рентгеновского излучения. С каждым годом происходит рост количества процедур, связанных с реканализацией, эмболизацией, ангиопластикой, отмечается рост коронарографий, бронхографий, рентгено-эндоскопических и других видов исследований под контролем рентгеновского излучения. В 2006 г. выполнено 12279 специальных исследований, в 2017 г. - 23460. Структура выполненных в 2017 г. исследований представлена в таблице 4.

Таблица 4.

Количество специальных исследований по зонам вмешательств, выполненных в РТ в 2017 году.

№№	Зона исследования	Количество исследований, абсолютные числа	Количество исследований, %
1.	Органы грудной полости	17837	76,0
2.	Органы брюшинного пространства и малого таза	3226	13,8
3.	Органы брюшной полости	1161	5,0
4.	Голова	413	1,7
5.	Прочие локализации	823	3,5
6.	Всего	23460	100

До 2013 г. учет доз облучения пациентов при специальных рентгенологических исследованиях осуществлялся с использованием исключительно расчетного метода. При этом вне зависимости от анатомической зоны и вида вмешательства использовалось рекомендованное значение (10 мЗв). С 2013 г. начата организация учета доз облучения пациентов при помощи методов инструментального контроля (рисунок 18).

Количество исследований, абсолютные числа

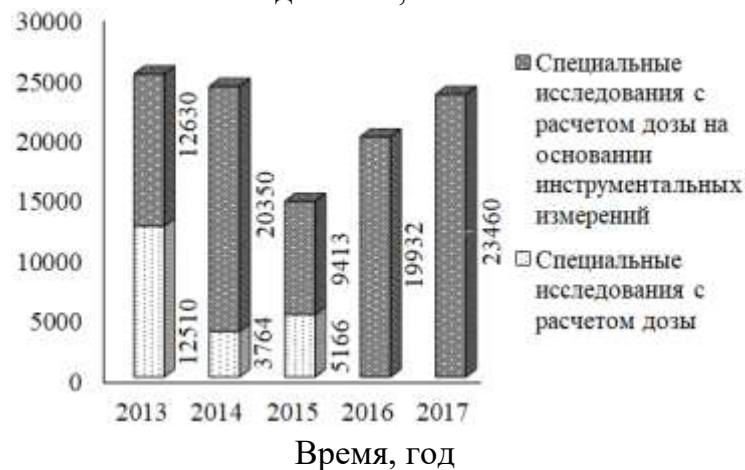
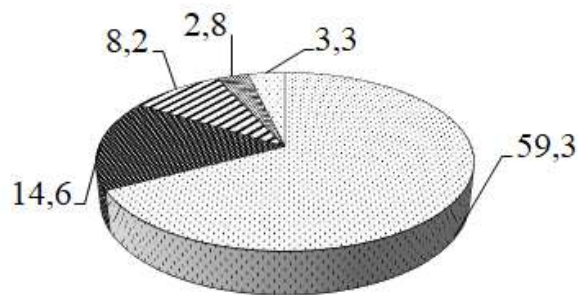


Рисунок 18. Изменение количества специальных исследований по способу учета доз облучения пациентов в РТ за период с 2013 по 2017 годы.

В 2016 и 2017 гг. учет доз по всем выполненным специальным исследованиям осуществлялся на основании предварительных измерений. Структура коллективной дозы от различных специальных исследований представлена на рисунке 19.



- ▣ Органы грудной полости (67,2%)
- ▣ Органы брюшной полости (16,6%)
- ▣ Органы забрюшинного пространства и малого таза (9,3%)
- ▣ Голова (3,2%)
- ▣ Прочие локализации (3,7%)

Рисунок 19. Структура коллективной дозы от различных специальных исследований в РТ в 2017 году, чел.-Зв.

Изучение влияния рентгеновского излучения на микроорганизмы при моделировании рентгенобронхологического исследования показало, что данный режим обусловил токсичный эффект на биологический образец, культура частично погибает, либо теряет способность к размножению (число КОЕ снижается в 1,96 раза). Установлено, что рентгеновское излучение при рассматриваемом режиме облучения оказывает слабый мутагенный эффект на используемые биологические образцы, в которых выявлено значительное превышение колоний-ревертантов над контролем (в 3 раза) (рисунок 20).

Количество колоний-ревертантов, единицы

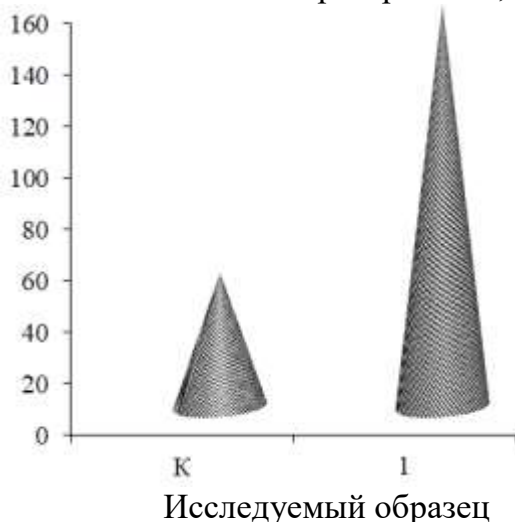


Рисунок 20. Количество колоний-ревертантов в контрольном образце без облучения (К) и в облученном образце при моделировании бронхографического исследования и бронхоскопии под контролем рентгеновского излучения (1).

Сравнительное изучение растворов ДНК до и после рентгеновского облучения методом ДРС свидетельствует о том, что облучение вызывает изменения в размерном распределении частиц (рисунок 21) существенно более выраженные, чем в случае облучения, генерируемого РКТ в режиме «Abdomen» (рисунок 13). Распределение также бимодальное, однако размеры частиц составляют

1,5±0,1 и 70±7 нм, свидетельствуя о том, что структура молекулярно-водного домена в значительной степени нарушена с возможным выделением молекул ДНК в отдельную дисперсную фазу. По данным АСМ на поверхности слюдяной подложки при высыхании облученного раствора ДНК образуется рваная пленка со средней толщиной 1,7 нм (рисунок 22).

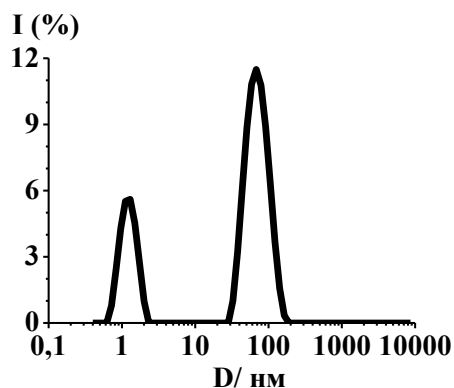


Рисунок 21. Распределение частиц по размеру в растворе ДНК после облучения при моделировании бронхографического исследования и бронхоскопии под контролем рентгеновского излучения.

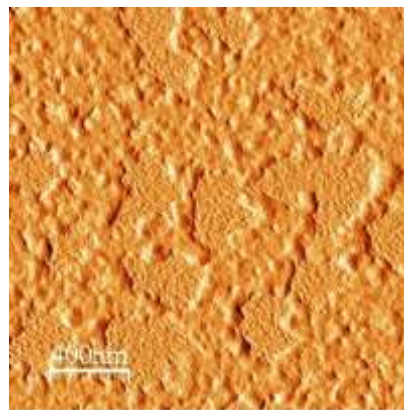


Рисунок 22. АСМ изображение осажденного на слюду раствора ДНК при моделировании бронхографического исследования и бронхоскопии под контролем рентгеновского излучения (см. результат необлученного образца на рисунке 14).

Облучение раствора ДНК сопровождается частичным разрушением молекулярно-водных доменов ДНК, вероятно, вследствие разупорядочивания структур воды, формирующих домен как дисперсную фазу, что может быть причиной появления токсичного влияния на культуру клеток, выражающегося в частичной гибели, утрате способности к размножению, а также в слабом мутагенном эффекте. Анализ данных, найденных при совместном изучении двух модельных систем в различных режимах облучения, позволяет сделать вывод о согласованности полученных результатов и высокой чувствительности модельных систем к воздействию диапазонов доз (мощностей доз) ионизирующей радиации, применяемых в медицинской диагностической практике. Предложенный подход открывает новые возможности для оценки используемых методик выполнения рентгенологических процедур и основных типов РДА по степени их радиационной безопасности, а также для рекомендаций по оптимальному выполнению наиболее дозообразующих процедур, позволяя расширить и дополнить имеющуюся официальную статистическую информацию для обоснованного рационального использования рентгенологических процедур, применяемых в медицинской практике.

#### **Уровни техногенного облучения медицинского персонала при использовании источников рентгеновского излучения для диагностики и лечения пациентов**

В 2012 г. с началом широкого внедрения в клиническую практику специальных дозообразующих методов диагностики и лечения доля численности



персонала с годовыми индивидуальными дозами общего облучения в диапазоне 2-5 мЗв возросла с 0,9% в 2010 г. до 20,5%; в диапазоне 1-2 мЗв – с 15,1% до 26,3%. К 2017 г. структура численности персонала, имеющего годовые индивидуальные дозы облучения в рассматриваемых диапазонах, вновь изменилась: в диапазоне 0-1 мЗв имеют индивидуальные дозы 86,6%, в диапазоне 1-2 мЗв – 12,0%, в диапазоне 2-5 мЗв – 1%.

Таким образом, ситуацию с техногенным облучением медицинского персонала, сложившуюся к 2017 г., можно охарактеризовать в целом как благополучную. Индивидуальные годовые эффективные дозы общего облучения медицинского персонала находятся в рамках основного предела дозы, равного 20 мЗв в год.

В целях оптимизации радиационного воздействия на медицинский персонал нами определена категория работников, у которых годовые индивидуальные эффективные дозы общего облучения находятся в пределах 5-12,5 мЗв, а также врачи и средний медицинский персонал, участвующие в выполнении инвазивных вмешательств под контролем рентгеновского излучения. Ведущими медицинскими организациями в РТ, выполняющими данные исследования, являются: МКДЦ, РКБ МЗ РТ, МСЧ КФУ (ранее, до 01.01.2016 – РКБ 2) ДРКБ, ГКБ №7, РКОД, расположенные в городе Казани, также МСЧ ОАО «Татнефть» и города Альметьевска, БСМП г. Набережные Челны. Среднее количество специальных исследований, выполненных в выбранных для исследования медицинских организациях за период с 2012 по 2017 гг., представлено в таблице 5.

За рассматриваемый период времени в медицинских организациях РТ наблюдается увеличение числа персонала, участвующего в выполнении оперативных вмешательств под контролем рентгеновского излучения. Данная тенденция характерна для всех категорий сотрудников: врачей по РЭДЛ (персонал группы А), врачей-нейрохирургов, привлекаемых при выполнении оперативных вмешательств (персонал группы Б), врачей-анестезиологов-реаниматологов (персонал группы Б), операционных медицинских сестер (персонал группы А).

Таблица 5.

Среднее количество выполненных специальных исследований в МКДЦ, МСЧ КФУ (РКБ 2), ГКБ №7, РКБ за период с 2012 по 2017 годы, абсолютные числа.

№№	Медицинская организация	Среднее количество исследований
1.	МКДЦ	3859,7±194,4
2.	МСЧ КФУ	2130,0±300,3
3.	ГКБ №7	2853,6±255,6
4.	РКБ	3385,0±461,9

В работе проведено сравнение эффективных доз общего облучения медицинских работников МКДЦ, МСЧ КФУ, ГКБ №7, РКБ, участвующих в выполнении вмешательств под контролем рентгеновского излучения за период с 2012 по 2017 гг., и эффективных доз общего облучения врачей-рентгенологов, рентгенлаборантов, которые не участвуют в выполнении таких исследований и про-

цедур. Нами установлено, что у врачей-специалистов, выполняющих инвазивные специальные исследования под контролем рентгеновского излучения значення годовых доз общего облучения достоверно выше, чем у врачей-рентгенологов, выполняющих другие исследования и процедуры ( $p < 0,001$ ). Также проведено сравнение эффективных доз общего облучения медицинских работников МКДЦ, МСЧ КФУ, ГКБ №7, РКБ, участвующих в выполнении вмешательств под контролем рентгеновского излучения за период с 2012 по 2017 годы, как между медицинскими организациями, так и внутри каждой из медицинских организаций. Установлено, что врачи по РЭДЛ МКДЦ имеют наибольшие годовые эффективные дозы общего облучения ( $p < 0,01$ ). В связи с этим определение эквивалентных доз в хрусталиках глаза у врачей и операционных медицинских сестер мы начали с этой медицинской организации.

В Нормах радиационной безопасности 99/2009 утвержден основной предел эквивалентной дозы в хрусталике глаза для персонала, использующего в своей деятельности ИИИ, равный 150 мЗв/год. Однако в Основных нормах безопасности МАГАТЭ установлен новый дозовый предел для хрусталика глаза, сниженный с 150 до 20 мЗв в год.

Мониторинг эквивалентных доз в хрусталике глаз медицинского персонала, выполняющего специальные исследования под контролем рентгеновского излучения с использованием термолюминесцентных дозиметров, показал, что у 33% врачей (7 врачей) по РЭДЛ из обследованного контингента (21 врач) годовые эквивалентные дозы в хрусталике глаза превышают либо приближаются к основному пределу, рекомендованному МАГАТЭ, и равному 20 мЗв.

Результаты определения эквивалентных доз в хрусталиках глаза, данные анамнеза, трудового стажа, профессионального маршрута и клинического обследования органов зрения 70% из этого числа врачей позволяют сделать вывод, что ранние изменения в органе зрения врачей, имеющих годовую эквивалентную дозу в хрусталиках приближающуюся или превышающую, рекомендованную МАГАТЭ, связаны с воздействием рентгеновского излучения.

### **Образовательные мероприятия для формирования компетенций безопасной работы с рентгеновским излучением у медицинского персонала**

Эффективное использование современного оборудования для лучевой диагностики с соблюдением требований радиационной безопасности пациентов и персонала предполагает соответствующие компетенции медицинских работников, основанные на знаниях клинической медицины, медицинской радиобиологии, основ получения диагностических изображений, дозиметрии.

Результаты настоящего исследования, касающиеся величины, структуры лучевых нагрузок на пациентов и персонал, влияния рентгеновского излучения на выбранные модельные системы, включены в разработанный образовательный модуль «Физические основы методов лучевой диагностики и вопросы радиационной безопасности». Учебно-методический материал данного модуля ежегодно актуализируется и включается в образовательные программы высшего и дополнительного профессионального образования. В КГМА нами разработаны и реализуются программы профессиональной переподготовки и повыше-

ния квалификации по специальности «Рентгенология», в том числе 5 из них - в системе непрерывного медицинского образования (НМО): «Дифференциальная рентгенодиагностика заболеваний органов дыхания», «МРТ и РКТ органов малого таза у мужчин и женщин в норме и патологии», «Дифференциальная рентгенодиагностика органов желудочно-кишечного тракта», «Дифференциальная рентгенодиагностика в остеологии», «Дифференциальная рентгенодиагностика в нейрорентгенологии». Обязательным современным требованием к проектированию и реализации образовательных программ является их практикоориентированность, соответствие требованиям профессиональных стандартов. В профессиональном стандарте врача-рентгенолога уделяется значительное внимание обеспечению требований радиационной безопасности, снижению лучевых нагрузок на пациентов и медицинский персонал. В целях оценки сформированности компетенций использовалось анкетирование слушателей в начале и по завершении обучения. Результаты свидетельствуют о высокой степени готовности использовать сформированные компетенции, умения и навыки в практической деятельности для оптимизации безопасности лучевых нагрузок на пациентов и персонал при выполнении рентгенологических исследований и процедур (94% положительных ответов) (рисунок 23).



Рисунок 23. Распределение ответов на вопрос «Используете ли Вы знания, полученные при освоении дополнительных профессиональных программ, в своей практической деятельности?», %.

Внедрение выпускниками образовательных программ в деятельность медицинских организаций усовершенствованных методик по снижению лучевых нагрузок привело к снижению коллективных эффективных доз облучения пациентов в 3,7 раза (рисунок 24) и средних годовых доз общего облучения персонала с  $1,2 \pm 0,2$  мЗв до  $0,48 \pm 0,11$  мЗв, а также к замещению в диагностическом процессе дозообразующих методик на современные методы, не связанные с воздействием ионизирующей радиации.

Е, чел.-Зв

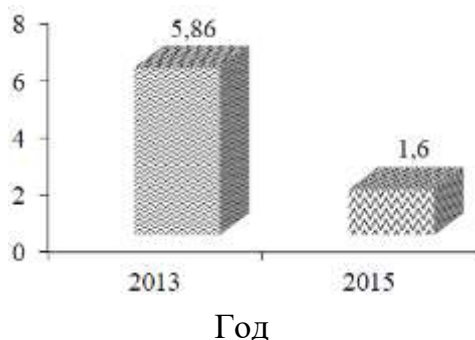


Рисунок 24. Динамика коллективных эффективных доз облучения пациентов при проведении специальных исследований (Е, чел.-Зв), полученных на основании контроля доз в ГАУЗ РКБ №2 за период с 2013 по 2015 годы, чел.-Зв.

Адресная реализация практикоориентированных образовательных программ, повышение компетенций врачей-специалистов является одним из путей оптимизации безопасности радиационного воздействия на пациентов и медицинский персонал при выполнении рентгенологических процедур.

Начиная с 2011 года, организован обмен информацией между следующими участниками исследования: КГМА, Управлением Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по РТ, Республиканским медицинским информационно-аналитическим центром (РМИАЦ) и медицинскими организациями (рисунок 25).



Рисунок 25. Схема информационного взаимодействия по вопросу оптимизации уровней медицинского облучения пациентов и техногенного облучения медицинских работников в Республике Татарстан.

С использованием предложенных подходов за период с 2006 по 2017 годы определены города и административные районы, в которых показатели количества рентгенологических процедур на 1000 населения, коллективной эффективной дозы на 1000 населения, первичной заболеваемости среди основных возрастных групп на 1000 среднегодового постоянного населения соответствующего возраста, распространенности болезней (болезненности) среди основных возрастных групп на 1000 среднегодового постоянного населения соответствующего возраста достоверно отличаются от среднереспубликанских значений.

На основе полученных данных выявлены приоритетные направления работы по снижению доз облучения пациентов при выполнении рентгенологических исследований. Установлено, что максимальная коллективная эффективная доза формируется в городах и административных районах, медицинские организации которых оснащены так называемой «тяжелой» техникой для лучевой диагностики (РКТ, ангиографические комплексы и т.д.), таких как Казань, Набережные Челны, а также районы: Елабужский, Нижнекамский, Альметьевский, Бугульминский, Чистопольский, Сабинский. Одновременно проанализирована ситуация с первичной заболеваемостью и распространенностью болезней. В городах Казани, Набережных Челнах, Елабужском, Нижнекамском, Бугульминском районах данные показатели также превышают среднереспубликанские значения, что делает обоснованным применение рентгеновского излучения для лучевой диагностики заболеваний и контроля их лечения. Для врачей-специалистов (врачи-рентгенологи, врачи по РЭДЛ), работающих в медицинских организациях данных городов и районов, целесообразна реализация образовательных программ с включением вопросов по обеспечению радиаци-

онной безопасности, применению щадящих режимов проведения исследований и рентгенологических процедур.

Нами также проанализирована ситуация в тех районах, где количество рентгенологических исследований на 1000 населения ниже среднереспубликанских значений, а показатели заболеваемости и болезненности достоверно выше. К таким районам относятся Мензелинский, Муслюмовский, Алексеевский. Для врачей-рентгенологов и направляющих на исследования специалистов клинического профиля (в рамках проекта НМО), работающих в данных районах, целесообразна реализация образовательных программ по возможностям лучевых методов для ранней диагностики заболеваний.

Таким образом, предложенная схема взаимодействия (рисунок 25) и полученные результаты исследования позволяют разрабатывать и внедрять корректирующие мероприятия по оптимизации радиационного воздействия на пациентов и медицинский персонал.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

### **ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ**

Выполненные исследования позволили разработать концепцию оптимизации радиационного воздействия на пациентов и медицинский персонал при проведении рентгенологических процедур.

В работе выявлены закономерности, характеризующиеся зависимостью количества выполненных рентгенологических процедур на 1000 среднегодового постоянного населения от показателей здоровья по основным группам заболеваний в целом по РТ. Наличие такой зависимости свидетельствует об обоснованности использования источников рентгеновского излучения в целях лучевой диагностики. Нарушение выявленной взаимосвязи может свидетельствовать об избыточном или недостаточном использовании методов рентгенологической диагностики в практике здравоохранения.

В ходе выполнения исследования поставлена и решена задача по изучению динамики показателей медицинского облучения населения РТ. Установлено, что произошедшие за последние десятилетия изменения в материально-техническом оснащении службы лучевой диагностики влияют на уровни лучевых нагрузок населения. Показано интенсивное и разнонаправленное изменение коллективных эффективных доз по двум видам рентгенологических исследований: флюорографии и РКТ.

Выявлено, что несмотря на проводимые мероприятия по инструментальному учету доз облучения пациентов, остается значительной доля доз, учтенных только на основании данных, полученных расчетным путем, без предварительных измерений (723,1 чел.-Зв из общего значения, равного 2059,6 чел.-Зв).

С целью повышения объективности оценки степени радиационной опасности рентгенологических процедур, применяемых в медицинской практике в работе сформулирована научная идея и разработан комплекс дозиметрических, биологических, физико-химических, клинических методов для уточнения степени радиационного риска различных методов рентгенологических исследований. Предложен научно обоснованный подход, базирующийся на использова-

нии модельных систем, чувствительных к воздействию малых доз ионизирующей радиации. Данный подход позволяет определять степень радиационной безопасности используемых методик выполнения рентгенологических процедур и основных типов рентгенодиагностических аппаратов, а также рекомендовать щадящие методики выполнения наиболее дозообразующих процедур, к которым относятся, в частности, рентгенэндоваскулярные вмешательства.

Полученные результаты статистического анализа данных многолетнего мониторинга эффективных доз общего облучения медицинских работников, использующих в своей деятельности ИИИ, позволили определить группу риска по техногенному облучению. Статистическая обработка данных, собранных с использованием современных методов дозиметрии, показала, что данную группу можно подразделить на несколько категорий. В группу наибольшего риска отнесены врачи по РЭДЛ. С помощью разработанных подходов статистически достоверно установлены медицинские организации, в которых работники получают максимальные годовые эффективные дозы общего облучения, что в свою очередь позволило адресно провести мероприятия по определению эквивалентных доз облучения хрусталика глаза медицинского персонала, участвующего в выполнении вмешательств под контролем рентгеновского излучения, и рекомендовать меры профилактики.

С целью повышения уровня компетенций, осведомленности и культуры работы с источниками ионизирующих излучений результаты настоящего исследования внедрены в образовательный процесс подготовки по программам высшего образования и в дополнительные профессиональные программы врачей-специалистов. На основе впервые разработанных образовательных программ по использованию наиболее безопасных щадящих режимов выполнения рентгенологических процедур, повышению их степени радиационной безопасности оценен уровень сформированности компетенций врачей-специалистов, завершивших обучение по данным программам.

Использование предложенных в исследовании подходов позволяет определять медицинские организации и административные районы субъекта Российской Федерации, где показатели радиационного воздействия на пациентов и медицинский персонал имеют тенденции к увеличению, оценивать обоснованность и взаимосвязь изменений показателей облучения пациентов и показателей состояния здоровья населения рассматриваемой территории, а также разрабатывать и применять корректирующие мероприятия по снижению доз медицинского и техногенного облучения в практике здравоохранения.

## **ВЫВОДЫ**

1. Установлена зависимость количества выполненных рентгенологических процедур на 1000 среднегодового постоянного населения от показателей здоровья населения (первичная заболеваемость, распространенность болезней) по основным группам заболеваний, что в целом по Татарстану подтверждает обоснованность существующих уровней медицинского облучения населения.
2. В последние 12 лет происходит увеличение влияния на население электромагнитного рентгеновского излучения, используемого для диагностики па-

тологических состояний различных органов и систем, с 1789,9 чел.-Зв в 2006 году до 2059,6 чел.-Зв в 2017 году. Наиболее интенсивно и разнонаправленно изменяются показатели коллективных эффективных доз по двум направлениям: флюорография и РКТ. Вклад РКТ в формирование коллективной эффективной дозы населения возрос с 18,0% в 2006 году (322,8 чел.-Зв из 1789,9 чел.-Зв) до 67,8% в 2017 году (1396,3 чел.-Зв из 2059,6 чел.-Зв). Увеличение доли использования цифровых рентгенологических технологий при проведении массовых профилактических осмотров органов грудной клетки сопровождается достоверным уменьшением лучевых нагрузок на обследуемые контингенты населения ( $p < 0.001$ ).

3. Показано, что в рассматриваемый период времени произошли положительные изменения в области контроля и учета доз облучения пациентов. Количество доз, учтенных на основании предварительных инструментальных измерений, возросло с 614,4 чел.-Зв в 2006 году (34,3% в общей структуре доз за 2006 год) до 1336,5 чел.-Зв в 2017 году (64,9% в общей структуре доз за 2017 год). При этом доля доз, учтенных исключительно расчетным путем в 2017 году, остается значительной и составляет 35,1% (723,1 чел.-Зв из общего значения, равного 2059,6 чел.-Зв), что снижает точность объективной оценки степени радиационной опасности рентгенологических процедур, применяемых в медицинской практике, и затрудняет принятие решений о необходимости применения мер по оптимизации радиационного воздействия на пациентов.

4. Разработаны модельные системы, чувствительные к воздействию малых доз ионизирующей радиации, применяемых в медицинской рентгенологической практике (тестерные микроорганизмы с использованием теста Эймса и водно-молекулярные структуры ДНК), позволяющие дополнить сведения о степени радиационной безопасности используемых методов в ряду: цифровая флюорография - пленочная рентгенография – рентгеноскопия – РКТ - специальные исследования.

5. Индивидуальные годовые эффективные дозы общего облучения медицинского персонала в последние 12 лет находятся в рамках основного предела дозы, который равен 20 мЗв. У врачей-специалистов, выполняющих инвазивные специальные исследования под контролем рентгеновского излучения, значения годовых доз общего облучения достоверно выше, чем у врачей-рентгенологов, выполняющих другие исследования и процедуры ( $p < 0,001$ ). Результаты определения эквивалентных доз в хрусталиках глаза, данные анамнеза, трудового стажа, профессионального маршрута и клинического обследования органов зрения 5-ти из 21-го врача по РЭДЛ, позволяют сделать вывод, что ранние изменения в органе зрения этих врачей связаны с воздействием рентгеновского излучения.

6. Внедрение методик одномоментной селективной катетеризации артерий при рентгенэндоваскулярных вмешательствах приводит к снижению коллективных эффективных доз облучения пациентов в 3,7 раза и средних годовых доз общего облучения персонала с  $1,2 \pm 0,2$  мЗв до  $0,48 \pm 0,11$  мЗв.

7. Результаты анкетирования врачей-слушателей, завершивших обучение по дополнительным профессиональным программам повышения квалификации, основанным на результатах настоящего исследования, свидетельствуют о высокой степени готовности использовать сформированные компетенции по безопасной работе с источниками ионизирующих излучений для оптимизации влияния лучевых нагрузок на пациентов и персонал при выполнении рентгенологических исследований и процедур (94,0% положительных ответов).

### **ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

1. Руководителям органов управления здравоохранением:

1.1. С учетом полученных данных рекомендуется проведение аудита деятельности медицинских организаций в тех административных районах РТ, в которых отсутствует взаимосвязь между количеством выполняемых рентгенологических процедур на 1000 постоянного среднегодового населения и показателями первичной заболеваемости, распространенности болезней по основным группам заболеваний населения. В таких случаях необходимо установить причины недостаточного либо избыточного использования рентгенологических методов для диагностики соответствующих групп заболеваний.

1.2. Целесообразно осуществлять дальнейшую модернизацию парка рентгенодиагностического оборудования с заменой аналоговых технологий на цифровые.

1.3. Рекомендовать адресную реализацию образовательных программ с включением модуля «Физические основы методов лучевой диагностики и вопросы радиационной безопасности» для врачей-специалистов тех медицинских организаций, в которых существует тенденция к увеличению уровней облучения пациентов и медицинского персонала.

2. Руководителям медицинских организаций:

2.1. Принимая во внимание тенденцию доминирующей роли РКТ в формировании годовых коллективных эффективных доз медицинского облучения населения Татарстана, рекомендовать уделять особое внимание обоснованности назначения РКТ-процедур пациентам.

2.2. Завершить организационные, технические мероприятия по контролю и учету индивидуальных доз облучения пациентов на основании инструментальных методов измерения.

2.3. Усилить радиационный контроль эквивалентных доз облучения хрусталика глаза медицинских работников, участвующих в выполнении инвазивных вмешательств под контролем рентгеновского излучения. Рекомендовать проведение комплекса организационных, технических, санитарно-гигиенических, медико-профилактических мероприятий в целях профилактики ранних изменений в органах зрения данной категории медицинского персонала.

3. Врачам по РЭДЛ:

3.1. Рекомендовать использование методик одномоментной селективной катетеризации артерий при выполнении рентгенэндоваскулярных вмешательств с целью снижения лучевых нагрузок на пациентов и медицинский персонал.



3.2. Использовать индивидуальные дозиметры для определения эквивалентных доз в хрусталике глаза во время проведения вмешательств.

3.3. С целью продления профессионального долголетия осуществлять профилактику ранних изменений в органе зрения.

### **Список научных работ, опубликованных по теме диссертации**

1. Рыжкин С.А. Основные этапы становления и перспективные направления развития системы массовой профилактической флюорографии органов грудной клетки / С.А. Рыжкин, М.К. Михайлов, Р.А. Зарипов // Казанский медицинский журнал. – 2006. – Т. 87. – № 2. – С. 134-140. 7/2,3 с. ИФ-0,451.
2. Михайлов М.К. Обеспечение радиационной безопасности экономически активного населения при проверочной флюорографии органов грудной полости с использованием цифровых технологий / М.К. Михайлов, С.А. Рыжкин, С.И. Иванов, И.Г. Низамов, Ф.М. Валитов, Н.Ф. Зайнутдинова // Общественное здоровье и здравоохранение. – 2006. – № 4. – С. 97-101. 5/0,8 с. ИФ-0,208.
3. Рыжкин С.А. Динамика коллективных эффективных доз облучения населения Республики Татарстан от различных источников ионизирующих излучений за период с 1998 по 2010 годы / С.А. Рыжкин, Р.К. Исмагилов, М.А. Пяташина // Общественное здоровье и здравоохранение. – 2012. – № 3. – С. 76-82. 7/2,3 с. ИФ-0,208.
4. Рыжкин С.А. Изменение структуры годовой коллективной эффективной дозы медицинского облучения населения Республики Татарстан за период с 1998 по 2010 годы / С.А. Рыжкин, С.И. Иванов, Р.К. Исмагилов, М.А. Пяташина // Казанский медицинский журнал. – 2012. – Т. 93. – № 5. – С. 811-816. 6/1,5 с. ИФ-0,451.
5. Маргулис А.Б. Генотоксические эффекты облучения на рентгенокомпьютерных томографах / А.Б. Маргулис, С.А. Рыжкин, А.Н. Слесарева, Н.В. Белоногова, В.Я. Пономарев, О.Н. Ильинская // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17. - №14. - С. 380-382. 3/0,5 с.
6. Маргулис А.Б. Генотоксические эффекты рентгеновского облучения / А.Б. Маргулис, С.А. Рыжкин, А.Н. Слесарева, И.С. Захаров, В.Я. Пономарев, О.Н. Ильинская // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – Т. 17. - №15. - С. 175-178. 4/0,7 с.
7. Шарафутдинов Б.М. Оптимизация доз облучения пациентов при проведении эмболизации маточных артерий у больных с миомами матки и маточными кровотечениями по модифицированной методике / Б.М. Шарафутдинов, С.А. Рыжкин // Вестник новых медицинских технологий [Электронный ресурс]. – 2014. - Т.8. - №1 – Режим доступа: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2014-1/00.html>. 5/2,5 с. ИФ-0,452.
8. Рыжкин С.А. Современные особенности формирования уровней медицинского облучения населения Республики Татарстан при выполнении рентгенологических процедур / С.А. Рыжкин, С.И. Иванов, М.А. Пяташина

на, Р.К. Исмагилов, Н.А. Акопова, С.В. Логинова, Д.Р. Насыбуллин // Радиационная гигиена. – 2015. – Т. 8. - №1. – С. 45-54. 10/1,4 с. ИФ-0,713.

9. Лебедева Н.Е. Влияние высокоразбавленных водных растворов и слабых физических полей на поведение водных организмов / Н.Е. Лебедева, Ю.В. Кисилева, С.Ю. Сергеева, И.С. Рыжкина, А.И. Коновалов, С.А. Рыжкин // Бутлеровские сообщения. – 2015. – Т. 42. - №5. С.8-18. 11/1,8 с. ИФ-0,428.

10. Шарафутдинов Б.М. Снижение лучевых нагрузок на пациентов при рентгенэндоваскулярных вмешательствах у больных с сердечно-сосудистыми заболеваниями с использованием усовершенствованной методики / Б.М. Шарафутдинов, С.Ю. Сергеева, С.А. Рыжкин // Вестник медицинского института «РЕАВИЗ»: Реабилитация, Врач и Здоровье. – 2015. - №4(20). – С. 26-31. 6/2,0 с. ИФ-0,071.

11. Ахатов А.Ф. Опыт использования магнитно-резонансной томографии матки и ее придатков с контрастированием в качестве альтернативы рентгеновской гистеросальпингографии / А.Ф. Ахатов, С.А. Рыжкин, М.К. Михайлов // Вестник рентгенологии и радиологии. – 2016. – Т. 97. - №5. – 268-273. 6/2,0 с. ИФ-0,305.

12. Рыжкина И.С. Особенности самоорганизации и свойств высокоразбавленных водных растворов полиоксония / И.С. Рыжкина, С.Ю. Сергеева, Р.А. Сафиуллин, С.А. Рыжкин, А.Б. Маргулис, Л.И. Муртазина, А.П. Тимошева, А.В. Чернова, М.К. Кадиров, А.И. Коновалов // Известия Академии наук. Серия химическая. – 2016. - №6. – С. 1505-1513. [Ryzhkina I.S. Specifics of self-organization and properties of highly dilute aqueous solutions of polyoxidonium / I.S. Ryzhkina, S.Y. Sergeeva, R.A. Safiullin, S.A. Ryzhkin, A.V. Margulis, L.I. Murtazina, A.P. Timosheva, A.V. Chernova, M.K. Kadirov, A.I. Kononov // Russian Chemical Bulletin. – 2016. – V. 65. – № 6. - P. 1505-1513. (Engl. Transl.)]. 9/0,9 с. ИФ-0,966.

13. Охрименко С.Е. Оптимизация доз облучения пациентов при проведении рентгенодиагностических исследований / С.Е. Охрименко, И.П. Коренков, Н.А. Акопова, С.А. Рыжкин, С.И. Иванов // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2016. – Т. 61. - №4. – С. 48-51. 4/0,8 с. ИФ-0,359.

14. Галеева Г.З. Воздействие ионизирующего излучения на человека и орган зрения / Г.З. Галеева, С.А. Рыжкин, С.Ю. Сергеева // Практическая медицина. – 2016. - №7(99). – С. 37-41. 5/1,7 с. ИФ-0,467.

15. Рыжкин С.А. О первых результатах комплексного изучения влияния ионизирующего излучения на медицинский персонал при выполнении хирургических вмешательств под рентгеновским контролем / С.А. Рыжкин, А.Н. Слесарева // Вестник медицинского института «РЕАВИЗ»: Реабилитация, Врач и Здоровье. – 2016. - №3(23). – С. 110-114. 5/2,5 с. ИФ-0,071.

16. Рыжкин С.А. Лучевая катаракта в свете современных научно-исследовательских достижений в офтальмологии (обзор) / С.А. Рыжкин, Г.З. Галеева, С.Ю. Сергеева // Вестник медицинского института

**«РЕАВИЗ»: Реабилитация, Врач и Здоровье. – 2016. - №4(24). – С. 37-42. 6/2,0 с. ИФ-0,071.**

**17. Рыжкин С.А. Опыт использования различных методик одномоментной селективной катетеризации артерий при рентгенэндоваскулярных вмешательствах с целью снижения лучевой нагрузки на пациентов / С.А. Рыжкин, Б.М. Шарафутдинов, М.К. Михайлов // Вестник рентгенологии и радиологии. – 2017. – Т. 98. - №1. – С. 30-35. 6/2,0 с. ИФ-0,305.**

**18. Рыжкин С.А. Клиническое изучение состояния органа зрения и определение эквивалентных доз облучения хрусталика глаза у медицинского персонала, участвующего в выполнении хирургических вмешательств под контролем рентгеновского излучения / С.А. Рыжкин, А.Н. Слесарева, Г.З. Галеева, С.И. Иванов // «Радиация и риск» Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра. – 2017. – Т. 26. - № 3. – С. 90-99. 10/2,5 с. ИФ-0,425.**

**19. Тюрин И.Е. Положения, этапы и организационные вопросы аккредитации медицинских работников / И.Е. Тюрин, С.А. Рыжкин, Л.А. Низовцова, М.К. Михайлов // Вестник рентгенологии и радиологии. – 2017. – Т. 98. - №3. – С.153-158. 6/1,5 с. ИФ-0,305.**

**20. Тюрин И.Е. Новый подход к непрерывному профессиональному образованию / И.Е. Тюрин, С.А. Рыжкин, Л.А. Низовцова, М.К. Михайлов // Вестник рентгенологии и радиологии. – 2017. – Т. 98. - №4. – С. 204-206. 3/0,75 с. ИФ-0,305.**

**21. Рыжкин С.А. Использование методов генетической токсикологии для оценки повреждающего действия ионизирующих излучений электромагнитной природы на геномы / С.А. Рыжкин, А.Б. Маргулис, Б.М. Куриченко // Вестник Российского государственного медицинского университета. – 2017. – №3. – С. 82-86. 5/1,7 с. ИФ-0,326.**

**22. Рыжкин С.А. Методы профилактики изменений в органе зрения у медицинского персонала, участвующего в выполнении хирургических вмешательств под контролем рентгеновского излучения / С.А. Рыжкин, Г.З. Галеева // Практическая медицина. – 2017. - №6. – С. 121-126. 6/3,0 с. ИФ-0,467.**

**23. Рыжкин С.А. О влиянии изменений в структуре выполняемых рентгенодиагностических процедур на радиационно-гигиенические показатели медицинского облучения населения / С.А. Рыжкин, Р.А. Зарипов, С.И. Иванов, Р.К. Исмагилов, Р.Р. Газизов, Д.Р. Насыбуллин, С.Ю. Сергеева // Материалы VIII Всероссийского национального конгресса лучевых диагностов и терапевтов «Радиология-2014». – М., 2014. – С. 444-445.**

**24. Рыжкин С.А. О результатах внедрения цифровых технологий рентгенологического скрининга заболеваний органов грудной полости с точки зрения обеспечения радиационной безопасности населения / С.А. Рыжкин, Р.А. Зарипов, С.И. Иванов, Р.К. Исмагилов, Р.Р. Газизов, Д.Р. Насыбуллин, С.Ю. Сергеева // Материалы VIII Всероссийского национального конгресса лучевых диагностов и терапевтов «Радиология-2014». – М., 2014. – С. 445-446.**

25. Рыжкина И.С. Влияние рентгеновского излучения в диапазоне доз, используемых при медицинских исследованиях, на самоорганизацию и свойства водных растворов ДНК / И.С. Рыжкина, С.Ю. Сергеева, Л.И. Муртазина, О.А. Мишина, М.К. Кадиров, Р.А. Сафиуллина, С.А. Рыжкин, А.И. Коновалов // Материалы XXVI Симпозиума «Современная химическая физика». – Туапсе, 2014. – С. 326.
26. Рыжкина И.С. Поиск простых модельных систем для оценки влияния рентгеновского излучения на биологические объекты / И.С. Рыжкина, С.Ю. Сергеева, Л.И. Муртазина, С.А. Рыжкин // Материалы XXVI Симпозиума «Современная химическая физика». – Туапсе, 2014. – С. 335.
27. Сергеева С.Ю. Самоорганизация и физико-химические свойства водных растворов ДНК в широкой области концентраций / С.Ю. Сергеева, О.А. Мишина, Л.И. Муртазина, А.П. Тимошева, И.С. Рыжкина, С.А. Рыжкин, А.И. Коновалов // Материалы XXI Всероссийской конференции «Структура и динамика молекулярных систем». – Уфа, 2014. – С. 57.
28. Рыжкин С.А. Возможность использования модифицированной методики эмболизации маточных артерий (ЭМА) с целью снижения доз облучения пациентов / С.А. Рыжкин, Б.М. Шарафутдинов, С.Ю. Сергеева, А.Ф. Ахатов // Материалы VII Научно-образовательного форума с международным участием «Медицинская диагностика – 2015» и IX Всероссийского национального конгресса лучевых диагностов и терапевтов «Радиология-2015». – М., 2015. – С. 237-238.
29. Ryzhkin S.A Comparative study of the X-ray diagnostic procedures safety using bacterial test-systems / S.A. Ryzhkin, A.B. Margulis, N.V. Belonogova, O.N. Iinskaya // International Workshop on Ionizing and non-ionizing radiation influence on structure and biophysical properties of living cells. Abstracts. - Tsaghkadzor, Armenia, 2015. – P. 60-61.
30. Рыжкина И.С. Высокорастворимые водные растворы пероксида водорода: взаимосвязь самоорганизации и свойств / И.С. Рыжкина, Л.И. Муртазина, А.П. Тимошева, С.Ю. Сергеева, С.А. Рыжкин, А.И. Коновалов // Материалы IX Международной конференции «Биоантиоксидант». – М., 2015.– С. 160.
31. Сергеева С. Ю. Радиопротекторные свойства разбавленных водных растворов полиоксидония в модельных системах на основе тестерных штаммов бактерий и растворов ДНК / С.Ю. Сергеева, И.С. Рыжкина, С.А. Рыжкин, А.Б. Маргулис // Материалы IX Международной конференции «Биоантиоксидант». – М., 2015.– С. 167.
32. Михайлов М.К. Магнитно-резонансная томография органов грудной полости на аппаратах с индукцией магнитного поля 3 тесла как возможная альтернатива рентгеновской компьютерной томографии / М.К. Михайлов, С.А. Рыжкин, А.Ф. Ахатов, С.Ю. Сергеева // Материалы Конгресса российской ассоциации радиологов. – СПб., 2015.– С. 242-243.
33. Ахатов А.Ф. О результатах использования магнитно-резонансной томографии матки и ее придатков с контрастированием в качестве альтернативы рентгеновской гистеросальпингографии / А.Ф. Ахатов, С.А. Рыжкин, М. К. Михай-

лов // Материалы Юбилейного Конгресса Российского общества рентгенологов и радиологов. – СПб., 2016.– С. 15-16.

34. Слесарева А.Н. О результатах индивидуального дозиметрического контроля медицинского персонала при выполнении хирургических вмешательств под контролем рентгеновского излучения / А.Н. Слесарева, С.А. Рыжкин, С.И. Иванов, С.Е. Охрименко // Материалы Юбилейного Конгресса Российского общества рентгенологов и радиологов. – СПб., 2016.– С. 192-193.

35. Рыжкин С.А. Использование усовершенствованной методики для снижения лучевых нагрузок на пациентов при рентгенэндоваскулярных вмешательствах на коронарных артериях / С.А. Рыжкин, Б.М. Шарафутдинов, С.Ю. Сергеева, М.К. Михайлов // Материалы VIII Научно-образовательного форума с международным участием «Медицинская диагностика – 2016» и X Юбилейного Всероссийского национального конгресса лучевых диагностов и терапевтов «Радиология-2016». – М., 2016. – С. 212.

36. Рыжкин С.А. О результатах определения эквивалентных доз облучения хрусталика глаза у врачей и среднего медицинского персонала при выполнении хирургических вмешательств под контролем рентгеновского излучения / С.А. Рыжкин, Б.М. Шарафутдинов, С.Е. Охрименко, О.В. Кирюхин, С.Ю. Сергеева, С.И. Иванов // Материалы VIII Научно-образовательного форума с международным участием «Медицинская диагностика – 2016» и X Юбилейного Всероссийского национального конгресса лучевых диагностов и терапевтов «Радиология-2016». – М., 2016. – С. 295-296.

37. Рыжкин С.А. Дозиметрия хрусталика глаза и клиническое изучение органа зрения персонала, выполняющего рентгенохирургические вмешательства / С.А. Рыжкин, Г.З. Галеева, А.Н. Слесарева, М.К. Михайлов // Материалы Конгресса Российского общества рентгенологов и радиологов. – СПб., 2017.– С. 156-157.

38. Рыжкин С.А. Снижение доз облучения пациентов при использовании различных методик одномоментной селективной катетеризации артерий при рентгенэндоваскулярных вмешательствах / С.А. Рыжкин, Б.М. Шарафутдинов, М.К. Михайлов, Р.К. Исмагилов // Материалы Конгресса Российского общества рентгенологов и радиологов. – СПб., 2017.– С. 157-158.

39. Тюрин И. Е. Современные особенности дополнительного профессионального образования врачей - специалистов в области лучевой диагностики / И.Е. Тюрин, Р.Ш. Хасанов, М.К. Михайлов, С.А. Рыжкин // Материалы Конгресса Российского общества рентгенологов и радиологов. – СПб., 2017.– С. 187.

40. Рыжкин С.А. Комплексное использование дозиметрических и клинических методов для профилактики начальных изменений в органе зрения медицинских работников, выполняющих инвазивные вмешательства под контролем рентгеновского излучения / С.А. Рыжкин, Г.З. Галеева, А.Н. Слесарева // Радиационная гигиена и радиационная безопасность государства: история, современное состояние и перспективы развития: материалы научно-практической конференции. – М., 2017.– С. 72-73.

41. Рыжкин С.А. Влияние использования методик одномоментной селективной катетеризации артерий на степень радиационной безопасности пациентов при

рентгенэндоваскулярных вмешательствах / С.А. Рыжкин, Б.М. Шарафутдинов, Р.К. Исмагилов // Радиационная гигиена и радиационная безопасность государства: история, современное состояние и перспективы развития: материалы научно-практической конференции. – М., 2017.– С. 73.

42. Алехнович А.В. Новый этап подготовки врачей по радиационной гигиене в системе непрерывного профессионального образования / А.В. Алехнович, Н.А. Аكوпова, Е.П. Ермолина, С.Е. Охрименко, С.А. Рыжкин // Радиационная гигиена и радиационная безопасность государства: история, современное состояние и перспективы развития: материалы научно-практической конференции. – М., 2017.– С. 123-125.

43. Иванов С.И. Эпигенетические эффекты действия радиации: учебное пособие / С.И. Иванов, Н.Н. Котов, С.Е. Охрименко, С.А. Рыжкин, М.К. Михайлов // ГОУ ДПО КГМА Росздрава. – Казань.: ГОУ ДПО КГМА, 2013. – 37 с.

44. Иванов С.И. Биологические эффекты малых доз облучения: учебное пособие / С.И. Иванов, Н.Н. Котов, Н.А. Аكوпова, С.А. Рыжкин, В.И. Рыбашлыков, С.А. Костенко // ГБОУ ДПО «Российская медицинская академия последипломного образования». – М.: ГБОУ ДПО РМАПО, 2014. – 72 с.

### Список сокращений

АСМ – атомно-силовая микроскопия

БСК – болезни системы кровообращения

ДНК – дезоксирибонуклеиновая кислота

ДРС – динамическое рассеяние света

ЗНО – злокачественные новообразования

ИБС – ишемическая болезнь сердца

ИИИ – источник ионизирующего излучения

КОЕ – колониеобразующая единица

КЭД – коллективная эффективная доза

МКРЗ – Международная комиссия по радиационной защите

НМО – непрерывное медицинское образование

ОГП – органы грудной полости

ПДП – произведение дозы на площадь

РВ – радиационный выход

РДА – рентгенодиагностический аппарат

РКТ – рентгеновская компьютерная томография

РМИАЦ – Республиканский медицинский информационно-аналитический центр

РЭДЛ – рентгенэндоваскулярные диагностика и лечение