

**Капырина Юлия Николаевна**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ДЕТЕЙ ПРИ  
ПРОВЕДЕНИИ ИНТЕРВЕНЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ПРИМЕРЕ  
ПЕДИАТРИЧЕСКОЙ МНОГОПРОФИЛЬНОЙ КЛИНИКИ**

3.2.1. Гигиена

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата медицинских наук

Казань – 2025

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации

**Научный руководитель:**

кандидат медицинских наук, доцент

**Пузырев Виктор Геннадьевич**

**Официальные оппоненты:**

**Рыжкин Сергей Александрович** – доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент АН РТ, заведующий кафедрой радиологии, радиотерапии, радиационной гигиены и радиационной безопасности имени академиков А.С. Павлова и Ф.Г. Кроткова федерального государственного бюджетного образовательного учреждения дополнительного профессионального образования «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

**Станжевский Андрей Алексеевич** – доктор медицинских наук, заместитель директора по научной работе федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

**Ведущая организация:**

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Южно-Уральский федеральный научно-клинический центр медицинской биофизики» Федерального медико-биологического агентства.

Защита диссертации состоится «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 г. в \_\_\_\_ часов на заседании объединенного диссертационного совета 99.2.061.02 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Казанский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации и федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Приволжский исследовательский медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации (420012, г. Казань, ул. Бутлерова, д. 49).

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО Казанский ГМУ Минздрава России (420012, г. Казань, ул. Бутлерова, д. 49б) и на сайте организации (<https://kazangmu.ru>)

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
доктор медицинских наук, доцент

**Тaufеева Елена Анатольевна**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** Использование ионизирующих излучений в медицине для лечения и диагностики является одним из главных источников радиации, воздействующих на человека. Этот вид облучения вносит значительный вклад в коллективную дозу населения, причем его уровень постоянно растет из-за увеличения числа рентгенорадиологических исследований и применения высокоинформативных методов диагностики, зачастую с высокой дозой облучения (Балонов М.И. и др., 2023; Барковский А.Н., 2021).

Дети являются приоритетной категорией для радиационной защиты в связи с их максимальной радиочувствительностью, бóльшим периодом дожития и, как следствие, высокими шансами развития радиационно-индуцированных новообразований. К сожалению, вопросы радиационной защиты детей в Российской Федерации освещены недостаточно. В частности, отсутствует актуальная достоверная информация об уровнях облучения детей при проведении высокодозовых высокоинформативных исследований (компьютерная томография, интервенционные исследования, радионуклидные исследования) (Онищенко Г.Г., 2019).

Интервенционные исследования характеризуются более высокими дозами облучения пациентов по сравнению с обычными рентгенологическими исследованиями. В результате проведения таких исследований возможно появление как стохастических (радиационно-индуцированные новообразования, наследуемые эффекты), так и детерминированных эффектов (лучевые поражения кожи, эритема, эпиляция и т.д.) (Балонов М.И. и др., 2023).

**Степень разработанности темы исследования.** В отечественной практике основные принципы радиационной защиты взрослых и детей при медицинском облучении отражены во всех основополагающих нормативных документах. Но, к сожалению, в них не представлена специфика радиационной защиты детей. Кроме этого, отсутствуют детальные сведения о структуре лучевой диагностики и достоверные источники по уровню облучения детей при проведении интервенционных исследований. Данные по уровню облучения при проведении интервенционных исследований у детей ограничены исследованиями сосудов сердца.

В отечественной практике эффективные дозы у пациентов оценивают согласно МУ 2.6.1.3584-19 «Изменения в МУ 2.6.1.2944-11 «Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований» на базе измеренных дозовых характеристик пациентов (произведение дозы на площадь) и коэффициентов перехода от выбранных дозовых характеристик к эффективной дозе. Недостатком данного способа является: ограниченное количество представленных исследований, отсутствие специфики видов выбранных рентгенологических исследований с изменяемой геометрией облучения, отсутствие учета реальных параметров (режимов) исследований, отсутствие учета характеристик используемого рентгеновского оборудования. В отношении интервенционных исследований у

детей коэффициенты перехода представлены только для исследований сосудов сердца.

**Цель исследования:** совершенствование радиационной защиты детей при проведении интервенционных исследований в условиях многопрофильной клинической больницы.

**Задачи исследования:**

1. Проанализировать структуру интервенционных исследований и уровни облучения детей разных возрастных категорий в многопрофильной клинической больнице.

2. Разработать способ оценки эффективных доз у детей разных возрастных категорий при проведении интервенционных исследований.

3. Оценить эффективные дозы и радиационные риски детей разных возрастных категорий при проведении наиболее распространенных видов интервенционных исследований.

4. Разработать и научно обосновать мероприятия по совершенствованию радиационной защиты детей при проведении интервенционных исследований.

**Научная новизна.** Получены новые научные данные об уровнях облучения детей разных возрастных категорий при прохождении интервенционных исследований. Самыми распространенными являются интервенционные вмешательства на периферических сосудах (37,4%) с уровнем облучения от 2 до 115565  $\text{сГр}\cdot\text{см}^2$ , а также интервенционные вмешательства на органах желудочно-кишечного тракта и трахеобронхиального дерева (28,5%) с уровнем облучения от 1 до 73814  $\text{сГр}\cdot\text{см}^2$ . Наиболее высокодозовыми исследованиями являются интервенционные вмешательства на сердце и магистральных сосудах грудной клетки (9,2%) с уровнем облучения от 24 до 37936  $\text{сГр}\cdot\text{см}^2$ , а также интервенционные вмешательства на области головы и шеи (6,3%) с уровнем облучения от 10 до 317101  $\text{сГр}\cdot\text{см}^2$ .

Впервые представлен способ оценки эффективных доз для рентгенологических исследований с изменяемой геометрией облучения. Данный способ позволяет учитывать все дозообразующие параметры (возраст и антропометрические характеристики пациента; физико-технические параметры такие как толщина и состав дополнительных фильтров, напряжение на рентгеновской трубке, произведение дозы на площадь; положение рентгеновской трубки относительно пациента, угол облучения, объем поля облучения, область исследования, расстояние от фокуса рентгеновской трубки до детектора изображения), а также получить значения поглощенных доз в органах и тканях пациента для дальнейшей оценки радиационных рисков с учетом структуры облучения, пола и возраста.

Разработаны и научно обоснованы коэффициенты перехода от значений произведений дозы на площадь к эффективной дозе при выполнении баллонной пластики пищевода (10,7  $\text{мкЗв}/\text{сГр}\cdot\text{см}^2$ ) и рентгенэндоваскулярной окклюзии тестикулярных вен у детей (2,5  $\text{мкЗв}/\text{сГр}\cdot\text{см}^2$ ).

Разработана и научно обоснована система мероприятий по совершенствованию радиационной защиты детей при проведении

интервенционных исследований путем обеспечения регистрации, контроля и учета индивидуальных доз пациентов.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Теоретическая значимость диссертационного исследования заключается в разработке комплексной системы сбора данных, которая позволяет достоверно оценивать уровни облучения детей при проведении интервенционных исследований. Показано, что предложенная система учитывает все ключевые дозообразующие факторы, что повышает точность и достоверность оценки радиационной нагрузки на пациентов педиатрического профиля. Внедрение такой системы способствует дальнейшему развитию методологии радиационной защиты детей в медицинской практике.

Для решения задач по контролю и учету доз пациентов предложена классификация интервенционных исследований, которая подразделяет их в зависимости от цели проведения, анатомической области и возрастной категории пациента.

Разработан научно-обоснованный способ оценки эффективных доз пациентов педиатрического профиля при проведении интервенционных исследований. Предложенный способ позволяет более точно и комплексно оценивать уровни радиационного воздействия на пациентов с учетом их возрастных особенностей, что способствует дальнейшему совершенствованию методологии радиационной защиты.

Разработаны рекомендации по оптимизации радиационной защиты детей при проведении интервенционных исследований. Предложенные рекомендации вносят вклад в развитие методологии радиационной безопасности в педиатрической практике, способствуя повышению эффективности мер по минимизации радиационного воздействия на наиболее чувствительный контингент пациентов.

Практическая значимость диссертационного исследования заключается в:

- разработке способа оценки эффективных доз для рентгенологических исследований с изменяемой геометрией облучения (Евразийский патент на изобретение № 042819 от 28.03.2023);
- разработке коэффициентов перехода от значений произведений дозы на площадь к эффективной дозе при выполнении баллонной пластики пищевода и рентгенэндоваскулярной окклюзии тестикулярных вен у детей;
- регистрации базы данных (Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023622270 от 06.07.2023);
- регистрации трех программ для ЭВМ (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023686696 от 08.12.2023; № 2023686697 от 08.12.2023; № 2023687927 от 19.12.2023);
- разработке двух учебных пособий (Оптимизация радиационной защиты в лучевой диагностике: (учебное пособие); Оценка радиационного риска по данным радиационно-гигиенической паспортизации территорий: (учебное пособие)).

Материалы диссертационного исследования внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВО СПбГПМУ Минздрава России, ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева, а также в практику клиники ФГБОУ ВО СПбГПМУ Минздрава России.

**Методология и методы исследования** организованы в соответствии с поставленными целью и задачами. В дизайне исследования использованы гигиенические, аналитические, расчетные и статистические методы исследования.

#### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Разработанный способ оценки эффективных доз для рентгенологических исследований с изменяемой геометрией облучения позволяет достоверно определять органные и эффективные дозы пациентов с учетом всех дозообразующих параметров, структуры облучения, пола и возраста.

2. При проведении баллонной пластики пищевода (интервенционные вмешательства на органах желудочно-кишечного тракта и трахеобронхиального дерева) детям от 1 до 2 лет значения эффективных доз по данным ретроспективной оценки составили 5 (1-145) мЗв, по данным проспективной оценки - 1,5 (0,3-2,5) мЗв за процедуру. При проведении рентгенэндоваскулярной окклюзии тестикулярных вен (интервенционные вмешательства на периферических сосудах) детям от 12 до 18 лет значения эффективных доз по данным ретроспективной оценки составили 10 (1-219) мЗв, по данным проспективной оценки - 10,3 (2,9-26,5) мЗв за процедуру.

3. Разработанная система оптимизации радиационной защиты детей при проведении интервенционных исследований обеспечивает регистрацию всех дозовых характеристик (произведение дозы на площадь и поглощенная доза в коже), позволяя произвести расчет эффективных доз с использованием коэффициентов перехода от значений произведения дозы на площадь к эффективной дозе или путем моделирования облучения, а также контроль дозы облучения путем сравнения дозовых характеристик с установленными индикаторными показателями, что дает возможность в дальнейшем индивидуально подходить к оценке радиационного риска.

**Достоверность полученных результатов** определена репрезентативным объемом выборки, использованием специализированного программного обеспечения, современных методов исследования и статистической обработки массива полученных данных. Выводы соответствуют поставленным цели и задачам исследования, согласуются с результатами.

**Апробация результатов исследования.** Результаты исследования доложены и обсуждены на VIII Всероссийской научно-практической конференции производителей рентгеновской техники (Санкт-Петербург, 2021); XIII Международном конгрессе «Невский радиологический форум 2022» (Санкт-Петербург, 2021); Конгрессе с международным участием «Здоровые дети – будущее страны (Санкт-Петербург, 2021); Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Радиационная гигиена и непрерывное профессиональное образование: новые вызовы и пути развития»,

посвященной 65-летию кафедры радиационной гигиены и радиационной безопасности имени академика Ф.Г. Кроткова (Москва, 2022); Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Радиационная гигиена: итоги и перспективы» (Санкт-Петербург, 2022); Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 60-летию курса "Радиационная гигиена" кафедры гигиены условий воспитания, обучения, труда и радиационной гигиены Северо-Западного государственного медицинского университета им. И.И. Мечникова (Санкт-Петербург, 2022); Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Актуальные вопросы радиационной гигиены» (Санкт-Петербург, 2023); VI Всероссийском научно-образовательном конгрессе с международным участием «Онкорadiология, лучевая диагностика и терапия» (Москва, 2023); Конференции «Angiopicture-2024» при научной и информационной поддержке «Российского научного общества интервенционных кардиоангиологов» (Сочи, 2024); Национальном конгрессе с международным участием «Здоровые дети – будущее страны» (Санкт-Петербург, 2024).

**Личный вклад автора.** Автором определены цель и задачи, этапы, объем и методы проведения исследования; проанализированы отечественные и зарубежные литературные источники, нормативно-правовая база по теме диссертации; проведен сбор первичного материала; статистическая обработка; сформулированы выводы; разработаны практические рекомендации; подготовлены публикации; написана и оформлена рукопись.

**Публикации.** В рамках темы диссертации была опубликована 21 печатная работа, включая 8 статей в научных журналах, рекомендованных Высшей аттестационной комиссии Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, в том числе 5 – в научных изданиях, входящих в базу данных Scopus. Кроме этого, зарегистрирован Евразийский патент на изобретение, база данных и 3 программы для ЭВМ.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы из 160 источников (из которых 52 отечественных и 108 зарубежных), 4 приложений. Работа изложена на 127 страницах, содержит 11 таблиц и проиллюстрирована 17 рисунками.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

В **первой главе** представлен обзор литературы по теме диссертационного исследования.

Во **второй главе** изложены методологические аспекты работы. Исследование проводилось на базе клиники ФГБОУ ВО СПбГПМУ Минздрава России, отделение рентгенохирургических методов диагностики и лечения. В период с 2017 по 2022 год было проанализировано 3748 интервенционных исследований, которые были проведены детям разных возрастных категорий, с использованием записей в журналах проведения исследований и цифровых архивов изображений. Данные о 228 интервенционных исследованиях для

проспективного анализа были собраны с использованием специально разработанных анкет в ходе прямой регистрации рентгенологических данных непосредственно во время проведения исследований.

Оценка эффективных доз (ЭД) и связанных с ними радиационных рисков для здоровья пациентов в ходе интервенционных исследований осуществлялась поэтапно:

- разработка моделей облучения для различных типов интервенционных исследований, основанных на информации о параметрах исследования, анатомических областях, проекциях облучения и движении рентгеновской трубки;
- создание модели с использованием специализированных программ (например, РСХМС 2.0.);
- сбор необходимых характеристик для каждого этапа рентгеноскопии и рентгенографии;
- определение органных и расчет ЭД для различных участков тела с помощью ПО РСХМС 2.0;
- вычисление эффективных и поглощенных доз за весь период исследования на основе значения произведения дозы на площадь (ПДП) с учетом геометрии облучения и физических параметров рентгеновского пучка;
- оценка пожизненного риска потенциальных радиогенных последствий для здоровья вследствие вмешательства в соответствии с методическими рекомендациями МР 2.6.1.0215-20 «Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований»;
- разработка упрощенных моделей облучения с меньшим количеством полей облучения;
- определение коэффициентов перехода (КП) от значения ПДП к эффективной или к поглощенной дозе в органах и тканях.

Анализ полученных в ходе исследования данных проводился на основе статистических методов, реализованных программном решении Statistica 10. Для сопоставления двух определенных параметров применялся U-критерий Манна – Уитни. Анализ взаимосвязей между различными переменными осуществлялся с применением методов корреляционно-регрессионного анализа. Сравнение выборок выполнялось с помощью однофакторного дисперсионного анализа, критерия Краскела – Уоллиса и медианного теста. Данные представлены в виде среднее значение  $\pm$  среднеквадратическое отклонение.

**В третьей главе** представлены результаты анализа структуры интервенционных исследований в клинике ФГБОУ ВО СПбГПМУ Минздрава России.

В исследуемый период было выявлено увеличение количества интервенционных исследований, которые выполняли детям разных возрастных категорий. Наиболее часто в педиатрической практике проводились интервенционные исследования на органах желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) и трахеобронхиального дерева (35%). На втором месте по количеству



исследований – интервенционные вмешательства на периферических сосудах (34%) (Рисунок 1).

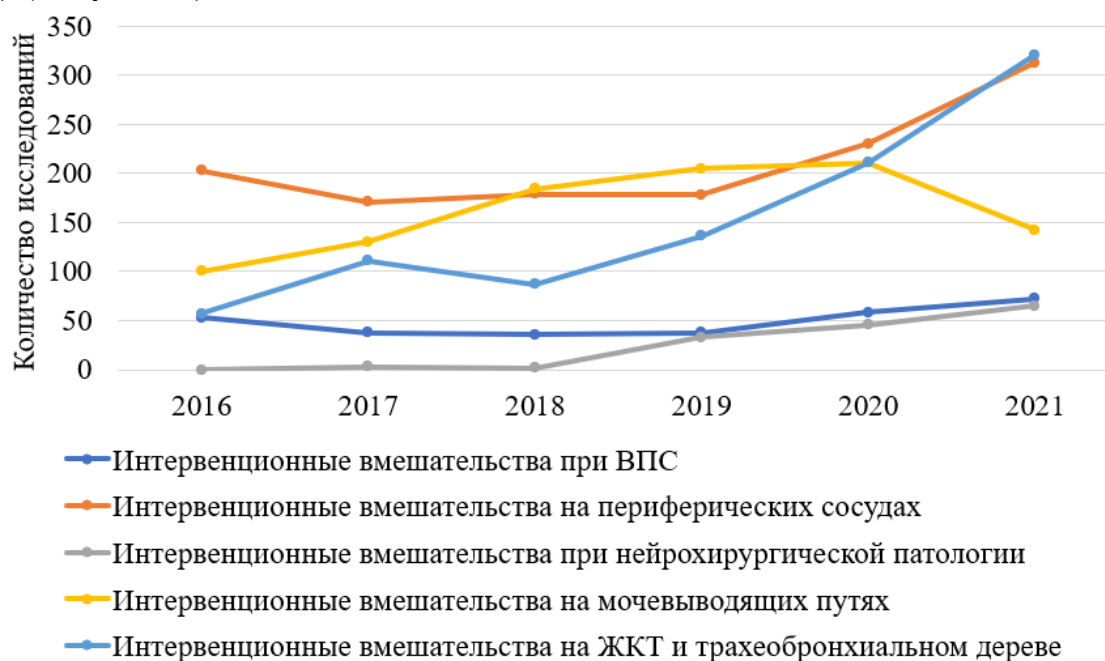


Рисунок 1 – Виды интервенционных вмешательств, выполненных с 2016 по 2021 год

Интервенционные вмешательства на органах ЖКТ и трахеобронхиального дерева за исследуемый период чаще всего выполняли в области грудной клетки детям от 0 до 7 лет: из 312 диагностических исследований 195 выполнялось детям возрастной категории «0 лет», а из 535 исследований, выполненных с лечебной целью, 159 вмешательств было проведено на педиатрических пациентах из категории «1 год» и 169 – из категории «5 лет». Наиболее распространенными процедурами с лечебной целью стали вмешательства на периферических сосудах детям возрастной группы «15 лет» (313 исследований из 479), а также вмешательства в области брюшной полости и таза на подростках старше 15 лет (147 исследований).

Следует отметить, что выполнение ряда интервенционных исследований были ассоциированы с высокими значениями ПДП: для 343 исследований ПДП составило более 10 000 сГр·см<sup>2</sup>, для 36 – более 50 000 сГр·см<sup>2</sup> и для 9 исследований – более 100 000 сГр·см<sup>2</sup>. При этом, для 83 исследований поглощенная доза в коже была выше 2000 мГр (порога развития детерминированных эффектов в коже); большинство этих исследований относились к интервенционным вмешательствам на области головы и шеи, выполненных с лечебной целью.

В четвертой главе представлены результаты оценки эффективных доз детей и соответствующих радиационных рисков при проведении интервенционных исследований.

Среди интервенционных исследований, проводимых на органах ЖКТ и трахеобронхиального дерева, баллонная пластика пищевода выполнялась наиболее часто. Данное вмешательство проводилось преимущественно детям в

возрасте 1–2 лет. Данная процедура подразделяется структурно на пять полей облучения, осуществляемых в задне-передней проекции.

В результате исследования были получены ЭД облучения у детей из выбранной категории, которые варьировались в достаточно широком диапазоне – от 0,3 до 2,5 мЗв. Полученные различия в суммарной ЭД могут быть обусловлены сложностью такого вида вмешательства, спецификой и тяжестью заболевания, а также индивидуальными особенностями пациентов.

С учетом собранных данных была разработана упрощенная модель для более точной оценки уровня облучения, которому подвержены дети в возрасте от 1 до 2 лет во время баллонной пластики пищевода. Эта модель представляет собой одно поле облучения (Таблица 1).

Таблица 1 – Расчетная модель облучения при проведении баллонной пластики пищевода

| Поле   | Координаты |   |   | Размер поля | Проекция | Орган   | Ориентиры                                                                            |
|--------|------------|---|---|-------------|----------|---------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|        | X          | Y | Z |             |          |         |                                                                                      |
| Поле 1 | 0          | 6 | 5 | 20 × 20     | З-П      | Пищевод |  |

В процессе построения упрощенной модели были установлены значения ЭД, в диапазоне от 0,34 до 4,06 мЗв. Сравнивая ЭД, рассчитанные пятипольной и однопольной моделей, можно заметить, что относительное различие колеблется в пределах от –16 до 20%. Поскольку выявленные несоответствия в результатах не являются значительными, упрощенная расчетная модель на основе одного поля облучения практически сохраняет точность вычисления.

Коэффициенты перехода от значения ПДП к ЭД составили  $(10,7 \pm 1,15)$  мкЗв/сГр·см<sup>2</sup> для многопольной модели облучения и  $(8,27 \pm 1,82)$  мкЗв/сГр·см<sup>2</sup> для упрощенной.

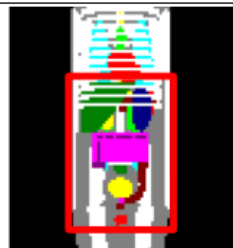
При выполнении баллонной пластики пищевода большинство интервенционных исследований относилось к категории низкого радиационного риска или очень низкого радиационного риска ( $1,07 \cdot 10^{-4} - 4,32 \cdot 10^{-5}$ ).

Рентгенэндоваскулярная окклюзия тестикулярных вен являлась самым распространенным вмешательством на периферических сосудах, выполненных на отделении за исследуемый период. Структура рентгенэндоваскулярной окклюзии тестикулярных вен для детей в возрасте от 12 до 17 лет включает четыре поля облучения в задне-передней проекции. В соответствии с этими полями облучения в программном обеспечении РСХМС 2.0 были созданы модели облучения и определены ЭД для каждой анатомической области с учетом геометрии облучения пациента и физико-технических характеристик пучка рентгеновского излучения.

Значения ЭД составили  $10,3 \pm 5,8$  мЗв за процедуру. При этом минимальное значение ЭД составило 2,9 мЗв, максимальное – 26,5 мЗв. Такие различия могут быть связаны со спецификой и тяжестью заболевания, с анатомическими особенностями каждого пациента, с продолжительностью выполнения интервенционного вмешательства.

В рамках упрощенной модели результаты определения эффективных доз показали диапазон значений от 1,9 до 17,7 мЗв, среднее значение составило  $7,7 \pm 4,1$  мЗв (Таблица 2). Относительные изменения доз составили от -19% до 35%. Эти колебания подтверждают, что разница между двумя методами моделирования незначительна, что позволяет использовать менее сложный подход без существенной потери точности в оценке доз облучения.

Таблица 2 – Упрощенная модель облучения при выполнении рентгенэндоваскулярной окклюзии тестикулярных вен для детей возрастной категории «15 лет»

| Поле   | Координаты |   |    | Размер поля | Проекция | Орган                                | Ориентиры                                                                            |
|--------|------------|---|----|-------------|----------|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|        | X          | Y | Z  |             |          |                                      |                                                                                      |
| Поле 1 | 0,3        | 9 | 15 | 45x55       | 3-П      | Левая/<br>правая<br>яичковая<br>вена |  |

На основании полученных значений ЭД были посчитаны КП от ПДП к ЭД. Значения КП при проведении рентгенэндоваскулярной окклюзии тестикулярных вен составили для многопольной модели облучения  $2,5 \pm 0,7$  мкЗв/сГр·см<sup>2</sup>, для упрощенной однопольной модели  $1,9 \pm 0,4$  мкЗв/сГр·см<sup>2</sup>.

Большинство интервенционных исследований, выполненных при рентгенэндоваскулярной окклюзии тестикулярных вен, относились к категории низкого радиационного риска. Для единичных пациентов радиационный риск относился к категории умеренного ввиду сложности проводимого исследования и анатомических особенностей отдельных пациентов.

В **пятой главе** представлено обоснование системы мероприятий по совершенствованию радиационной защиты детей при проведении интервенционных исследований.

В соответствии с предложенной системой мероприятий этап регистрации доз облучения пациентов должен включать в себя регистрацию основных дозовых характеристик – ПДП, которое в дальнейшем используется для оценки ЭД и радиационных рисков, а также максимальная поглощенная доза в коже для своевременного выявления случаев проявления детерминированных эффектов.

Расчетные дозовые величины (ЭД) используются для оценки дозы облучения для отдельных пациентов и вычисляются с помощью КП (от измеренной дозы к эффективной). Еще один способ оценки ЭД заключается в

использовании специальных моделей (патент на изобретение № 042819 от 28.03.23).

Для решения повседневных задач для подавляющего большинства пациентов возможно достоверно оценивать дозы с использованием однополюсных моделей облучения. В том случае, если интервенционное исследование проводилось не по стандартной методике или значение ПДП в ходе всего исследования превысило  $500\,000\text{ сГр}\cdot\text{см}^2$ , следует использовать модель, определенную несколькими полями облучения конкретного пациента.

Контроль доз облучения детей сводится к сравнению дозовых характеристик с установленными индикаторными показателями и последующей оценке радиационного риска.

Если значение ПДП превышает  $300\text{--}600\text{ Гр}\cdot\text{см}^2$  (в зависимости от вида проведенного интервенционного исследования), необходимо учесть возможность развития кожных поражений.

Если максимальная поглощенная доза в коже за исследование составила от 2 Гр, пациента или его законного представителя необходимо проинформировать о возможных последствиях и предложить обратиться к профильному специалисту (консультация дерматолога).

Если значения ЭД в результате проведения интервенционного исследования составили более 200 мЗв, необходимо направить такого ребенка на консультацию к онкологу для решения вопроса о дальнейшем наблюдении и скрининга онкологических заболеваний на ранних стадиях.

Оценку радиационного риска необходимо проводить, чтобы информировать пациентов или их представителей о диагностической/лечебной пользе исследования, а также о вероятности развития негативных радиационно-индуцированных эффектов. В том случае, когда ПДП за интервенционное исследование составило менее  $100\,000\text{ сГр}\cdot\text{см}^2$ , радиационный риск рассчитывается с использованием действующих методик. Если более  $100\,000\text{ сГр}\cdot\text{см}^2$ , радиационный риск оценивается на основании поглощенных доз в радиочувствительных органах и тканях в соответствии с утвержденными методиками. Данные значения можно получить при использовании предложенных в этой работе моделей облучения пациентов.

Результатом учета доз пациентов на уровне отдельного кабинета являются стандартные дозы. Стандартные дозы должны использоваться для заполнения форм государственной статистической отчетности (форма № 3-ДОЗ), для идентификации избыточного облучения пациентов, а также в качестве индикаторов по проведению оптимизации радиационной защиты.

## ВЫВОДЫ

1. Результаты сбора данных показали, что среди интервенционных исследований, проводимых в педиатрической многопрофильной клинике, самыми распространенными являются интервенционные вмешательства на периферических сосудах (37,4%) с уровнем облучения от 2 до  $115565\text{ сГр}\cdot\text{см}^2$ , а также интервенционные вмешательства на органах желудочно-кишечного

тракта и трахеобронхиального дерева (28,5%) с уровнем облучения от 1 до 73814 сГр·см<sup>2</sup>. Наиболее высокодозовыми исследованиями являются интервенционные вмешательства на сердце и магистральных сосудах грудной клетки (9,2%) с уровнем облучения от 24 до 37936 сГр·см<sup>2</sup>, а также интервенционные вмешательства на области головы и шеи (6,3%) с уровнем облучения от 10 до 317101 сГр·см<sup>2</sup>. Выполнение ряда интервенционных исследований были ассоциированы с высокими значениями ПДП (более 50000 сГр·см<sup>2</sup>) и значениями поглощенной дозы в коже выше 2000 мГр. Более 70% данных исследований относились к интервенционным вмешательствам на области головы и шеи, они являются наиболее перспективными для оптимизации радиационной защиты детей.

2. Разработан способ оценки эффективных доз у детей разных возрастных категорий при проведении рентгенологических исследований с изменяемой геометрией облучения для оценки индивидуальных доз облучения пациентов. Данный способ позволяет учитывать все дозообразующие параметры (общие сведения о пациенте, физико-технические параметры, геометрия облучения), а также получить значения поглощенных доз в органах и тканях пациента для дальнейшей оценки радиационных рисков с учетом структуры облучения, пола и возраста.

3. Результаты проспективной оценки доз пациентов с использованием разработанного способа оценки эффективных доз показали, что при проведении баллонной пластики пищевода детям от 1 до 2 лет значения эффективных доз находились в диапазоне от 0,3 до 2,5 мЗв за процедуру. При проведении рентгенэндоваскулярной окклюзии тестикулярных вен детям от 12 до 18 лет значения эффективных доз находились в диапазоне от 2,9 до 26,5 мЗв за процедуру. При выполнении данных интервенционных исследований большинство относилось к категории низкого радиационного риска или очень низкого радиационного риска.

4. Разработана и научно обоснована система мероприятий по совершенствованию радиационной защиты детей при проведении интервенционных исследований путем обеспечения регистрации, контроля и учета индивидуальных доз пациентов. Регистрация всех дозовых характеристик (произведение дозы на площадь и поглощенная доза в коже) позволяет произвести расчет эффективных доз с использованием коэффициентов перехода от значений произведения дозы на площадь к эффективной дозе или путем моделирования облучения, а также контролировать дозы облучения путем сравнения дозовых характеристик с установленными индикаторными показателями и в дальнейшем индивидуально подходить к оценке радиационного риска.

## **ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

**1. Организациям, подведомственным Министерству здравоохранения Российской Федерации, рекомендовано:**

- в соответствии с Приказом Минздрава РФ от 09.06.2020 N 560н «Об утверждении Правил проведения рентгенологических исследований» обеспечить включение в штат рентгеновского отделения специализированного персонала, отвечающего за регистрацию, контроль и учет доз пациентов (например, медицинского физика);

- внедрить систему организационных мероприятий по проведению регистрации, контроля и учета доз облучения пациентов при проведении интервенционных исследований;

- обеспечить практическое применение способа оценки эффективных доз при проведении рентгенологических исследований с изменяемой геометрией облучения (патент на изобретение № 042819 от 28.03.23) для наиболее распространенных и высокодозовых интервенционных исследований у детей;

- разработать и внедрить методику проведения контроля доз облучения пациентов в рамках программы производственного радиационного контроля;

- при формировании технических заданий по закупке оборудования для проведения интервенционных исследований предусматривать их оснащение средствами измерения (проходными ионизационными камерами) и программным обеспечением с функцией формирования дозовых отчетов для индивидуальных пациентов;

## **2. Федеральной службе в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека рекомендовано:**

- использовать предложенную структуру интервенционных исследований в рамках единой системы контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан (ЕСКИД);

- вести учет доз пациентов различных возрастных категорий в рамках единой системы контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан (ЕСКИД), в частности, в форме федерального государственного статистического наблюдения № 3-ДОЗ «Сведения о дозах облучения пациентов при проведении медицинских рентгенорадиологических исследований»;

- внедрить в отечественные нормативно-методические документы, регламентирующие контроль эффективных доз облучения пациентов при медицинских рентгенологических исследованиях, представленные коэффициенты перехода от значений произведения дозы на площадь к эффективной дозе;

- актуализировать нормативно-методические документы, регламентирующие радиационную безопасность при медицинском облучении и перенести обязанности по проведению контроля и учета доз облучения пациентов с рентгенолаборанта на профильных специалистов (например, медицинских физиков);

## **3. Федеральной службе государственной статистики рекомендовано:**

- при актуализации формы федерального государственного статистического наблюдения № 3-ДОЗ «Сведения о дозах облучения пациентов при проведении медицинских рентгенорадиологических исследований» внедрить предложенную

структуру интервенционных исследований и деление детей на разные возрастные категории.

### **ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ**

Полученные результаты диссертационного исследования могут служить основанием для продолжения работы по разработке способов оценки эффективных доз для других видов интервенционных исследований и других возрастных категорий детей; способов оценки поглощенных доз в коже пациента как предиктора развития лучевых поражений кожи. Кроме этого, полученные результаты могут быть использованы для разработки программных продуктов для оценки доз облучения пациентов, которые возможно интегрировать в рабочее место врачей или в цифровые информационные системы.

### **СПИСОК НАУЧНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

1. Актуализация формы федерального государственного статистического наблюдения № 3-доз «Сведения о дозах облучения пациентов при проведении медицинских рентгенорадиологических исследований»: Предпосылки к переработке / А. В. Водоватов, Л. А. Чипига, А. А. Братилова [и др.] // Радиационная гигиена. – 2023. – Т. 16, № 2. – С. 126-136.
2. Актуализация формы федерального государственного статистического наблюдения № 3-доз «Сведения о дозах облучения пациентов при проведении медицинских рентгенорадиологических исследований». Часть 2: рекомендации по заполнению формы» / А. В. Водоватов, Л. А. Чипига, П. С. Дружинина [и др.] // Digital Diagnostics. – 2023. – Т. 4, № 3. – С. 322-339.
3. Анализ современных отечественных и зарубежных подходов к обеспечению радиационной защиты детей при проведении рентгенорадиологических исследований / В. Г. Пузырев, А. В. Водоватов, М. И. Комиссаров [и др.] // Медицина и организация здравоохранения. – 2023. – Т. 8, № 1. – С. 82-92.
4. Евразийский патент на изобретение № 042819. Способ оценки эффективных доз для рентгенологических исследований с изменяемой геометрией облучения: заявл. 04.07.2022 : опубл. 28.03.2023 / А. В. Водоватов, Д. О. Иванов, Ю. Н. Капырина [и др.]; заявитель, патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации.
5. Информированность врачей по вопросам радиационной безопасности при проведении рентгеноэндоваскулярных диагностики и лечения / А. М. Библин, А. В. Водоватов, Ю. Н. Капырина [и др.] // Радиационная гигиена. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 18-26.

**6. Оптимизация радиационной защиты детей при проведении рентгенорадиологических исследований – современные отечественные и зарубежные подходы / И. Ю. Алешин, А. В. Водоватов, Ю. Н. Капырина [и др.] // Медицина и организация здравоохранения. – 2023. – Т. 8, № 2. – С. 86-96.**

7. Оценка эффективных доз детей при проведении интервенционных вмешательств в многопрофильной клинике СПбГПМУ / Ю. Н. Капырина, М. И. Комиссаров, И. Ю. Алешин [и др.] // FORCIPE. – 2022. – Т. 5, № 1. – С. 244-246.

8. Оценка эффективных доз детей при проведении интервенционных исследований / И. Ю. Алешин, А. В. Водоватов, Ю. Н. Капырина [и др.] // Сборник тезисов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Радиационная гигиена и непрерывное профессиональное образование: новые вызовы и пути развития», посвященной 65-летию кафедры радиационной гигиены и радиационной безопасности имени академика Ф.Г. Кроткова. – Москва, 2022. – С. 45-48.

9. Оценка эффективных доз для некоторых интервенционных исследований у детей / Ю. Н. Капырина, А. В. Водоватов, Н. Н. Потрахов [и др.] // VIII Всероссийская научно-практическая конференция производителей рентгеновской техники. – Санкт-Петербург, 2021. – С. 58-62.

10. Оценка эффективных доз облучения детей при выполнении рентгенэндоваскулярной окклюзии тестикулярных вен / И. Ю. Алешин, А. В. Водоватов, Ю. Н. Капырина [и др.] // Лучевая диагностика и терапия. – 2022. – Т. 13. – С. 166-167.

11. Оценка эффективных доз пациентов при проведении рентгенологических исследований с изменяемой геометрией облучения / А. В. Балабышев, А. В. Водоватов, Ю. Н. Капырина [и др.] // Радиационная гигиена: итоги и перспективы: Сборник трудов очно-заочной Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 60-летию курса "Радиационная гигиена" Кафедры гигиены условий воспитания, обучения, труда и радиационной гигиены Северо-Западного государственного медицинского университета им. И.И. Мечникова. – Санкт-Петербург, 2022. – С. 31-34.

12. Оценка эффективных доз облучения детей при выполнении рентгенэндоваскулярной окклюзии тестикулярных вен / И. Ю. Алешин, А. В. Водоватов, Ю. Н. Капырина [и др.] // Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Актуальные вопросы радиационной гигиены». – Санкт-Петербург, 2023. – С. 157-160.

**13. Оценка эффективных доз при проведении баллонной пластики пищевода у детей / Ю. Н. Капырина, А. В. Водоватов, В. Г. Пузырев [и др.] // Радиационная гигиена. – 2023. – Т. 16, № 4. – С. 32-43.**

**14. Предпочтения студентов медицинских вузов в источниках получения информации по вопросам радиационной безопасности / А. М. Библин, А. В. Водоватов, Р. А. Гусева [и др.] // Медицина и организация здравоохранения. – 2024. – Т. 9, № 2. – С. 81-91.**



15. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023622270 Российская Федерация. Сведения о структуре и дозах облучения пациентов различного пола и возраста при проведении интервенционных исследований: заявл. 27.06.2023: опубл. 06.07.2023 / И. Ю. Алешин, А. В. Водоватов, Ю. Н. Капырина [и др.]; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

16. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023686696 Российская Федерация. ФФ-ЗА: № 2023686083: заявл. 01.12.2023: опубл. 08.12.2023 / Р. Р. Ахматдинов, Р. Р. Ахматдинов, Н. К. Барышков [и др.].

17. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023686697 Российская Федерация. РБД-ФЗА: № 2023686081: заявл. 01.12.2023: опубл. 08.12.2023 / Р. Р. Ахматдинов, Р. Р. Ахматдинов, Н. К. Барышков [и др.].

18. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023687927 Российская Федерация. ФБД-ФЗА: № 2023686142: заявл. 01.12.2023: опубл. 19.12.2023 / Р. Р. Ахматдинов, Р. Р. Ахматдинов, Н. К. Барышков [и др.].

19. Эффективные дозы детей при проведении рентгенодиагностических исследований: литературный обзор / П. С. Дружинина, Ю. Н. Капырина, М. В. Осипов [и др.] // Медицинская радиология и радиационная безопасность. - 2023. – Т. 68, № 6. – С. 27-41.

20. Estimation of effective doses for pediatric nonvascular gastrointestinal, biliary and tracheobronchial x-ray interventional examinations / I. J. Aleshin, Y. N. Kapryrina, M. I. Komissarov [et al.] // AIP Conference Proceedings (8th international conference on x-ray, electrovacuum and biomedical technique). – 2023. – Vol. 2726, Issue 1. – P. 020009.

21. Patient doses from pediatric interventional examinations: a hospital-based study / I. J. Aleshin, Y. N. Kapryrina, M. I. Komissarov [et al.] // Medical Physics in the Baltic States. – 2023. – Vol. 16. – P. 22-27.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ЕСКИД - единая система контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан

ЖКТ - желудочно-кишечный тракт

Зв – зиверт

КП – коэффициент перехода

мЗв - миллизиверт

ПДП – произведение дозы на площадь

ЭД – эффективная доза