

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации

На правах рукописи

Капырина Юлия Николаевна

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

3.2.1. Гигиена

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата медицинских наук

Научный руководитель:
кандидат медицинских наук, доцент
Пузырев Виктор Геннадьевич

Санкт-Петербург – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЕ ДЕТЕЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИНТЕРВЕНЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	14
1.1 Интервенционные исследования	14
1.2 Особенности интервенционных исследований у детей	16
1.3 Уровни облучения детей при проведении интервенционных исследований ...	18
1.4 Подходы к оценке эффективных доз детей и радиационных рисков при проведении интервенционных исследований.....	24
1.5 Основные принципы радиационной защиты детей в медицине	29
ГЛАВА 2 МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	39
2.1 Объекты исследования	40
2.2 Характеристика аппаратного парка.....	40
2.3 Методика сбора данных.....	42
2.3.1 Выбор интервенционных исследований для анализа.....	42
2.3.2 Сбор параметров проведения интервенционных исследований.....	44
2.4 Оценка эффективных доз и соответствующих радиационных рисков при проведении интервенционных исследований	45
2.5 Методы статистического анализа.....	50
ГЛАВА 3 СТРУКТУРА ИНТЕРВЕНЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В МНОГОПРОФИЛЬНОЙ КЛИНИКЕ ФГБОУ ВО «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДИАТРИЧЕСКИЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ» МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	52
3.1 Анализ структуры интервенционных исследований.....	52
3.2 Анализ ошибок, связанных с регистрацией, контролем и учетом доз пациентов	59
ГЛАВА 4 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНЫХ ДОЗ ДЕТЕЙ И СООТВЕТСТВУЮЩИХ РАДИАЦИОННЫХ РИСКОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИНТЕРВЕНЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	62
4.1 Интервенционные вмешательства на органах желудочно-кишечного тракта и трахеобронхиального дерева.....	62
4.2 Интервенционные вмешательства на периферических сосудах	69

ГЛАВА 5 ОБОСНОВАНИЕ СИСТЕМЫ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ДЕТЕЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИНТЕРВЕНЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	76
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	83
ВЫВОДЫ	93
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....	95
ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ	97
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	98
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	99
СПИСОК ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА	119
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	121
Приложение 1 – Анкета для сбора общей информации об аппарате, используемом при проведении интервенционных исследований.....	121
Приложение 2 – Анкета для сбора данных о параметрах проведения интервенционных исследований	123
Приложение 3 – Интервенционные вмешательства на органах ЖКТ и трахеобронхиального дерева, на мочевыводящих путях, на сердце и магистральных сосудах грудной клетки	124
Приложение 4 – Интервенционные вмешательства на области головы и шеи и интервенционные вмешательства на периферических сосудах.....	126

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

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. В последние годы внедрение новых методов исследования и интенсивность использования источников ионизирующего излучения в медицине, несомненно, расширяет возможности лучевой диагностики, но и одновременно, ведет к увеличению дозы у пациентов. Использование высокоинформативных исследований привело к росту количества и доз медицинского облучения [4, 8, 11, 12].

Отличительной чертой медицинского облучения является отсутствие нормирования доз облучения пациентов, поскольку главным приоритетом является достижение максимально точной диагностической информации при минимальной дозе облучения [27, 39]. Основным инструментом для реализации данной цели является использование принципов обоснования и оптимизации радиационной защиты. Систематическое применение данных принципов на практике по опыту зарубежных стран позволяет снизить дозы облучения пациентов вплоть до двух раз в течение пяти-семи лет.

Дети являются приоритетной категорией для радиационной защиты в медицине 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) [47, 50, 132].

К интервенционным исследованиям относят вмешательства, при которых осуществляются хирургические и/или инвазивные процедуры под контролем рентгеновского излучения. При интервенционных исследованиях применяют разные методы медицинской визуализации, в большинстве случаев данные исследования проводятся на специальных ангиографических установках, которые позволяют контролировать проведение процедуры в режиме рентгеноскопии и получать серию снимков нужной анатомической области в режиме рентгенографии.

Однако 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.) [4, 11, 132, 153].

Степень разработанности темы исследования

Оптимизация радиационной защиты предусматривает определение доз облучения индивидуальных пациентов с учетом всех факторов, влияющих на дозу, оценку радиационных рисков, выявление аномально высоких или низких доз облучения пациентов и разработку методик проведения исследований с оптимальным соотношением доза-терапевтический и/или диагностический эффект [74, 80, 83]. Следует отметить, что информация по уровням облучения пациентов при проведении интервенционных исследований представлена в основном для взрослых пациентов. По детям существует несколько публикаций, посвященных кардиологическим и неврологическим интервенционным исследованиям [66, 68, 71, 72, 82, 86, 93, 99, 105, 106, 112, 114, 125, 126, 142, 144]. По остальным видам интервенционных исследований, которые выполняются детям разных возрастных категорий, на сегодняшний день информация не представлена.

В отечественной практике основные принципы радиационной защиты взрослых и детей при медицинском облучении отражены во всех основополагающих нормативных документах [27, 28, 39]. 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. Оценка доз облучения детей и соответствующих им рисков была выполнена только для отдельных рентгенографических процедур и процедур радионуклидной диагностики. Данные по уровню облучения при проведении интервенционных исследований у детей ограничены исследованиями сосудов сердца [49].

В отечественной практике эффективные дозы у пациентов оценивают согласно МУ 2.6.1.3584-19 [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 [17, 18].

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. Помимо этого, значения коэффициентов перехода, приведенные в МУ, могут использоваться только при условии соответствия параметров проведения исследования, для которого рассчитывается эффективная доза, указанным в МУ, и только для одной анатомической области. Если в процессе выполнения рентгенологического исследования облучается несколько анатомических областей или одна анатомическая область, но под разными углами (проекциями), использование существующего способа невозможно. 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 сГр·см², а также интервенционные вмешательства на органах желудочно-кишечного тракта и трахеобронхиального дерева (28,5%) с уровнем облучения от 1 до 73814 сГр·см². Наиболее высокодозовыми исследованиями являются интервенционные вмешательства на сердце и магистральных сосудах грудной клетки (9,2%) с уровнем облучения от 24 до 37936 сГр·см², а также интервенционные вмешательства на области головы и шеи (6,3%) с уровнем облучения от 10 до 317101 сГр·см².

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 ($10,7 \text{ мкЗв/сГр}\cdot\text{см}^2$) и рентгенэндоваскулярной окклюзии тестикулярных вен у детей ($2,5 \text{ мкЗв/сГр}\cdot\text{см}^2$).

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. 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);

- 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 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);

– регистрации трех программ для ЭВМ (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.]; 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.]; 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.]])

– разработке двух учебных пособий (Оптимизация радиационной защиты в лучевой диагностике: (учебное пособие) / Д. О. Иванов, И. К. Романович, В. Г. Пузырев [и др.]; Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации. – Санкт-Петербург, 2023. – 92 с.; Оценка радиационного риска по данным радиационно-гигиенической паспортизации территорий: (учебное пособие) / И. К. Романович, Д. О. Иванов, А. М. Библин [и др.]; Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет Министерства здравоохранения Российской Федерации. – Санкт-Петербург, 2023. – 92 с.).

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

Методология диссертационной работы организована в соответствии с поставленными целью и задачами. В дизайне исследования использован системный подход с применением гигиенических, аналитических, расчетных и статистических методов 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.

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность результатов исследования 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.

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.

ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЕ ДЕТЕЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИНТЕРВЕНЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1 Интервенционные исследования

Интервенционные исследования – это высокотехнологичные хирургические и/или инвазивные процедуры, проводимые с использованием рентгеновского излучения. Интервенционные исследования могут предусматривать использование рентгеновских аппаратов, компьютерных томографов, магнитно-резонансной томографии (МРТ), ультразвукового исследования (УЗИ) в качестве средств медицинской визуализации. Наиболее распространенным является проведение интервенционных исследований с использованием рентгеновских аппаратов – ангиографических установок, или аппаратов по типу С-дуга. Данные аппараты позволяют вести контроль процедуры в режиме непрерывного облучения пациента (рентгеноскопии) и сопровождать исследование серией снимков в интересующей врача анатомической области в режиме рентгенографии [48, 131, 132, 133].

Данный метод лучевой диагностики нашел широкое применение в педиатрии для решения как диагностических, так и терапевтических задач. Главная особенность интервенционных исследований заключается в том, что их проведение сопровождается высокими дозами облучения пациентов, приводящих к частому возникновению радиационно-индуцированных последствий для организма – стохастических и детерминированных эффектов (например, эритем, лучевых поражений кожи, эпиляции и т. п.) [131, 132].

Интервенционные исследования обладают рядом особенностей, которые влияют на оценку уровня облучения пациентов. Например, благодаря динамическому управлению кранио-каудальными углами наклона и вращению рентгеновской трубки врачи получают возможность исследовать сразу несколько анатомических структур пациента в разных проекциях в ходе только одного исследования. Более того, интервенционные исследования позволяют использовать функции рентгеноскопии и рентгенографии. Рентгеноскопия

предоставляет возможность непрерывного облучения и динамического наблюдения в реальном времени, тогда как рентгенография, с другой стороны, обеспечивает статическое изображение, позволяя детально анализировать анатомические структуры и выявлять патологии [131, 132].

Большое значение имеет отсутствие какого-либо единого, типового подхода для проведения интервенционных вмешательств. Данный аспект объясняется тем, что на условия выполнения процедуры влияет множество факторов. Эти факторы могут варьироваться от анатомических особенностей пациента до технических характеристик используемого оборудования. Например, индивидуальные анатомические особенности могут требовать адаптации методик проведения интервенционных исследований, что затрудняет стандартизацию процессов. Кроме того, время просвечивания, определяемое для каждого конкретного случая, может прямо зависеть от наличия осложнений, сопутствующих заболеваний или возраста пациента. Важно учитывать, что опыт и квалификация медицинского персонала, проводящего исследование, также играют значительную роль [46, 47, 48].

Кроме этого, некоторые особенности интервенционных исследований затрудняют оценку доз облучения и последствий облучения (радиационного риска) у взрослых и детей. К таким особенностям относятся: специфика параметров различного оборудования для проведения интервенционных исследований; необходимость учета перемещения рентгеновской трубки в зависимости от исследуемых анатомических областей в ходе одного вмешательства; влияние сложности проводимой процедуры на уровень получаемой пациентом дозы облучения; тяжесть и особенности течения заболевания, а также особенности сосудистой системы каждого пациента [6, 7, 8].

Поэтому, несмотря на широкое использование данных исследований, в том числе в педиатрической практике, на сегодняшний день в Российской Федерации отсутствуют достоверные данные об уровнях облучения детей. Дети представляют собой приоритетную категорию пациентов для радиационной защиты при медицинском облучении, что обусловлено их повышенной радиочувствительностью и более длительным периодом дожития, нежели у

взрослых пациентов. Это, в свою очередь, приводит к высокой вероятности развития радиационно-индуцированных новообразований [10]. К сожалению, в Российской Федерации вопрос радиационной защиты детей при проведении интервенционных исследований недостаточно освещен. В частности, недостаток актуальных и достоверных сведений об уровнях облучения является ключевой проблемой, затрудняющей разработку и внедрение эффективных мер по радиационной защите данной категории пациентов.

1.2 Особенности интервенционных исследований у детей

Сегодня методы лучевой диагностики интенсивно развиваются и прочно входят в медицинскую практику, в том числе педиатрическую. Современная медицина активно использует высокоэффективные диагностические и терапевтические методы, в основу которых заложено использование источников ионизирующего излучения. Однако необходимо помнить, что важнейшим приоритетом при этом является безопасность пациентов, особенно если речь идет о детях. Вопросы безопасности, связанные с лучевой диагностикой, также охватывают и аспекты радиационной безопасности. Поэтому внимание к радиационной безопасности во всех областях детской лучевой диагностики имеет особо важное значение [50, 102, 131, 132, 145, 147, 153].

В отличие от исследований, проводимых на взрослых, интервенционные исследования на детях характеризуются рядом особенностей: облучение большей части тела, значительная вариабельность антропометрических характеристик, низкая плотность тканей, высокая пролиферативная и метаболическая активность тканей, необходимость иммобилизации или седации детей младших возрастов. Учитывая уникальность проблем визуализации детей, для успешного выполнения исследований, которые легко осуществляются на взрослых, необходимо принимать во внимание не только особенности проведения интервенционных исследований, но и возрастные характеристики детей [10, 131, 132].

Дети разных возрастов имеют свои уникальные особенности. Эти особенности сказываются на проведении почти всех методов лучевой диагностики

в педиатрии. До определенного возраста дети, как правило, не способны выполнять требования, которые обычно легко выполняются взрослыми. Например, для успешного проведения некоторых исследований необходимо, чтобы ребенок оставался в зафиксированном положении и не двигался в течение определенного периода времени. Чтобы решить эту проблему, обычно используют отвлечение ребенка, создание благоприятной для ребенка обстановки или иммобилизацию, чтобы они могли пройти исследование без седативных препаратов. В большинстве случаев для получения результатов интервенционных исследований требуется седация или общая анестезия [56, 131, 132].

Важное для интервенционных исследований значение имеет специфика анатомического и физиологического строения детского организма. Помимо этого, важно помнить, что радиочувствительность органов и тканей у детей меняется в зависимости от возраста. К примеру, у детей младшего возраста, особенно в первые годы жизни, наблюдается высокая пролиферативная активность клеток. Это связано с интенсивным ростом и развитием тканей, что делает пациентов этой возрастной категории более уязвимыми к воздействию радиации и повышает вероятность развития радиационно-индуцированного рака. Риск возникновения новообразований или лучевой болезни при облучении всего тела у педиатрических пациентов в 2–3 раза превышает таковой у пациентов в возрасте 20–60 лет. У детей старшего возраста и подростков уровень метаболической активности тканей снижается, однако они также более чувствительны к воздействию радиации, чем взрослые, – примерно в 1,5–2 раза [19, 27].

Также известно, что многие новообразования и осложнения, вызванные воздействием ионизирующего излучения на детский организм, развиваются через годы после проведенного облучения. Данный промежуток может варьироваться от 2 до 10 лет в зависимости от вида рака. Таким образом, в связи с более долгой продолжительностью жизни дети имеют больше шансов дожить до момента развития новообразований, индуцированных интервенционными вмешательствами, проведенными в детстве [19, 27].

Помимо всего, организм ребенка обладает еще одной отличительной чертой – детские антропометрические характеристики обладают очень широким диапазоном в пределах одной возрастной группы. Из-за различий антропометрических характеристик детей в разные возрастные периоды необходимо использовать разные подходы к проведению интервенционных исследований и методики для их оптимизации [19, 27]. Существенные различия в размере тела у детей, от новорожденных до подростков, оказывают влияние на дозу контрастного вещества, которое подбирается в том числе с учетом индивидуальных антропометрических характеристик каждого пациента. Помимо этого, некоторые физиологические параметры, например, сердечный выброс, у детей характеризуются бóльшей изменчивостью, по сравнению со взрослыми. Указанные факторы оказывают непосредственное влияние на такие параметры, как время между введением контраста и началом сканирования, а также на выбор метода введения контрастного вещества [56].

Другое различие в визуализации у детей и взрослых связано с постоянными анатомическими изменениями, происходящими в процессе нормального развития ребенка. Большая тень средостения, связанная с вилочковой железой, может быть нормальной или сильно аномальной в зависимости от возраста ребенка. Скелет демонстрирует заметные изменения во всех детских возрастах – это связано с созреванием апофизов и эпифизов и прогрессирующим окостенением структур. Знание нормального возрастного внешнего вида этих систем органов важно для надлежащей интерпретации результатов исследований. Недостаток этих знаний является одной из самых распространенных причин ошибок, допущенных при интерпретации результатов визуализационных исследований в педиатрии [56].

1.3 Уровни облучения детей при проведении интервенционных исследований

Информация об уровнях облучения детей представлена крайне ограничено, в отличие от взрослых пациентов. Несмотря на наличие публикаций о кардиологических и неврологических интервенционных исследованиях, по остальным видам интервенционных исследований, которые выполняются детям

разных возрастных категорий, на сегодняшний день информация не представлена [8, 11, 12, 49, 53, 58, 61, 66, 67, 68, 85, 86, 74, 106, 107, 142, 143, 144, 150, 152, 158].

В зарубежной литературе представлены публикации касательно уровней облучения детей во время интервенционных вмешательств в области головы и шеи, связанных с нейрохирургическими патологиями [103, 142], а также в ходе кардиологических процедур [52, 61, 66, 71, 72, 82, 93, 99, 105, 106, 115, 125, 126, 144, 150, 151, 158]. Средние значения эффективных доз (ЭД) облучения у детей вне зависимости от возраста во время исследований на сердце находились в диапазоне от 0,74 до 16,5 мЗв. В то время как для неврологических вмешательств этот показатель составил 10,4 мЗв.

В публикациях, посвященных проведению интервенционных исследований на области головы и шеи при нейрохирургических патологиях, оценка уровней облучения у детей приводится на основании произведения дозы на площадь (ПДП) за все исследование. Для диагностических исследований на области головы и шеи средние значения ПДП находились в диапазоне от 3,8 до 23,2 Гр·см², медиана – от 2,3 до 10,5 Гр·см². При этом наблюдалась зависимость значений ПДП от возраста детей. Самые высокие значения встречались у детей в возрасте от 13 до 18 лет, самые низкие – у детей от 0 до 2 лет [103, 142].

Для лечебных интервенционных исследований при нейрохирургических патологиях диапазон средних значений ПДП составлял от 0,82 до 76,1 Гр·см² в зависимости от вида вмешательства. Высокие значения ПДП встречались при проведении эмболизаций мальформаций сосудов головного мозга. Самые высокие показатели ПДП были зафиксированы у детей от 8 до 12 лет (категория «10 лет») – 76,1 Гр·см² и у подростков от 13–18 лет (категория «15 лет») – 63,4 Гр·см². Кроме того, было выявлено, что медиана ПДП для данных видов вмешательств меняется с учетом возраста детей. Данное значение колеблется от 17,9 до 54,2 Гр·см² [103, 142].

Проведение интервенционных исследований на области головы и шеи при нейрохирургических патологиях сопровождалось высокими значениями ПДП за все исследование. Более того, данному виду вмешательств сопутствовала

повышенная вероятность возникновения негативных эффектов в виде поражений кожных покровов. Эти аспекты приводят к тому, что при выполнении таких исследований необходимо контролировать и оценивать поглощенную дозу в коже.

Schneider T. и др. оценивали поглощенную дозу в коже у детей в процессе диагностики области головы и шеи. По их расчетам, медиана находилась в диапазоне от 138 до 644 мГр [142]. Orbach D.B. и его коллеги проводили оценку поглощенной дозы в кожных покровах детей в рамках диагностических и лечебных интервенционных исследований, связанных с нейрохирургическими патологиями [103]. По результатам их работы среднее значение дозы для всех типов вмешательств составило $422,7 \pm 440,0$ мГр. Средние показатели поглощенной дозы в коже находились примерно на одном уровне у детей 0–12 лет. Однако у подростков от 13 до 21 года были зафиксированы более высокие показатели. Также в ходе оценки было выявлено, что средние значения поглощенной дозы в коже для лечебных исследований выше по сравнению с диагностическими, независимо от возрастной категории педиатрических пациентов – $(747,7 \pm 540,6)$ мГр и $(239,4 \pm 217,5)$ мГр соответственно [103].

Кардиологические интервенционные исследования выполняют детям всех возрастных категорий с целью диагностики или лечения различных патологических состояний. В ходе проведения диагностических интервенционных исследований в области сердца и магистральных сосудов грудной клетки средние ЭД находятся в широком диапазоне значений и могут отличаться между собой в десятки раз. Например, в исследовании Barnaoui S. и др. средняя ЭД составила 4,8 мЗв, разброс от минимального значения до максимального от 0,3 до 23 мЗв [152]. В работе Ubeda C. и др., в которую было включено практически в два раза больше интервенционных исследований, среднее значение ЭД составило 1,1 мЗв в диапазоне от 0,01 до 10,8 мЗв [151]. Медианы ЭД для диагностических кардиологических интервенционных исследований по разным источникам составили от 0,78 до 6,1 мЗв [105, 106, 115, 125, 126, 144, 150].

Для кардиологических интервенционных исследований значения ЭД согласно разным авторам выше, чем для диагностических исследований.

Минимальные и максимальные значения ЭД для таких исследований могут отличаться между собой в десятки раз. В исследовании Barnaoui S. и др. диапазон значений ЭД составил от 0,1 до 48,4 мЗв, средняя ЭД – 7,3 мЗв [95]. В работе Ubeda C. и др. эти значения ниже, но с таким же широким разбросом значений: средняя ЭД – 0,74 мЗв, диапазон ЭД от минимального значения до максимального – от 0,01 до 8,4 мЗв [151]. Значения медианы ЭД также варьировали между собой в зависимости от выбранных исследований, которые авторы включали в свои работы – от 0,43 до 8,9 мЗв [105, 106, 115, 125, 126, 144, 150].

Немаловажное значение в оценке уровней облучения детей в кардиологических интервенционных исследованиях играет выбор отдельных исследований или операций, которые включают в свои научные исследования разные коллективы авторов. Как правило, набор подобных исследований в каждой работе индивидуальный и, как следствие, значения ЭД между собой тоже отличаются. ЭД для разных видов лечебных вмешательств, согласно Barnaoui S. и др., находились в диапазоне от 0,1 до 48,4 мЗв (средние значения от 1 до 13 мЗв) [95]. Song S. и др. приводят следующие значения: минимальное значение ЭД составило 0,44 мЗв, максимальное – 66,7 мЗв, средние значения лежат в диапазоне 3,6–11,9 мЗв [144].

Помимо значений ЭД, при оценке уровней облучения детей приводят величину ПДП на протяжении всего интервенционного исследования, причем в ряде исследований приводятся значения обеих величин, в других случаях – какой-то одной. Средние и медианные значения ПДП могут значительно отличаться в разных исследованиях [117, 118, 127, 136, 137, 155]. Тем не менее, ряд из них отмечает прямую зависимость значений ПДП от массы и возраста ребенка.

Например, Barnaoui S. и др. в своей работе отмечали, что среднее значение ПДП для диагностических исследований составляет 4,9 Гр·см², для лечебных 2,0–11,9 Гр·см² [95]. В исследовании Ubeda C. и др. средние значения ПДП за исследование составили от 0,8 до 51,3 Гр·см² в зависимости от возрастной и весовой категории детей [151]. Медианы значений ПДП, представленные Buytaert D. и др., для диагностических исследований на сердце составили 200,3 Гр·см², для

лечебных – 189,3 Гр·см² [94]. В исследовании Kottou S. эти значения находились в диапазоне 2–12,4 и 1,12 Гр·см² соответственно [149].

Кроме этого, необходимо учитывать какие интервенционные исследования включают в свои работы авторы, поскольку каждый вид интервенционного вмешательства на сердце сопровождается разным уровнем облучения пациента. Оценку уровней облучения подобным образом проводили Barnaoui S. и др., установив, что наибольшие значения ПДП наблюдались при проведении ангиопластики у детей, а наименьшие – при устранении дефектов межпредсердной перегородки [95]. А в работе Song S. и др. при устранении дефектов межпредсердной перегородки наблюдались самые высокие значения ПДП для всех возрастных категорий (7,11-23,16 Гр·см²) по сравнению с остальными видами вмешательств на сердце [144].

Поскольку кардиологические интервенционные исследования сопряжены с риском возникновения детерминированных эффектов, крайне важно осуществлять тщательный контроль за уровнем поглощенной дозы в коже. Согласно ряду авторов, поглощенная доза в коже для диагностических исследований ниже, чем для лечебных [105, 106, 115, 125, 126, 144, 150]. При этом Rizk C. и др. отмечали, что значения поглощенной дозы в коже растут с увеличением весовой категории пациентов как для диагностических, так и для лечебных исследований [74]. Подобную закономерность отметили в своей работе Glatz A.C. и др. [116]. В соответствии с их данными разброс значений поглощенной дозы в коже от минимального до максимального для диагностических исследований составил 62–946 мГр, для лечебных 82,5–1774 мГр.

Song S и др. в своей работе изучали уровни облучения, основываясь на пяти самых распространенных видах лечебных кардиологических интервенционных исследований у детей. Средние значения поглощенных доз были от 79 до 190 мГр в зависимости от вида вмешательства. При этом самое минимальное зарегистрированное значение составило 20 мГр, а максимальное – 1020 мГр [144]. Ubeda C. и др. оценивали поглощенную дозу в коже у детей, которым интервенционное исследование на сердце выполняли более двух раз. Диапазон

средних значений составил 85,4–234,9 мГр. Все представленные в литературе данные о поглощенной дозе в коже находятся ниже порога возникновения детерминированных эффектов [151].

Российские медицинские источники приводят сведения об уровнях облучения, которым подвергаются дети в ходе интервенционных вмешательств на сердечно-сосудистой системе [49]. ЭД для данного типа исследований варьировались от 0,1 до 26 мЗв вне зависимости от возрастной категории. Наивысшая медиана ЭД и самый широкий диапазон значений между минимальным и максимальным были зафиксированы для 1,5-месячных детей (4 мЗв и 0,8–26 мЗв соответственно).

В рамках публикации МР 2.6.1.0215-20 «Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований» акцентируется внимание на необходимости внедрения системы стандартов и рекомендаций, позволяющих обеспечить безопасность пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований (РРИ). Особое значение придается типовым значениям ЭД, которые играют центральную роль в оценке возможного радиационного риска. Эти данные служат основой для формирования протоколов, направленных на минимизацию лучевой нагрузки на пациентов и оптимизацию процедур диагностики [17, 18].

К сожалению, детальных оценок уровней облучения детей для разных возрастных категорий и видов интервенционных исследований как в зарубежной, так и отечественной литературе, не представлено.

Все основополагающие нормативные издания в российской практике описывают принципы защиты пациентов от радиационного облучения. Тем не менее, приведенные в них рекомендации по детской радиационной безопасности носят поверхностный характер. Вместе с тем в этих документах не представлены детальные данные о структуре лучевой диагностики и, помимо этого, не указаны надежные и достоверные источники информации об уровнях облучения, воздействующих на детей во время интервенционных процедур. Имеющаяся в этих источниках оценка радиационного воздействия на детей во время лучевой

диагностики основывается исключительно на исследованиях, проведенных на сердечно-сосудистой системе [27, 28, 29, 31, 39].

На основании приведенной выше информации можно сделать вывод, что значительный недостаток сведений об уровнях радиационного облучения педиатрических пациентов во время интервенционных вмешательств представляет собой серьезную проблему как в отечественной, так и в зарубежной медицинской практике. Несмотря на значительный прогресс в области радиологии и диагностики, информация о дозах облучения, применяемых при интервенционных процедурах, остается фрагментарной и недостаточно систематизированной. Кроме того, ряд аспектов затрудняет оценку и сравнение уровней воздействия на детей в рамках интервенционных вмешательств, которые осуществляются на одной области тела. Это связано с использованием разных дозовых величин, отсутствием стандартизации в параметрах, которые влияют на дозы, использование разных возрастных категорий или не использование их в принципе. Группы исследований могут включать в себя различные виды интервенционных исследований, которые имеют разную степень сложности, продолжительности и, как следствие, разные уровни облучения пациентов.

Результаты анализа публикаций показывают, что существуют значительные различия между индивидуальными и средними дозами облучения пациентов в различных дозовых величинах, достигающие до порядка величины. При этом факторы, определяющие такие различия, до сих пор четко не идентифицированы. Одним из основных моментов, который осложняет оценку и сравнение уровней радиационного воздействия на детей в ходе интервенционных исследований – отсутствие единой классификации интервенционных исследований.

1.4 Подходы к оценке эффективных доз детей и радиационных рисков при проведении интервенционных исследований

Оценка доз облучения детей от источников ионизирующего излучения требует информации об анатомических и физиологических характеристиках облучаемого организма. Необходимость в этой информации особенно важна при

расчете доз для детей разных возрастов. Для того чтобы иметь единые и воспроизводимые рекомендации по радиационной защите детей, необходимо использовать общепринятые стандартные значения для описания различных анатомических и физиологических характеристик организма, которые в совокупности определяют общий стандартный организм. Использование этого общего стандартного организма помогает обеспечить согласованность в том, как мы определяем размер, массу или функциональные характеристики разных органов и тканей.

Международная комиссия по радиационной защите (МКРЗ) обобщила и систематизировала данные об изменении анатомических особенностей человека в зависимости от возраста. В частности, были учтены параметры и расположение органов и тканей организма, наиболее чувствительных к радиационному воздействию, масса, длина тела и площадь поверхности тела. Эти данные представлены в 89-й Публикации МКРЗ и используются для решения задач радиационной защиты, в том числе и в медицине (Таблица 1).

Таблица 1 – Референтные значения длины, массы тела и общей площади поверхности тела для пациентов разных возрастных категорий

Возраст	Длина тела (см)		Масса тела (кг)		Площадь поверхности тела (м ²)	
	муж	жен	муж	жен	муж	жен
Новорожденный	51	51	3,5	3,5	0,24	0,24
1 год	76	76	10	10	0,48	0,48
5 лет	109	109	19	19	0,78	0,78
10 лет	138	138	32	32	1,12	1,12
15 лет	167	161	56	53	1,62	1,55
Взрослый	176	163	73	60	1,90	1,66

В связи с тем, что невозможно измерить дозы в органах и тканях, для оценки поглощенных доз в органах и тканях используют математические модели

(фантомы). Поскольку детский организм постоянно развивается, анатомия и физиология ребенка меняются с возрастом. Это обуславливает наличие нескольких фантомов, каждый из которых предназначен для конкретной возрастной группы. Все категории возрастов определяются следующими референтными значениями: возрастом, массой и длиной тела [78, 131, 132, 133, 154].

Для каждой возрастной категории были разработаны специализированные математические модели, или фантомы. Эти фантомы играют важную роль в области радиационной защиты, обеспечивая возможность детального анализа и оценки воздействия радиации на организм. С их помощью можно точно рассчитывать поглощенные дозы радиочувствительных органов и тканей. Кроме того, эти модели помогают определять ЭД с учетом индивидуальных особенностей пациентов.

На текущий момент существует несколько поколений фантомов. Фантомы первого поколения – стилизованные фантомы, органы которых представлены фигурами вращения и описываются простыми геометрическими фигурами (MIRD-5, ADAM, EVA, MCAT и др.). С их помощью можно получить только самое общее описание положения и геометрии каждого органа, поскольку анатомия человека слишком сложна, чтобы ее можно было реалистично смоделировать с помощью ограниченного набора геометрических фигур. Но вместе с тем они простые, быстрые в воспроизведении и не требуют больших мощностей оборудования для работы с ними [56, 57, 59].

Фантомы второго поколения – воксельные или томографические фантомы, которые состоят из сгруппированных вокселей, сконструированных на основе томографических изображений реальных людей, по своим антропометрическим характеристикам совпадающих с референтным индивидуумом (BABY, CHILD, LAURA, NORMAN, ADELAIDE и др.). Контуры, размеры и форма органов данных фантомов идентичны человеческим, что делает отображение тела более реалистичным. Недостаток фантомов второго поколения заключается в недостаточном пространственном разрешении, что может приводить к ошибкам [60, 62, 63, 65, 69].

И фантомы третьего поколения, разработанные и представленные в 2000-х годах – фантомы BREP, состоящие из трехмерных полигональных структур (MOBY, XCAT, UFH-NURBS, FASH, MASH, The Virtual Family). Они включают в себя более детальную и реалистичную анатомию и физиологию, пригодную для использования в приложениях для получения изображений с более высоким разрешением и обладают преимуществом деформируемости поверхности и формы, благодаря чему внутренние органы могут быть относительно легко модифицированы. По сравнению с воксельными фантомами, фантомы BREP обеспечивают высокую гибкость и детализацию геометрии, оставаясь при этом относительно эффективными с точки зрения вычислений. К недостаткам данных фантомов можно отнести низкую скорость вычислений и ресурсозависимость [70, 73, 77, 84, 108, 121, 156, 159, 160].

Наиболее распространенные программные решения для оценки ЭД – это EDEREX и PCXMC [148]. Они применяют стилизованные фантомы для оптимизации баланса между скоростью и точностью расчетов.

В контексте радиационной защиты возрастные категории являются условными и соответствуют моменту значимого изменения размеров тела, а также размера и расположения внутренних органов. Вопрос о необходимости индивидуального учета длины тела, массы тела, размеров органов и прочего в последние годы является дискуссионным. На текущий момент аргументы в пользу усложнения моделей не получены.

Радиационная безопасность пациентов в первую очередь обеспечивается с помощью специально разработанной системы мониторинга и учета доз медицинского облучения, действующего на пациентов при проведении интервенционных исследований [45, 89]. Эта система представляет собой комплекс мероприятий и технологий, направленных на снижение рисков, связанных с радиационным воздействием, обеспечивая при этом высокую точность и качество диагностики. Данная методика действует во всех медицинских учреждениях в России, что стало возможным благодаря единой системе контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан (ЕСКИД), а также форме статистической

отчетности № 3-ДОЗ «Сведения о дозах облучения пациентов при проведении медицинских рентгенорадиологических исследований» [30]. ЕСКИД реализует комплексный подход к учету и контролю радиационных доз, позволяя собирать, обрабатывать и анализировать данные о степени воздействия облучения на индивидуальном уровне. Современные информационные технологии, интегрированные в систему, способствуют повышению эффективности радиологических исследований, обеспечению безопасности пациентов и снижению рисков, связанных с ионизирующим облучением. Они позволяют собирать и анализировать данные о средних дозах радиационного воздействия, которые используются при проведении наиболее распространенных исследований в области интервенционной радиологии. Эти данные охватывают широкий спектр радиологических процедур, включая рентгенографию, рентгеноскопию, компьютерную томографию (КТ) и другие методы визуализации.

Медицинские учреждения и рентгенологические отделения в России повсеместно руководствуются нормативным документом МУ 2.6.1.3584-19 «Изменения в МУ 2.6.1.2944-11 "Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований"» [17, 18] в процессе выполнения интервенционных исследований. Согласно данному стандарту, оценка уровня облучения, которому подвергаются пациенты в ходе вмешательства, основана на измеренных характеристиках доз (ПДП) и коэффициентах перехода (КП), позволяющих перейти от выбранной дозовой характеристики к ЭД. К сожалению, такой подход сопряжен с определенными сложностями. Во-первых, негативно сказывается недостаток в открытом доступе работ и исследований по данной теме, к которым можно обратиться за помощью в процессе определения доз медицинского облучения для пациентов. Научные исследования по данной теме не рассматривают все возможные вариации схем облучения, используемых в клинической практике. Более того, они не учитывают реальные параметры (режимы) и условия проведения исследований, как и характеристики используемого рентгеновского оборудования. В отношении

интервенционных исследований на детях КП представлены только для изучения сердечно-сосудистой системы.

Еще одним значительным недостатком современного отечественного подхода является тот факт, что использование указанных в методических рекомендациях КП возможно только при соблюдении определенных условий. Так, необходимо, чтобы обеспечивалось соответствие данных КП параметрам процедуры, определяющей эффективные дозовые характеристики, как описано в документе МУ 2.6.1.3584-19. Кроме того, нормативные КП возможно применить при облучении только одного анатомического участка. То есть для проведения лучевой диагностики одновременно на нескольких областях тела или при радиационном воздействии в ходе процедуры на одну анатомическую область в различных проекциях указанный метод применить невозможно [17, 18].

В России ЭД имеют решающее значение при оценке радиационного риска. Этот риск включает вероятность развития радиационно-индуцированного рака у пациента после проведения определенного рентгенорадиологического исследования. Оценка радиационного риска является обязательным условием для соблюдения требований российского законодательства (Федеральный закон от 09.01.1996 № 3-ФЗ (редакция от 11.06.2021) «О радиационной безопасности населения») [28]. Это сложный процесс, важными компонентами которого являются поглощенная органами и кожными покровами доза облучения, а также коэффициент пожизненного радиационного риска смерти, отражающий вероятность смерти от рака, вызванного радиацией.

1.5 Основные принципы радиационной защиты детей в медицине

В процессе работы с медицинскими источниками ионизирующего излучения важно соблюдать основные принципы радиационной защиты. Одним из них является принцип обоснования, который должен применяться еще на стадии принятия врачом решения о целесообразности проведения того или иного метода лучевой диагностики.

Принцип обоснования гласит, что у любого решения, изменяющего ситуацию облучения, должно быть больше положительных эффектов на организм, нежели негативных последствий [40]. Оценка целесообразности методов радиационного воздействия должна быть основана на достоверных фактах и подходить методично и систематически к выбору оптимального исследования для конкретного клинического случая. Такой подход принимает во внимание диагностическую эффективность предлагаемого рентгенорадиологического обследования, а также рассматривает использование альтернативных методов исследования, не задействующих ионизирующее излучение (например, УЗИ, МРТ, эндоскопия). В большинстве случаев вопрос о необходимости проведения интервенционных исследований решается на основе опыта и профессиональных знаний, но также существуют количественные методы поддержки, которые помогают принять обоснованное решение [5, 40, 41, 43, 92, 141].

Принцип обоснования использования источников ионизирующего облучения, минимизирующий отрицательные последствия на здоровье пациента при обеспечении терапевтической и/или диагностической эффективности выполняемого исследования, играет важнейшую роль в обеспечении радиационной безопасности в медицине. Законодательство РФ и международные нормы (например, рекомендации международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ)) устанавливают строгие требования к обоснованию использования таких источников. Данный принцип реализуется в ходе проведения всех медицинских процедур лучевой диагностики, а также содержится во всех основополагающих методических указаниях, нормативных документах и стандартах в сфере медицины. Федеральный закон «О радиационной безопасности населения» от 09.01.1996 № 3-ФЗ приводит следующую формулировку: принцип обоснования – это «запрещение всех видов деятельности по использованию источников ионизирующего излучения, при которых полученная для человека и общества польза не превышает риск возможного вреда, причиненного дополнительным к естественному радиационному фону облучением» [28]. Такие своды правил, как СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности

(НРБ-99/2009)» [27] и СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)» [39], дают данному принципу схожее определение. Указанные документы подчеркивают важность принципа обоснования при использовании рентгеновского излучения в медицинских целях. В соответствии с ними, данный принцип возможно реализовать на практике, сравнивая диагностические или терапевтические преимущества процедур с потенциальными негативными последствиями на организм пациента в ходе облучения [5, 21, 22-26, 32-37, 40, 43, 51, 55, 64, 79, 92, 118, 141].

После обоснования рентгенорадиологическое или интервенционное исследование под контролем методов лучевой диагностики должно выполняться с учетом оптимизации защиты пациентов. Главная цель оптимизации при проведении исследований с использованием источников ионизирующего излучения – получить достоверные и точные диагностические сведения о состоянии и специфике анатомического строения пациента, поддерживая при этом минимально возможный уровень радиационного воздействия [6, 7, 19, 20, 54, 87, 88, 96, 97, 98, 104, 110, 116, 117, 128, 129].

Значимую роль в процессе оптимизации мероприятий по обеспечению радиационной безопасности играет специализированное медицинское оборудование [135, 136, 137, 138, 146]. Качество и технические параметры оборудования, а также установленное на нем программное обеспечение имеют первостепенное значение для обеспечения эффективности интервенционных исследований с визуальным контролем [119, 124, 134, 137].

Перед тем как использовать данное оборудование для выполнения лучевой диагностики пациентам, медицинский физик должен осуществить или внимательно проконтролировать ввод аппарата в эксплуатацию [97, 110, 122, 135]. Кроме этого, после выполнения любых ремонтных работ или внесения изменений в конструкцию и характеристики диагностического оборудования соответствующий медицинский работник должен в обязательном порядке откалибровать и проверить физические параметры установки.

Настройка технических параметров в процессе лучевой диагностики с целью подбора наименьше возможной дозы, необходимой для выполнения исследования, является одним из основополагающих факторов оптимизации. Для этого рекомендуется использовать протокол наименьшей дозы с более низкой частотой кадров, учитывать размер пациента, минимизировать увеличение изображения. Для интервенционных исследований детей снижение дозы может быть оптимизировано путем адаптации режимов сканирования в соответствии с массой или возрастом пациента [19, 20, 54, 87, 98, 110, 120, 122, 124, 130, 134].

Во время интервенционных исследований следует обращать внимание на правильное позиционирование и иммобилизацию детей. Необходимо точно позиционировать пациента, чтобы правильно центрировать луч, получить правильную проекцию и коллимацию, а также корректно использовать экранирование для неисследованных частей тела [54, 119].

Необходимо помнить и о правильном выборе размера области сканирования. Использование слишком большого поля приведет к лишней дозе облучения за пределами области интереса, что отрицательно скажется на контрастности и разрешении изображения из-за увеличения рассеянного излучения. Если же поле слишком маленькое, это может повысить риск диагностической ошибки или потребовать дополнительного исследования. Поэтому для правильного ограничения луча во всех возрастных группах врач должен обладать базовыми знаниями детской анатомии и особенностями возрастных изменений [131, 132, 133]. Во время процедур необходимо гарантировать, что подвергаемая облучению область тела пациента ограничена только тем объемом, который имеет клинический интерес. Рекомендуется использовать предэкспозиционную коллимацию, чтобы ограничить рентгеновский луч анатомической областью интереса, подходящей для конкретной процедуры.

Ряд исследований, использующих источники ионизирующего излучения, требуют значительных временных затрат. В ходе вмешательств такого вида врачу-специалисту рекомендуется менять направление рентгеновского луча и угол наклона трубки, при этом меняя, соответственно, участок кожи, подвергающийся

воздействию рентгеновского луча. Это способствует снижению риска возникновения детерминированных эффектов на коже. Помимо этого, рекомендуется избегать, насколько это возможно, использования косых проекций, характеризующихся значительным углом наклона рентгеновской трубки. Вдобавок следует стремиться к тому, чтобы источник облучения был максимально возможно отдален от пациента. Это позволит снизить уровень лучевой нагрузки во время исследования [54, 123, 135, 136].

В детской рентгенологической практике для уменьшения дозы необходимо, по возможности, исключить многофазное сканирование, минимизировать время исследования, использовать автоматический контроль экспозиции и применять импульсную рентгеноскопию вместо непрерывной. Удаление анти-рассеивающей решетки при облучении детей также может привести к снижению дозы радиации. При этом потеря качества изображения оказывается незначительной. Кроме того, во время диагностических и лечебных процедур детям необходимо ограничить область, подвергаемую воздействию рентгеновского луча, чтобы избежать ненужного облучения здоровых тканей [6, 7, 19, 20, 54, 87, 88, 96, 117, 119, 120].

Важную роль в процессе оптимизации радиационной безопасности населения, в том числе и детей, играют референтные диагностические уровни (РДУ). Под РДУ понимается определенное значение стандартной дозы облучения при проведении типовых РРИ. Благодаря данному параметру медицинские работники могут проверять и сравнивать дозовые характеристики, а также процедуры лучевой диагностики, выполняемые по всей стране. МКРЗ рекомендует применять РДУ для всех медицинских вмешательств с использованием источников ионизирующего излучения, чтобы максимально снизить уровень лучевой нагрузки на организм пациентов [9, 44, 74, 75, 76, 80, 83, 90, 94, 95, 100, 101, 109, 139, 140, 149, 155, 157].

РДУ определяются на уровне 75-го перцентиля распределения стандартных значений дозы для типовых рентгенорадиологических процедур, проводимых с использованием стандартной медицинской аппаратуры для типовых пациентов или

математических моделей [9, 44, 74, 75, 76, 80, 83, 94, 95, 100, 101, 109, 139, 140, 149, 155, 157].

Основная задача РДУ заключается в том, чтобы обеспечивать в разумных пределах минимально возможный уровень облучения, не снижая при этом качество рентгеновских снимков, а также получаемых сведений о состоянии пациента. РДУ представляют собой важный практический инструмент контроля, направленный на обеспечение соответствия дозы ионизирующего излучения, действующей на организм пациента, установленным нормам. Этот показатель способствует обеспечению и поддержанию достоверности и детальности получаемых диагностических данных пациента [9, 44, 74, 75, 76, 80, 83, 94, 95, 100, 101, 109, 139, 140, 149, 155, 157].

ОСПОРБ 99/2010, п. 4.7 [39], приводит следующее определение принципа оптимизации: достижение медицинского эффекта РРИ, получение диагностической информации должного качества или лечебного результата при минимально возможных уровнях облучения. В п. 4.8 данных правил приведены основополагающие способы по внедрению оптимизации в медицинской практике. Первоочередную важность составляет использование современных методов, технологий и специализированного оборудования для проведения РРИ, благодаря которым медицина достигла значительных успехов в обеспечении высококачественной диагностики и эффективности лечения. Эти новшества не только позволяют врачам получать максимально информативные результаты, но и существенно снижают риски, связанные с лучевыми поражениями и другими негативными последствиями для пациента.

Еще одним не менее значимым методом для повышения безопасности пациентов во время медицинского облучения является использование РДУ. Эти уровни предполагают стандартизированный подход к определению доз облучения для различных исследований, что позволяет уменьшить вариативность и снизить риск избыточного облучения. Концепция РДУ раскрыта в полной мере в МР 2.6.1.066-12 «Применение референтных диагностических уровней для оптимизации радиационной защиты пациента в рентгенологических

исследованиях общего назначения». Наконец, не последнюю роль в реализации принципа оптимизации играют осуществление учета и контроля за дозами, получаемыми пациентами, а также поддержание качества процедур на высоком уровне. Помимо этого, в правилах приводятся средства оптимизации радиационной защиты лиц, проходящих терапевтические рентгенорадиологические процедуры, включая интервенционные исследования. К ним относятся использование надлежащего оборудования и программного обеспечения, планирование и проведение процедур таким образом, чтобы ткани за пределами органа-мишени получили минимальную дозу облучения, определение поглощенной дозы в объеме органа-мишени и в других тканях, указанных врачом-рентгенологом/радиологом, а также обеспечение качества процедур.

В нормах радиационной безопасности НРБ-99/2009 [27] указана схожая с ОСПОРБ 99/2010 формулировка оптимизации, однако данный регламент не приводит дополнительные и специфичные характеристики принципа. Нормативные правила СанПиН 2.6.1.1192-03 «Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований» рассматривают принцип оптимизации и ограничение доз радиационного воздействия на пациентов как единое целое. Взаимодействие данных двух методов основано на снижении доз облучения до минимально допустимого уровня. При этом, однако, сохраняется диагностическая и лечебная польза от процедуры. Таким образом, объединение оптимизации с ограничением уровней облучения гарантирует безопасность пациентов при проведении интервенционных вмешательств.

Принцип нормирования доз, или ограничения радиационного воздействия, является важнейшим аспектом обеспечения радиационной безопасности пациентов в области медицины. Основная цель данного подхода заключается в минимизации и контроле радиационного воздействия на пациента и медицинский персонал при проведении диагностических и терапевтических процедур, связанных с использованием ионизирующего излучения. Тем не менее при проведении интервенционных вмешательств невозможно применить ограничение

радиационного воздействия должным образом. В медицинской сфере на международном уровне нормирование, как правило, не используется на практике в ходе лучевой диагностики. Это обусловлено тем, что нерациональное снижение дозы облучения пациента может негативно сказаться на качестве исследований, приводя к неэффективности диагностических методов и лечения. Медицинское облучение, как указано в публикациях № 103 [48] и 105 [131] МКРЗ, требует тщательной оценки и обоснования. Важными аспектами проведения таких процедур является их целенаправленность – облучение должно быть строго направлено на достижение конкретной лечебной цели – и добровольность. Данные принципы соблюдаются с условием, что проводимое лечение окажет положительный диагностический или терапевтический эффект.

Нормы безопасности GSR part 3 и Стандарт безопасности SSG-46 [66], введенные МАГАТЭ, описывают конкретные ситуации и исследования, проведение которых подразумевает применение принципа нормирования доз. В частности, предлагается применять данный принцип во время исследований на лицах, проходящих медицинские РПИ в связи с профессиональной деятельностью или в рамках медико-юридических процедур. Установление предельных значений радиационной нагрузки особенно актуально для участников профилактических обследований или биомедицинских исследований, то есть групп, которые проходят профилактические осмотры или участвуют в клинических испытаниях без очевидной пользы. Годовая ЭД, обусловленная этими процедурами, не должна превышать 1 мЗв [48, 117].

В соответствии с ключевыми документами Российской Федерации по обеспечению радиационной безопасности, включая Федеральный закон № 3, принцип ограничения доз также считается нецелесообразным для применения при медицинском облучении. Это обусловлено тем, что процедуры с использованием радиации преследуют конкретные диагностические и лечебные цели, которые необходимо реализовать. Важно, чтобы положительное влияние таких процедур превышало возможные радиационные риски для здоровья пациента. Например, правила СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-

99/2009)» утверждают, что радиационная защита пациентов при медицинском облучении должна быть основана на необходимости получения полезного эффекта от соответствующих медицинских процедур при наименьших возможных уровнях облучения [27]. Санитарные правила обеспечения радиационной безопасности ОСПОРБ-99/2010 приводят аналогичную формулировку: «Дозы, получаемые пациентами при проведении рентгенорадиологических процедур, не нормируются» [39].

В дополнение к основополагающим принципам радиационной защиты, таким как обоснование, оптимизация и нормирование доз, следует рассмотреть организационные меры, которые способствуют улучшению защиты пациентов всех возрастов от ионизирующего излучения. К ним относится целый ряд мероприятий, направленных на обеспечение контроля и постоянное улучшение качества РРИ. Согласно рекомендациям, приведенным в п. 3.170 и 3.182 публикации GSR, Часть 3, данный комплекс мер охватывает все аспекты – от подготовки и настройки параметров специализированного медицинского оборудования до оценки качества обслуживания пациентов.

Основным элементом программы обеспечения качества является системный подход к мониторингу качества всех процессов во время интервенционных вмешательств. Под этим понятием понимаются регулярные проверки и калибровка параметров диагностического оборудования, внедрение современных технологий и методов, а также обучение медицинского персонала, выполняющего РРИ. Все аспекты данного комплекса мероприятий имеют единую цель – минимизация рисков для пациентов и повышение эффективности диагностики [91].

Данная программа мер по обеспечению контроля качества проведения медицинского облучения определена и детально описана во многих современных медицинских нормативных документах и регламентах, например, в МУК 2.6.7.3651-20 и МУК 2.6.7.3652-20. Однако эти методические указания охватывают довольно узкий диапазон методов исследований, рассматривая наиболее важные из них, такие как КТ и позитронная эмиссионная томография (ПЭТ) [19, 20]. При этом в них опущены рекомендации и специфика проведения других видов

вмешательств. Помимо этого, в данных документах полностью отсутствует информация о программах обеспечения качества для детей. Специфика детской физиологии, в сравнении со взрослой, требует особых условий проведения интервенционных вмешательств, в связи с чем недостаток точных сведений может негативно сказаться на безопасности и эффективности процедур.

ГЛАВА 2 МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Схема дизайна исследования представлена на Рисунке 1.



Рисунок 1 – Дизайн проведенного исследования

2.1 Объекты исследования

Исследование проводилось на базе клиники федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета» (ФГБОУ ВО СПбГПМУ) Министерства здравоохранения Российской Федерации, отделение рентгенохирургических методов диагностики и лечения.

В ходе работы ретроспективный сбор данных и анализ структуры интервенционных исследований осуществлялся с использованием записей в журналах проведения интервенционных исследований и цифровых архивов изображений. Всего было проанализировано 3748 интервенционных исследований, которые были проведены детям разных возрастных категорий с 2017 по 2022 год.

Данные для проспективного анализа были собраны с использованием специально разработанных анкет в ходе прямой регистрации рентгенологических данных непосредственно во время проведения интервенционных исследований (Приложение 1 и 2). Были получены данные о 228 интервенционных исследованиях, которые были выполнены детям разных возрастных категорий с 2021 по 2022 год.

Возрастные категории детей, используемые в данной работе, включали в себя пять основных групп: «0 лет» (0–6 мес.), «1 год» (6 мес. – 2 года), «5 лет» (2–7 лет), «10 лет» (7–12 лет), «15 лет» (12–18 лет). Референтные значения длины тела, массы тела и общей площади поверхности тела для пациентов разных возрастных категорий приведены в Таблице 1 согласно МКРЗ для отдельных лиц – как детей, так и взрослых [59].

2.2 Характеристика аппаратного парка

Интервенционные исследования были выполнены с помощью современных ангиографических установок:

– Innova 3100/4100 производства GE Medical Systems (Франция, 2006) (Рисунок 2). Использованные уровни общей фильтрации: 3,5 мм Al и 0,3 мм Cu;

– The Philips Allura Xper производства Philips Medical Systems (Нидерланды, 2010) (Рисунок 3). Использованный уровень общей фильтрации: 2,5 мм Al.



Рисунок 2 – Ангиографическая система Innova 3100/4100



Рисунок 3 – Ангиографическая система The Philips Allura Xper

Оснащенные клиническими дозиметрами (ионизационными камерами) KermaX (Германия), данные устройства позволяют точно определять и контролировать значения ПДП. Параметр ПДП, измеряемый в $\text{сГр}\cdot\text{см}^2$ или $\text{мГр}\cdot\text{см}^2$, применяется для измерения и оценки воздействия ионизирующего излучения на пациента в процессе медицинских РРИ.

В ходе последней проверки рабочих характеристик были проведены необходимые настройки дозиметров ангиографических установок. При анализе данных группировка интервенционных исследований по аппаратам не проводилась.

2.3 Методика сбора данных

2.3.1 Выбор интервенционных исследований для анализа

Для изучения структуры интервенционных исследований информация была получена путем выкопировки данных из журналов, в которых фиксировались интервенционные исследования, цифровых архивов рентгеновских изображений и медицинских карт 3748 детей различных возрастных групп за период 2017–2022 годов.

В итоговую выборку вошли пациенты, для которых были зафиксированы следующие характеристики: пол, возраст, возрастная категория, длина и масса тела, вид основного исследования и операции, вид смежного исследования или операции, затраченное время на выполнение исследования, контрастное вещество и его объем, если оно использовалось, а также значения ПДП и поглощенная доза в коже на протяжении всего исследования.

По завершении сбора и сортировки всех необходимых данных об участвующих в исследовании пациентах и проводимых интервенционных вмешательствах из общей выборки были исключены лица, для которых не удалось обеспечить точность и полноту сведений. В качестве исключающих критериев применялись следующие:

1. Недостаток информации о получаемой дозе лучевой нагрузки на пациента (ПДП и поглощенная доза в коже).
2. Отсутствие информации о виде интервенционного исследования (анатомической локализации).
3. Аномально высокие или низкие значения антропометрических характеристик пациентов.
4. Отсутствие информации по полу и возрасту пациента.

В результате в итоговой выборке осталось 3565 пациентов.

Для разработки классификации интервенционных исследований использовалась следующая схема:

1. Классификация интервенционных исследований с градацией их на диагностические и лечебные исследования.

2. Общая градация по видам интервенционных процедур в зависимости от области исследования:

– на органах желудочно-кишечного тракта (ЖКТ) и трахеобронхиального дерева (баллонная пластика пищевода, дренирование кисты поджелудочной железы, холангиография, биопсия печени);

– на периферических сосудах (установка периферически имплантируемых центральных венозных катетеров, баллонная ангиопластика почечных артерий, рентгенэндоваскулярная окклюзия тестикулярных вен, эмболизация артериовенозной мальформации (АВМ) конечностей);

– на мочевыделительной системе (нефролитотрипсия, стентирование мочеточника, баллонная дилатация пиелoureтерального сегмента, пиелография);

– на области головы и шеи (церебральная ангиография, ангиография сосудов головы и шеи, эмболизация АВМ головного мозга);

– на сердце и магистральных сосудах грудной клетки (ангиография магистральных сосудов, эмболизация открытого артериального протока, зондирование камер сердца, эмболизация большой аорто-легочной коллатерали, баллонная вальвулопластика легочной артерии).

3. Классификация интервенционных исследований по анатомическим областям (грудная клетка, брюшная полость, голова, нижние конечности и т. д.).

4. Классификация интервенционных исследований по возрастным категориям пациентов.

Если в группу интервенционных исследований попадало менее 10 пациентов, такие исследования относили в категорию «прочее» и в дальнейшем исключали из анализа доз облучения пациентов в связи с ограниченностью данной подвыборки.

Данные для проспективного анализа были собраны с использованием специально разработанных анкет. Были получены данные о 228 интервенционных исследованиях, которые были выполнены детям разных возрастных категорий. Из этого числа 70 исследований касалось вмешательств, проведенных на органах ЖКТ и трахеобронхиального дерева; 75 вмешательств были направлены на интервенции

в периферических сосудах; 23 – нейрохирургические процедуры, еще 23 относились к исследованиям при врожденных пороках сердца и, наконец, 22 – к вмешательствам на мочевыводящих путях. Отдельную группу составили комбинированные интервенционные исследования, которые выполнялись на разных анатомических областях или для решения разных клинических задач в рамках одного вмешательства, в нее вошли 8 пациентов. Семь пациентов были исключены из данной выборки, так как исследования, которые им выполнялись не относятся ни к одной категории вмешательств, приведенных выше, и проводятся довольно редко, поэтому получить по ним статистически достоверную информацию не представлялось возможным.

2.3.2 Сбор параметров проведения интервенционных исследований

Для определения уровней облучения пациентов для самых распространенных видов интервенционных исследований были собраны следующие характеристики:

- общая информация о пациенте:
 - дата рождения / возраст;
 - антропометрические параметры (масса, длина тела);
- физико-технические параметры интервенционного вмешательства:
 - толщина и состав дополнительных фильтров (мм Al и мм Cu);
 - напряжение на рентгеновской трубке (кВ);
 - ПДП (сГр·см²);
- геометрия облучения пациента:
 - положение рентгеновской трубки относительно пациента (под/над столом);
 - угол облучения (наклон рентгеновской трубки);
 - объем поля облучения (см);
 - область исследования (череп, грудная клетка и т. п.);
 - расстояние от фокуса рентгеновской трубки до детектора изображения (см).

Все вышеприведенные данные собирались вручную в процессе исследований с помощью специально разработанных анкет. Кроме того, информация о проведенных интервенционных вмешательствах была извлечена из системы хранения данных PACS (англ. Picture Archiving and Communication System – система передачи и архивации DICOM-изображений) и сохранена в цифровом формате DICOM (англ. Digital Imaging and Communications in Medicine – Стандарт для обмена медицинскими изображениями и сопутствующей информацией, стандарт обработки, хранения, передачи, печати и визуализации медицинских изображений). В дальнейшем расчет и определение вероятностной дозы облучения пациентов и проверка собранных сведений осуществлялись на основе этих записей с применением специализированного программного обеспечения РСХМС 2.0, позволяющего проводить моделирование облучения пациентов всех возрастных категорий. Все полученные данные были анонимизированы.

2.4 Оценка эффективных доз и соответствующих радиационных рисков при проведении интервенционных исследований

Оценка ЭД и связанных с ними радиационных рисков для здоровья пациентов в ходе диагностических и лечебных процедур с использованием источников ионизирующего излучения 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 ПДП, с учетом геометрии облучения и физических параметров рентгеновского пучка;
- оценка пожизненного риска потенциальных радиогенных последствий для здоровья вследствие вмешательства. Данный анализ рассчитывается исходя из полученных сведений об облучении всех радиочувствительных органов и тканей пациента, принимая во внимание его пол и возраст;
- разработка упрощенных моделей облучения с меньшим количеством полей облучения;
- определение КП от значения ПДП к эффективной или к поглощенной дозе в органах и тканях.

Для подготовки и создания моделей облучения пациентов использовалась специализированная платформа РСХМС 2.0 (STUK, Финляндия). Данная программа представляет собой важный инструмент в радиологии для проведения дозиметрических расчетов и анализа радиационного воздействия. Одной из основных возможностей ПО РСХМС 2.0 является его способность моделировать различные радиологические процедуры с высокой точностью. Интерфейс программы, на котором отображены окна для ввода физико-технических характеристик типовых рентгенографических исследований, показан на Рисунке 4.

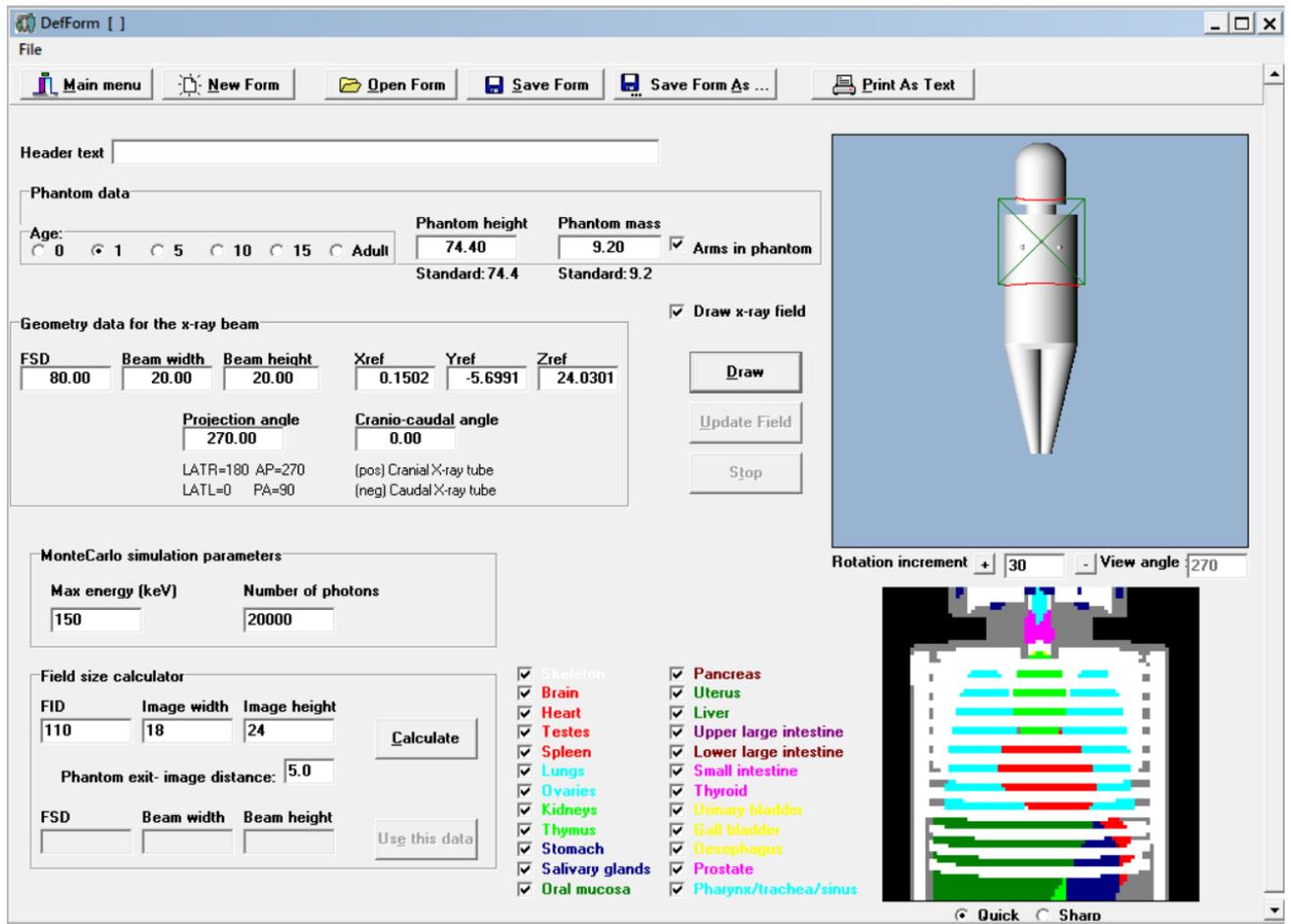


Рисунок 4 – Общий вид интерфейса PCXMC 2.0

В данном программном обеспечении для расчета ЭД используются математические антропоморфные фантомы разных возрастных категорий для создания примерной модели тела пациента. Данные математические модели представлены в виде структуры из 31 органа/ткани. На Рисунке 5 показаны шесть антропоморфных фантома, которые используются при моделировании облучения: взрослый, 15 лет, 10 лет, 5 лет, 1 год, новорожденный.

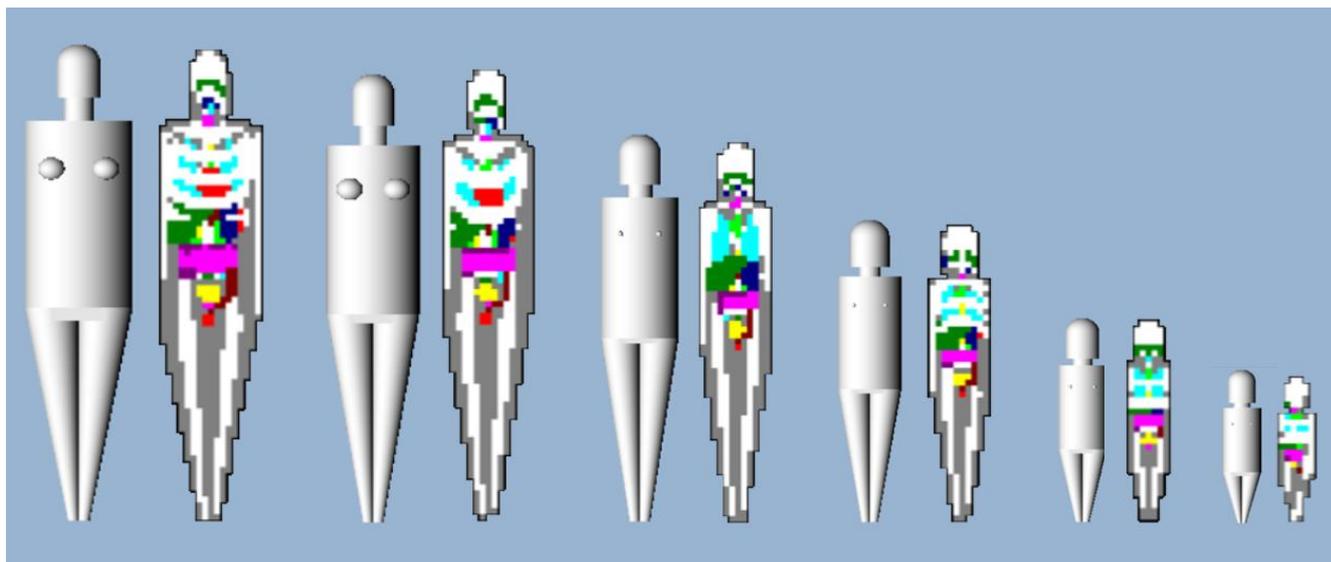


Рисунок 5 – Антропоморфные фантомы ПО РСХМС 2.0

Программное обеспечение РСХМС 2.0 преобразует каждое интервенционное исследование в набор стандартных этапов процедур рентгеновской диагностики. Данные этапы зависят от исследуемой анатомической области пациента, а также от направления рентгеновского луча. Каждый этап включает в себя группу полей облучения, соответствующих различным органам и тканям. Если рентгеновская трубка оставалась неподвижной и облучался лишь один орган или их группа, то этап состоял из единственной зоны облучения. Однако в случае, когда рентгеновская трубка перемещалась на значительное расстояние, а облучению подвергались различные органы, этап включал несколько полей. Каждое поле характеризовало определенную анатомическую область пациента. При одновременном использовании во время процедуры двух трубок данные фиксировались отдельно для каждой из них.

Расчет оптимальных уровней радиационного воздействия и доз облучения пациента осуществлялся для всех указанных полей с помощью программы РСХМС 2.0. Оценка проводилась на основании величины ПДП и учитывала геометрию облучения пациента, а также физико-технические параметры рентгеновского пучка.

Определение КП от значения ПДП к эффективной или органной дозе для всех выбранных полей облучения выполнялось с использованием Формул 1 и 2:

$$K_E = \frac{E}{\text{ПДП}_{\text{поле}}} \times 1000, \frac{\text{мкЗв}}{\text{сГр} \cdot \text{см}^2} \quad (1)$$

$$K_{Di} = \frac{Di}{\text{ПДП}_{\text{поле}}} \times 1000, \frac{\text{мкГр}}{\text{сГр} \cdot \text{см}^2} \quad (2),$$

где E – ЭД за этап рентгеноскопии или рентгенографии, мЗв; Di – поглощенная доза в радиочувствительном органе i за одну фазу рентген-диагностики, мГр.

Определение вклада произведения дозы на площадь за различные проекции облучения пациента в общее произведение дозы на площадь за интервенционное исследование выполнялось с помощью Формулы 3:

$$\%_{\text{ПДП}} = \frac{\text{ПДП}_{\text{проекция}}}{\text{ПДП}_{\text{полное}}}, \% \quad (3),$$

где $\text{ПДП}_{\text{проекция}}$ – общее ПДП в ходе всего РРИ, а также рентгеновские изображения, сделанные под выбранным углом наклона трубки, $\text{сГр} \cdot \text{см}^2$; $\text{ПДП}_{\text{полное}}$ – ПДП в течение всей диагностической процедуры, $\text{сГр} \cdot \text{см}^2$.

Определение среднего коэффициента перехода от произведения дозы на площадь к поглощенной дозе в радиочувствительном органе i или эффективной дозе для всего данного исследования был вычислен с использованием Формулы 4 и 5.

$$K = \sum_{\text{проекция}} \%_{\text{ПДП}} \times K_{\text{проекция}}, \frac{\text{мкЗв}}{\text{сГр} \cdot \text{см}^2} \text{ или } \frac{\text{мкГр}}{\text{сГр} \cdot \text{см}^2} \quad (4),$$

где $\%_{\text{ПДП}}$ – влияние ПДП за различные проекции облучения пациента на общее ПДП в течение вмешательства, %; $K_{\text{проекция}}$ – средний КП от величины ПДП к поглощенной радиочувствительным органом i дозе или ЭД для конкретной проекции, $\frac{\text{мкЗв}}{\text{сГр} \cdot \text{см}^2}$ или $\frac{\text{мкГр}}{\text{сГр} \cdot \text{см}^2}$.

$$K = \sum_{\text{проекция}} \frac{\text{ПДП}_{\text{проекция}}}{\text{ПДП}_{\text{полное}}} \times \sum \frac{E}{\text{ПДП}_{\text{поле}}} \quad (5),$$

где K – средний КП от величины ПДП к поглощенной радиочувствительным органом i дозе или ЭД для всего исследования, $\frac{\text{мкЗв}}{\text{сГр} \cdot \text{см}^2}$ или $\frac{\text{мкГр}}{\text{сГр} \cdot \text{см}^2}$; $\text{ПДП}_{\text{полное}}$ – общее

значение ПДП за все фазы и рентген-изображения для всего исследования, рассчитанное всех проекций и всех пациентов, $\text{сГр}\cdot\text{см}^2$; $\text{ПДП}_{\text{проекция}}$ – общее значение ПДП для всего исследования, полученные во время диагностической процедуры, рассчитанное для определенной проекции для всех пациентов, $\text{сГр}\cdot\text{см}^2$; E – ЭД, полученная за один этап рентгеновского исследования или просвечивания в определенной проекции, мЗв; или поглощенная доза за тот же этап исследования или рентгеновского снимка в заданной проекции, мГр.

Вероятность возникновения негативных радиогенных последствий для здоровья пациента, связанных с проведенным медицинским облучением, определялась в соответствии с методическими рекомендациями МР 2.6.1.0215-20 «Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований». Оценка возможных рисков осуществлялась на основании доз ионизирующего излучения, поглощенного органами и тканями пациента, а также с учетом пола и возраста пациента. Расчет проводился с помощью Формулы 6:

$$R(A, G) = \sum_0 \text{ПДП} \times K \times r(A, G, i) \quad (6),$$

где $R(A, G)$ – пожизненный риск возникновения радиационных последствий у пациента пола G в возрасте A вследствие проведенного исследования, отн. ед.; ПДП – суммарное ПДП за все фазы и просвечивания для всех проекций, $\text{сГр}\cdot\text{см}^2$; K – КП от величины ПДП к дозе облучения, поглощенной радиочувствительным органом i , $\frac{\text{мкГр}}{\text{сГр}\cdot\text{см}^2}$; $r(A, G, i)$ – номинальный коэффициент радиационного риска от облучения органа i у лица пола G в возрасте A (лет), мГр^{-1} .

2.5 Методы статистического анализа

Анализ полученных в ходе исследования данных проводился на основе статистических методов, реализованных в программном решении Statistica 10. Для оценки и проверки нормальности распределения данных в рамках данной работы был использован тест Колмогорова – Смирнова с учетом поправки Лиллефорса, а также тест Шапиро – Уилка. 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 (минимум – максимум).

**ГЛАВА 3 СТРУКТУРА ИНТЕРВЕНЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
В МНОГОПРОФИЛЬНОЙ КЛИНИКЕ
ФГБОУ ВО «САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ПЕДИАТРИЧЕСКИЙ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

3.1 Анализ структуры интервенционных исследований

Динамика изменения структуры интервенционных исследований, проведенных в отделении рентгенохирургических методов диагностики и лечения СПбГПМУ с 2016 по 2021 год, показала увеличение количества интервенционных исследований, проводимых детям разных возрастов. При этом почти в 2 раза увеличилось не только общее число исследований, но и число исследований, выполненных с лечебной целью (Рисунок 6). Число диагностических интервенционных исследований в данный временной период значимо не изменилось.

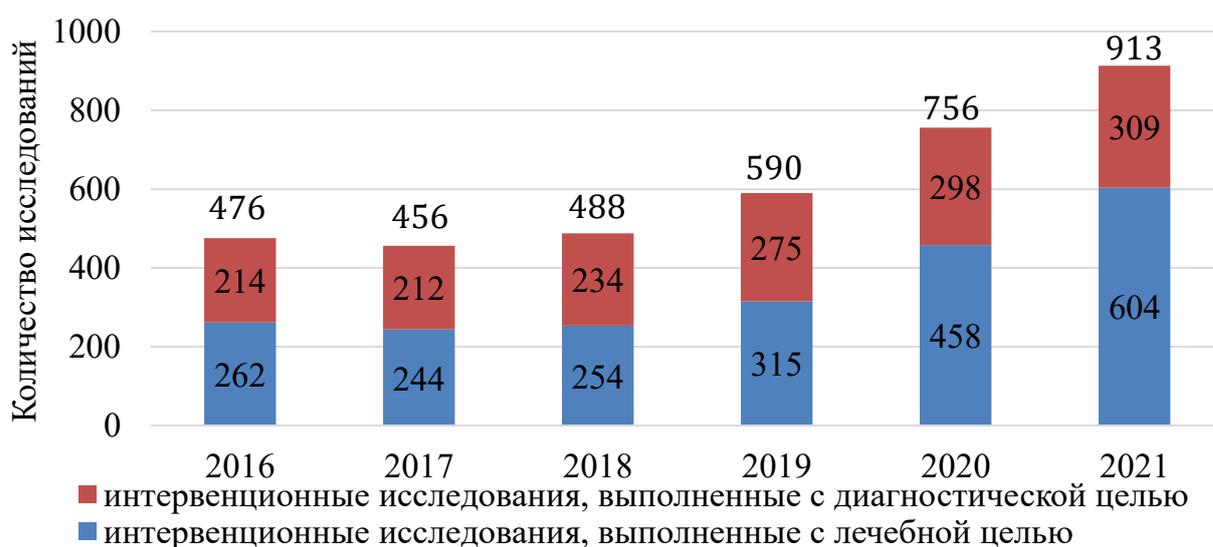


Рисунок 6 – Интервенционные процедуры, проведенные с 2016 по 2021 год

В рассмотренный пятилетний период наиболее часто в педиатрической практике проводились интервенционные исследования на органах ЖКТ и трахеобронхиального дерева (Рисунок 7). В 2021 году доля данных вмешательств

от общего числа интервенционных исследований составила 35%. На втором месте по количеству исследований – интервенционные вмешательства на периферических сосудах (34%). Следует отметить, что в период пандемии COVID-19 структура интервенционных исследований в целом остается неизменной за исключением резкого сокращения числа исследований на мочевыводящих путях.

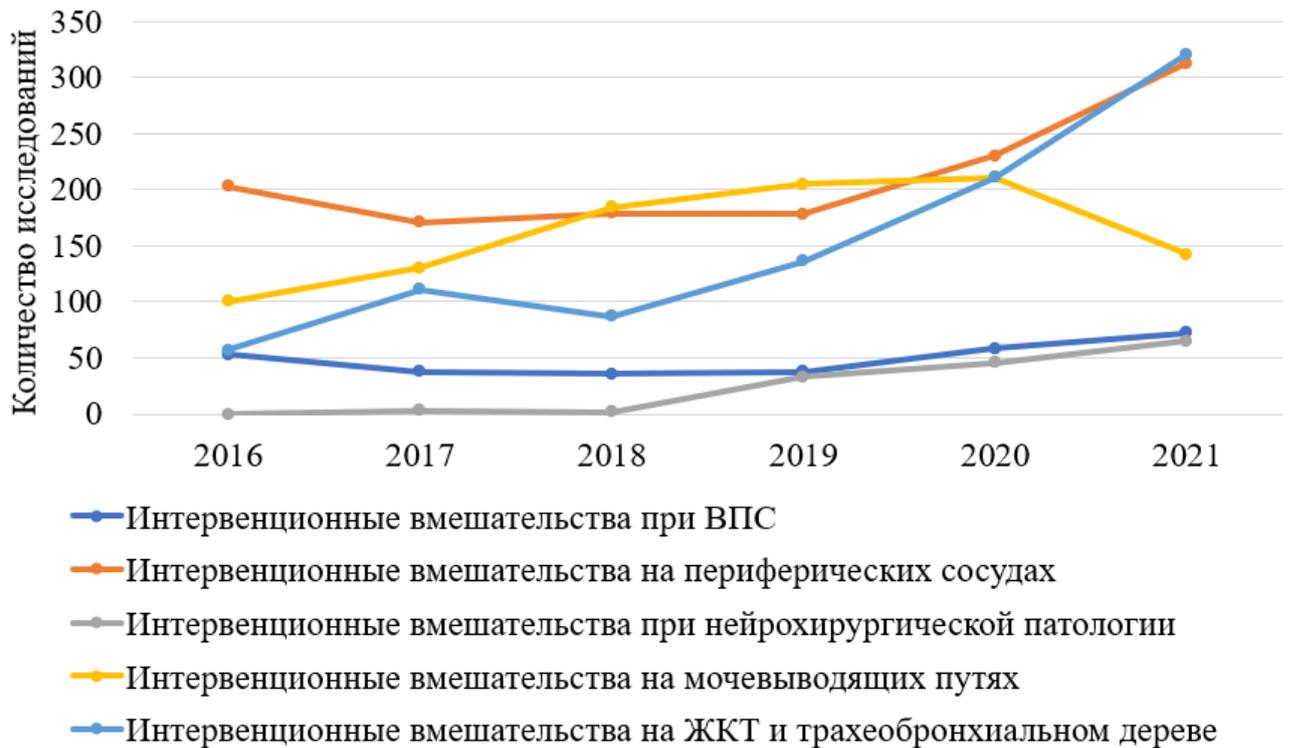


Рисунок 7 – Виды интервенционных вмешательств, выполненных с 2016 по 2021 год

Таким образом, наиболее перспективными с точки зрения оценки уровней облучения являются вмешательства на органах ЖКТ и трахеобронхиального дерева, а также на периферических сосудах.

Всего в итоговую выборку вошло 3565 пациентов. Сведения о пациентах представлены в Таблице 2.

Таблица 2 – Антропометрические характеристики пациентов разных возрастных категорий, которым выполнялись интервенционные исследования

Возрастная категория	0	1	5	10	15	>15
Количество пациентов	755	616	646	450	840	258
Возраст	0 дней – 6 мес.	1 год – 1 год 9 мес	2 года – 6 лет 6 мес	10 лет 1 мес – 11 лет 11 мес	12 лет – 16 лет 9 мес	17 лет – 18 лет 10 мес
Длина тела, см	53,6±7,1 (31-92)	81,7±13,4 (52-115)	104±11,5 (81-140)	136±11,5 (104-170)	167±14,2 (104-193)	174±14 (104-192)
Масса тела, кг	3,97±1,55 (1-12)	9,3±2,6 (3-16)	15,7±4,4 (8-30)	33,2±10,1 (17-65)	56,8±15,2 (10-111)	64,5±13 (15-95)
Индекс массы тела, кг/м ²	13,4±2,78 (6,25-25)	14,3±3,7 (5,06-23,8)	14,4± 2,8 (9-26)	17,6±3,8 (10,7-33,2)	20,2±3,8 (9,2-39,1)	21±3 (13,6-31,4)

Динамика изменения числа пациентов по годам представлена в Таблице 3.

Таблица 3 – Данные о количестве пациентов за 2017–2022 годы

Год	Всего		0		1		5		10		15		>15	
	м	ж	м	ж	м	ж	м	ж	м	ж	м	ж	м	ж
2017	259	131	41	33	31	17	61	20	31	32	66	23	29	6
2018	295	110	29	16	50	21	53	23	42	23	94	23	27	4
2019	321	207	65	34	51	32	58	51	43	36	77	43	27	11
2020	389	269	111	73	56	37	65	65	32	35	90	49	35	10
2021	531	301	118	55	116	58	51	77	63	42	132	56	51	13
2022	481	271	126	54	81	66	69	53	56	15	109	78	40	5

Продолжение Таблицы 3

Год	Всего		0		1		5		10		15		>15	
	м	ж	м	ж	м	ж	м	ж	м	ж	м	ж	м	ж
всего	2276	1289	490	265	385	231	357	289	267	183	568	272	209	49

Как следует из Таблицы 3, наиболее часто интервенционные исследования выполнялись новорожденным, а также детям в возрастных категориях «1 год» и «15 лет». С каждым годом наблюдался прирост числа пациентов всех возрастных категорий вплоть до 2022 года в среднем на 26%.

Сведения об уровнях облучения пациентов и времени выполнения самых распространенных видов интервенционных исследований для детей различных возрастных категорий приведены в Приложениях 3 и 4.

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 детям из категории «1 год» и 169 – из категории «5 лет». Наиболее распространенными интервенционными исследованиями 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 подросткам старше 15 лет (147 исследований).

Диагностические вмешательства на органах ЖКТ и трахеобронхиального дерева и лечебные интервенционные вмешательства на сердце и магистральных сосудах грудной клетки проводились наиболее часто для категории «0 лет», тогда как для возрастных групп «1 год» и «5 лет» характерными оказались лечебные вмешательства на органах ЖКТ и трахеобронхиального дерева, а также процедуры, проводившиеся в области мочевыделительной системы. В группе детей «10 лет» наиболее часто проводились терапевтические интервенционные процедуры, связанные с ЖКТ, трахеобронхиальным деревом и мочевыводящими путями, а

также диагностические вмешательства на периферических сосудах. Для детей возрастной категории «15 лет» и старше – интервенционные вмешательства на периферических сосудах, выполняемых с лечебной целью.

Ряд вмешательств, например, диагностические интервенционные исследования на органах ЖКТ и трахеобронхиального дерева для возрастных групп «5 лет», «10 лет», «15 лет», диагностические интервенционные вмешательства на мочевыводящих путях для детей всех возрастных категорий, интервенционные вмешательства на сердце и магистральных сосудах грудной клетки и области головы и шеи для всех возрастных категорий и пр., представлены крайне ограничено. В год в среднем выполнялось менее 10 таких исследований, что требует проводить анализ всей выборки пациентов в целом.

Самые высокие средние значения ПДП наблюдались в процессе интервенционных исследований областей головы и шеи. При выполнении данных исследований с лечебной целью с увеличением возраста детей увеличиваются и средние значения ПДП – минимальные значения наблюдаются для возрастной категории «0 лет», максимальные – для детей из группы «15 лет». Интервенционные вмешательства на области головы и шеи, выполнявшиеся с диагностической целью, были направлены только на 3 конкретные группы детей – «5 лет», «10 лет» и «15 лет». Данные группы характеризуются зависимостью значений ПДП от возраста детей.

Интервенционные вмешательства на сердце и магистральных сосудах грудной клетки также ассоциированы с высокими средними значениями ПДП за исследование. Данный вид интервенционных исследований для достижения как диагностических, так и лечебных целей, выполнялся детям трех категорий возрастов – «0 лет», «1 год» и «5 лет». В результате исследований минимальные значения ПДП были отмечены у группы «0 лет», тогда как максимальные наблюдались у возрастной категории «5 лет».

Средние значения ПДП увеличивались с возрастом детей при выполнении интервенционных вмешательств на мочевыводящих путях с лечебной целью.

Среди всех возрастных категорий максимальные значения наблюдались у возрастной категории «15 лет».

При выполнении интервенционных вмешательств на периферических сосудах максимальные значения ПДП за исследование наблюдались у педиатрических пациентов категорий «0 лет» и «10 лет». Средние значения ПДП для остальных категорий возрастов были примерно одинаковыми.

Интервенционные вмешательства на органах ЖКТ и трахеобронхиального дерева с лечебной целью выполнялись детям всех групп возрастов. При этом средние значения ПДП за исследование для всех пациентов находились примерно в одном диапазоне, за исключением возрастной категории «15 лет», для которой значения ПДП в несколько раз выше, чем для остальных. Для диагностических целей данный вид интервенционных исследований выполнялся детям тех же возрастных категорий: максимальные значения ПДП наблюдались для возрастной категории «1 год», тогда как минимальные были характерны для группы детей «5 лет». Для педиатрических пациентов других возрастных групп данная величина отличалась несущественно.

Значимые различия не были выявлены между диагностическими и лечебными исследованиями ЖКТ и трахеобронхиального дерева для детей категорий «0 лет» и «5 лет». Также не обнаружено существенных изменений в данных при исследованиях мочевыводящих путей у групп возрастов «1 год», «5 лет», «10 лет» и «15 лет». Кроме того, такие же результаты были выявлены и при проведении исследований сердца и магистральных сосудов грудной клетки у детей возрастной категории «0 лет». Для других видов медицинского облучения и возрастных групп, где их выполняли и с диагностической, и лечебной целью, достоверные различия были: в среднем ПДП за все исследование для лечебных исследований выше в 1,5–2 раза.

Следует отметить, что выполнение ряда интервенционных исследований были ассоциированы с высокими значениями ПДП: для 343 исследований ПДП составило более 10 000 сГр·см², для 36 – более 50 000 сГр·см² и для 9 исследований – более 100 000 сГр·см². 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. Для данных исследований был выполнен анализ медицинских карт пациентов, но за период пребывания в стационаре кожные поражения идентифицированы не были.

Выполненный корреляционный анализ показал наличие средней положительной корреляции между временем проведения исследования, ПДП и поглощенной дозой в коже для всех возрастных категорий (коэффициенты корреляции Спирмена в диапазоне 0,4–0,6 в зависимости от группы исследований). Достоверная корреляция между антропометрическими параметрами пациентов (массой, индексом массы тела) и дозами облучения отсутствовала.

Значительные показатели ПДП и поглощенной дозы в коже, наблюдаемые у детей в некоторых видах интервенционных исследований, подчеркивают важность оценки ЭД и органных доз с целью выявления потенциальных радиационно-индуцированных последствий на организм. К сожалению, регламент МУ 2.6.1.3584-19 «Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований» в основном фокусируется на взрослых пациентах при расчете КП. Что касается детей, то информации представлено крайне мало, имеющиеся сведения относятся только к наиболее распространенным процедурам на сердечно-сосудистой системе. Анализ медицинских карт пациентов в исследуемом медицинском учреждении продемонстрировал, что расчеты ЭД осуществлялись на основе неактуальных коэффициентов. Это обстоятельство может оказать негативное влияние на достоверность данных о дозах облучения, что приведет к искажению показателей. Для обеспечения точной и достоверной оценки ЭД требуется разработать модели облучения пациентов, специфичные для каждого типа интервенционного исследования. Эти модели должны учитывать все важные факторы: структуру и этапы процедуры, проекции облучения, анатомические области, подвергающиеся

воздействию излучения, и движение рентгеновской трубки в процессе исследования.

3.2 Анализ ошибок, связанных с регистрацией, контролем и учетом доз пациентов

Ретроспективный сбор данных с анализом структуры интервенционных исследований с использованием записей в журналах проведения интервенционных исследований, цифровых архивов изображений и медицинских карт за исследуемый период показал необходимость исключать из выборки пациентов с недостоверными и/или неполными данными. Исключение ряда пациентов связано с ошибками на этапе регистрации данных, которые можно разделить на несколько групп.

Первая группа включает в себя ошибки, связанные с идентификацией пациента. Из общей выборки для 30 пациентов (0,8%) отсутствовала информация о половой принадлежности, еще для 49 отсутствовала информация о возрасте (1,3%). Кроме этого, для значительной части пациентов отсутствовала информация об антропометрических характеристиках: масса не указана для 2686 пациентов (71,6%), длина тела – для 2698 пациентов (71,9%).

Вторая группа – отсутствие информации о виде интервенционного исследования или анатомической локализации. Согласно данному критерию, были исключены 71 пациент (1,9%), для которых не удалось определить вид вмешательства. Кроме этого, отсутствие единой номенклатуры интервенционных исследований затрудняет анализ имеющихся данных.

Третья группа ошибок связана с отсутствием данных или недостоверной информацией о дозах облучения пациента. У 33 пациентов (0,9%) отсутствовала информация о ПДП, которые в дальнейшем были исключены из анализа. Для 119 пациентов (3,3%) не указана накопленная доза в коже после выполненного интервенционного исследования.

В Российской Федерации сведения о предполагаемой или полученной пациентом дозе облучения во время медицинских РРИ и о возможных неблагоприятных последствиях должны быть предоставлены пациентам или их

законным представителям. Данный аспект является неотъемлемой составляющей обеспечения радиационной защиты в соответствии с Федеральным законом от 09.01.96 г. № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения», ОСПОРБ-99/2010 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности», МР 2.6.1.0215-20 «Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований».

Определение радиационного риска при проведении интервенционных процедур – задача, требующая комплексного подхода, выходящего за рамки простого измерения ПДП. ПДП хоть и является важным показателем, но не дает полной картины риска, так как не учитывает чувствительность различных органов и тканей к радиации. Для более точной оценки используется концепция ЭД. ЭД – это интегральная величина, учитывающая множество разных факторов. ЭД позволяет оценить общие риски для человека, подвергшегося облучению, и использовать данные сведения для информирования пациентов или их законных представителей о возможных негативных последствиях радиационного воздействия и принятия соответствующих мер по защите здоровья. Анализ данных за исследуемый период показал, что значения ЭД отсутствуют для 869 пациентов (24%).

Согласно МУ 2.6.1.3584-19 в отечественной медицинской практике, оценка ЭД пациента вычисляется на основании КП (от измеренной дозы к эффективной). Однако применение указанных в этом источнике значений КП требует точного соответствия условий проведения интервенционных процедур и возрастных групп, для которых они были разработаны. Только при строгом соблюдении этих параметров можно корректно провести оценку дозы облучения и определить потенциальный радиационный риск для пациента. В МУ 2.6.1.3584-19 содержится раздел, касающийся коронарных исследований. Однако в нем представлена лишь ограниченная информация о КП для наиболее распространенных процедур, чего не всегда достаточно для оценки реального воздействия облучения на детей. Данные методические указания в основном ограничиваются описанием коэффициентов для одной проекции облучения, что не учитывает многообразие современных методик.

Кроме того, источник учитывает физические и технические параметры исследования, такие как напряжение и сила тока рентгеновской трубки, размер поля облучения, в упрощенном виде, тогда как на практике эти аспекты оказывают существенное влияние на дозу облучения, и их неполное описание может привести к недооценке радиационного риска.

Большинство интервенционных процедур не имеют четко определенных коэффициентов для расчета ЭД у пациентов педиатрического профиля. В результате этого специалисты и врачи отделения рентгенохирургических методов диагностики и лечения были вынуждены использовать коэффициенты, которые были одобрены для рентгенографических исследований отдельных анатомических областей для каждой возрастной группы в отдельности (МУ 2.6.1.3584-19 «Контроль ЭД облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований»). Это приводит к тому, что невозможно обеспечить точность и безопасность радиационных нагрузок на детский организм, для которого характерна повышенную чувствительность к ионизирующему излучению.

Стоит подчеркнуть, что значения КП, приведенные в МУ, могут использоваться только при условии соответствия параметров проведения исследования (напряжение на трубке, расстояние источник-приемник и размер поля излучения), для которого рассчитывается ЭД, указанная в МУ, и только для одной анатомической области. Из-за того, что данные условия соблюдаются не всегда для разных видов диагностических и лечебных процедур и для разных возрастов, дозы облучения детей могут недооцениваться или переоцениваться в несколько раз.

ГЛАВА 4 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНЫХ ДОЗ ДЕТЕЙ И СООТВЕТСТВУЮЩИХ РАДИАЦИОННЫХ РИСКОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИНТЕРВЕНЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Интервенционные вмешательства на органах желудочно-кишечного тракта и трахеобронхиального дерева

В данном разделе рассматриваются различные виды интервенционных вмешательств, которые были выполнены на органах желудочно-кишечного тракта и трахеобронхиального дерева детям разных возрастов. К ним относятся: баллонная пластика пищевода; установка желудочного зонда; динамическая эзофагография; динамическая ирригография; динамическая гастроэнтерография; дренирование абсцесса печени, чрезкожная чрезпеченочная холангиография и дренирование кист.

Для каждой из выбранных возрастных групп детей были определены средние значения и разброс ПДП, а также величины накопленной в коже дозы и ЭД. Вышеперечисленные значения основаны на тщательном анализе журналов проведения интервенционных исследований (Таблица 4).

Таблица 4 – Дозовые характеристики, определенные в ходе интервенционных исследований на органах ЖКТ и трахеобронхиального дерева.

Возрастная группа	Произведение дозы на площадь, мГр·см ²	Накопленная доза в коже, мГр	Эффективная доза, мЗв
0	5335 (10–187 840)	106 (1–2050)	12 (1–301)
1	4144 (10–265 375)	54 (1–5103)	5 (1–145)
5	3998 (10–215 651)	26 (1–1794)	4 (1–125)
10	9392 (6–478 645)	34 (1–629)	7 (1–124)
15	21 943 (20–408 303)	124 (1–2727)	9 (1–91)

Перспективный сбор данных с прямой регистрацией рентгенологических данных непосредственно во время интервенционных исследований был выполнен для 70 пациентов, на ЖКТ и трахеобронхиальном дереве которых были проведены вмешательства. Из этих пациентов 20 относились к возрастной группе «0 лет», 22 пациента – к категории «1 год», а 15 – к детям возрастной категории «5 лет».

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. Так как не существовало стандартизированных методик для выполнения выбранного исследования, были созданы специальные модели исследования с учетом последовательности и геометрии облучения для различных анатомических участков [12-14, 42, 81].

Баллонная пластика пищевода у детей в возрасте 1–2 лет представляет собой высокотехнологичное вмешательство, направленное на коррекцию различных патологий глотательной функции. Данная процедура подразделяется структурно на пять полей облучения, осуществляемых в задне-передней проекции. Каждая фаза баллонной пластики определяется набором дискретных полей, которые соответствуют конкретным органам и тканям пациента. Программное обеспечение РСХМС 2.0 создает модели облучения, позволяющие точно оценить дозу, получаемую пациентом, на основании этих полей (Таблица 5).

Таблица 5 – Поля облучения при проведении баллонной пластики пищевода детям 1–2 лет

Поле	Проекция	Размер поля	Координаты центра поля			Орган
			X	Y	Z	
Поле 1	З-П	8x20	0	5	25	Пищевод
Поле 2	З-П	8x20	-0,1	6	26	Пищевод
Поле 3	З-П	10x20	0,1	2	31	Пищевод
Поле 4	З-П	10x20	2	-7	33	Пищевод
Поле 5	З-П	20x20	0,1	-7	25	Пищевод

Каждое поле облучения имеет определенные границы, или ориентиры. Первое поле облучения характеризуется следующими границами: верхняя – верхняя челюсть; нижняя – верхний край печени и центральная часть желудка; боковые – границы перикарда. На этом этапе полностью просматривается пищевод. Второе поле, по сравнению с первым, сдвинуто влево на 3–4 см относительно пациента. Для поля 3 ориентиры таковы: верхняя граница – верхняя стенка глазницы; нижняя граница – центр перикарда; боковые границы – граница шеи. Четвертое поле облучения располагается выше на 3–4 см, чем третье и левее по отношению пациента. Наконец, для пятого поля определены следующие границы: верхняя – уровень верхней челюсти; нижняя – верхний край печени и центральная часть желудка; боковые – боковые поверхности грудной клетки.

На Рисунках 8–12 показаны анатомические области и границы для каждого из пяти полей облучения, смоделированные в программе РСХМС 2.0. Эти модели помогли стандартизировать процесс проведения процедуры и обеспечить более точное планирование вмешательств.

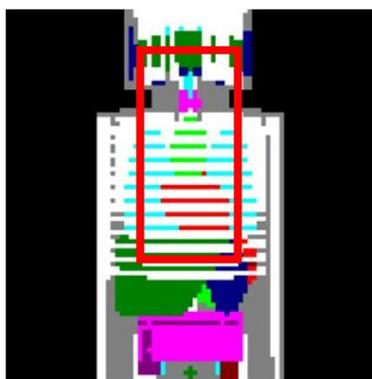


Рисунок 8 – Поле
облучения № 1 для
баллонной пластики
пищевода

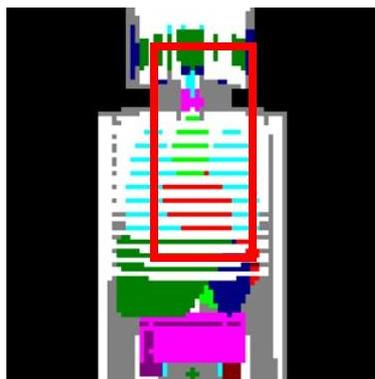


Рисунок 9 – Поле
облучения № 2 для
баллонной пластики
пищевода

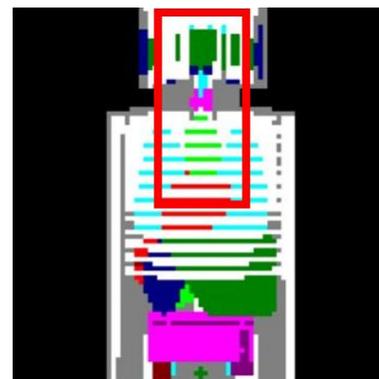


Рисунок 10 – Поле
облучения № 3 для
баллонной пластики
пищевода

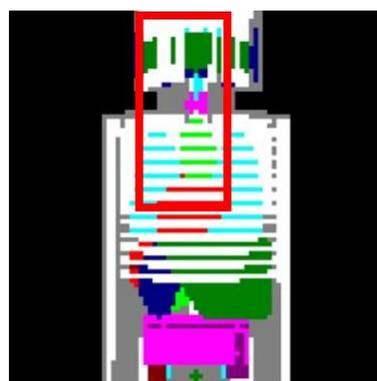


Рисунок 11 – Поле
облучения № 4 для
баллонной пластики
пищевода

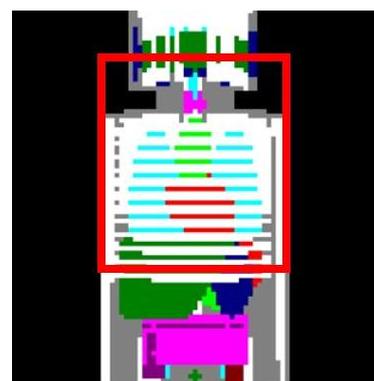


Рисунок 12 – Поле
облучения № 5 для
баллонной пластики
пищевода

Параметры баллонной пластики пищевода и величины ПДП для объединенной выборки пациентов приведены в Таблице 6. Все данные подразделяются в соответствии с полем облучения, выбранным для моделирования.

Таблица 6 – Физико-технические параметры проведения баллонной пластики пищевода

Параметр исследования	Поле 1	Поле 2	Поле 3	Поле 4	Поле 5	Все исследование
Напряжение на трубке, кВ	78±2 (77-80)	77±1 (75-77)	77±1 (75-77)	77±0 (77-77)	77±1 (75-80)	77±1 (75-77)
Размер поля, см×см	30×30	20×20/ 30×30	20×20/ 30×30	30×30	20×20/ 30×30	20×20/ 30×30
Размер поля при моделировании в РСХМС 2.0, см×см	8×20	10×20	10×20	8×20	20×20	11,2×20
Расстояние источник-приемник, см	115±3,1 (109-118)	115±2,5 (113-118)	116±2,3 (113-118)	115±2,3 (113-118)	115±3,8 (108-119)	115±3,4 (108-119)
Общее время рентгеноскопии, с	129±54 (61-202)	71±32 (41-116)	127±44 (74-187)	69±71 (23-151)	181±243 (3-847)	350±207 (134-847)
ПДП за просвечивание (непрерывное облучение), сГр·см ²	14,7±14,8 (0-43)	4,4±7,6 (0-23)	8,8±11,2 (0-26)	2,7±6,2 (0-21)	45,3±68,7 (1-251)	75,3±61,3 (26-252)
ПДП за рентгеновские снимки, сГр·см ²	-	-	-	-	33,8±102,0 (0-357)	36,1±102,0 (0-357)

Продолжение Таблицы 6

Параметр исследования	Поле 1	Поле 2	Поле 3	Поле 4	Поле 5	Все исследование
Накопленная доза в коже, мГр	_*	_*	_*	_*	_*	8,5±4,7 (2-18)

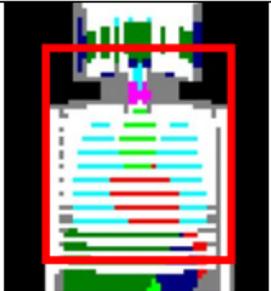
Примечание – * – доза не определялась

Использование специализированного ПО РСХМС 2.0 позволило смоделировать все анатомические области, подвергнутые облучению в процессе исследования, а также определить общие показатели ЭД в ходе всей процедуры. Эти вычисления основаны на учете геометрических параметров облучения пациента и физических характеристик рентгеновского пучка. 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 строения организма пациентов. Это свидетельствует о том, что использование средней ЭД в проведении данного исследования является недопустимым.

С учетом собранных данных была разработана упрощенная модель для более точной оценки уровня радиационного облучения, которому подвержены дети в возрасте от 1 до 2 лет во время баллонной пластики пищевода. Эта модель представляет собой одно поле облучения. Для определения верхней границы облучения применяется среднее положение верхней челюсти, что позволяет минимизировать влияние неравномерного распределения дозы на различные области каждого педиатрического пациента. Нижняя граница облучения, определяемая верхним краем печени и центральной частью желудка, обеспечивает адаптацию модели к вариациям в анатомии, присущим детям этого возраста, тогда

как боковые границы представлены боковыми поверхностями грудной клетки (Таблица 7).

Таблица 7 – 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	3-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 моделями, 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 ЭД при данном интервенционном исследовании. Таким образом, медицинские учреждения могут воспользоваться этой моделью для определения оптимального уровня облучения при проведении баллонной пластики пищевода у детей 1–2 лет, не подвергая опасности их здоровье и безопасность. Наличие как детализированной, так и упрощенной модели дает возможность персонализированного подхода к оценке радиационной нагрузки, что является важным в практике медицинских организаций.

Примененные КП от значения ПДП к ЭД позволяют лучше понять потенциальные риски, связанные с радиационным облучением, при выполнении процедуры баллонной пластики пищевода у детей 1–2 лет. Полученное в ходе исследования значение $(10,7 \pm 1,15)$ мкЗв/сГр·см² для многопольной модели

облучения указывает на более высокую степень воздействия по сравнению с упрощенной моделью, где этот коэффициент составляет $(8,27 \pm 1,82)$ мкЗв/сГр·см².

Оценка риска радиационного воздействия требует тщательного анализа множества факторов. Одним из основных аспектов является вычисление поглощенных доз в органах и тканях, которые наиболее чувствительны к радиации. Кроме того, пол и возраст пациента являются критическим элементом для данного процесса. При выполнении баллонной пластики пищевода большинство интервенционных исследований относилось к категории низкого радиационного риска или очень низкого радиационного риска ($1,07 \cdot 10^{-4} - 4,32 \cdot 10^{-5}$).

4.2 Интервенционные вмешательства на периферических сосудах

К данной группе интервенционных исследований были отнесены следующие вмешательства: рентгенэндоваскулярная окклюзия тестикулярных вен, постановка центральных венозных катетеров, флебография конечностей.

Рентгенэндоваскулярная окклюзия тестикулярных вен являлась самым распространенным вмешательством на периферических сосудах, выполненным на отделении за исследуемый период. По итогам анализа записей в журналах проведения интервенционных исследований были определены средние значения и разброс ПДП, накопленной дозы в коже и ЭД для детей разных возрастных категорий, которым выполнялся данный вид вмешательства (Таблица 8).

Таблица 8 – Значения основных дозовых величин при проведении рентгенэндоваскулярной окклюзии тестикулярных вен. Данные представлены в формате среднее значение (минимум-максимум)

Возрастная группа	Произведение дозы на площадь, мГр·см ²	Накопленная доза в коже, мГр	Эффективная доза, мЗв
10	20076 (7140-63344)	77 (26-190)	6 (2-18)
15	34217 (180-457157)	172 (20-4789)	10 (1-219)

Сбор данных с прямой регистрацией непосредственно во время проведения интервенционных исследований был проведен для 75 пациентов, которым

выполнялись вмешательства на периферических сосудах. Из них 21 пациент были отнесены к детям возрастной категории «15 лет», которым выполняли рентгенэндоваскулярную окклюзию тестикулярных вен.

В связи с отсутствием стандартных методик проведения выбранного исследования были разработаны модели проведения исследований, учитывающие последовательность и геометрию облучения различных анатомических областей пациентов [15, 16, 111]. Структура рентгенэндоваскулярной окклюзии тестикулярных вен для детей возрастной категории «15 лет» включает четыре поля облучения в задне-передней проекции. Каждый этап процедуры включает в себя набор дискретных полей облучения, которые тщательно подбираются и настраиваются в соответствии с расположением конкретных органов и тканей. Эти поля облучения формируются с учетом индивидуальных анатомических особенностей пациента, что позволяет максимально точно воздействовать на целевые области, минимизируя при этом нежелательное облучение окружающих структур. В соответствии с этими полями облучения в программном обеспечении РСХМС 2.0 были созданы модели облучения (Таблица 9).

Таблица 9 – Поля облучения для рентгенэндоваскулярной окклюзии тестикулярных вен для детей возрастной категории «15 лет»

Поле	Проекция	Размер поля	Координаты центра поля			Орган
			X	Y	Z	
Поле 1	З-П	35x30	0,3	9	26,5	Левая/правая яичковая вена
Поле 2	З-П	35x30	0,3	9	23	Левая/правая яичковая вена
Поле 3	З-П	35x30	0,3	9	13	Левая/правая яичковая вена

Продолжение Таблицы 9

Поле	Проекция	Размер поля	Координаты центра поля			Орган
			X	Y	Z	
Поле 4	З-П	35x30	0,3	9	6	Левая/правая яичковая вена

Ориентирами для первого поля облучения являются: верхняя граница поля облучения – верхний край печени; нижняя граница – тонкий кишечник; боковые границы – границы брюшной полости; при этом в поле видимости находится яичковая вена. Второе поле облучения смещено на 3-4 см вниз относительно пациента по сравнению с полем облучения 1, верхняя граница – середина печени. Третье поле облучения смещено вниз относительно пациента по сравнению с полем облучения 2, верхняя граница – поперечная ободочная кишка, нижняя граница – мочевого пузыря, боковые границы – границы брюшной полости и малого таза. Четвертое поле облучения смещено на 3-4 см вниз относительно пациента по сравнению с полем облучения 3, в поле зрения – органы малого таза.

На Рисунках 13-16 показаны анатомические области и их границы для каждого из четырех полей излучения, смоделированные в программном обеспечении РСХМС 2.0.

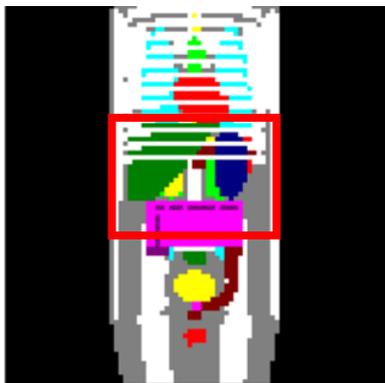


Рисунок 13 – Поле облучения №1 для окклюзии тестикулярных вен

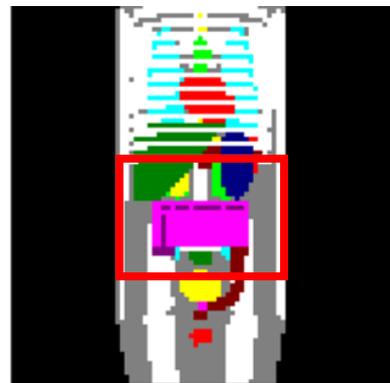


Рисунок 14 – Поле облучения №2 для окклюзии тестикулярных вен

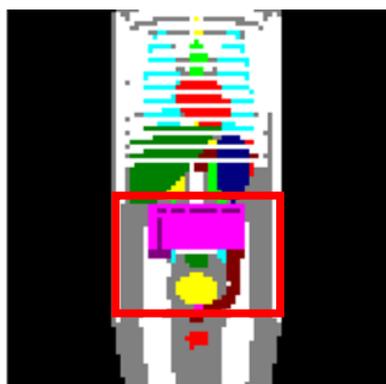


Рисунок 15 – Поле облучения №3
для окклюзии тестикулярных вен

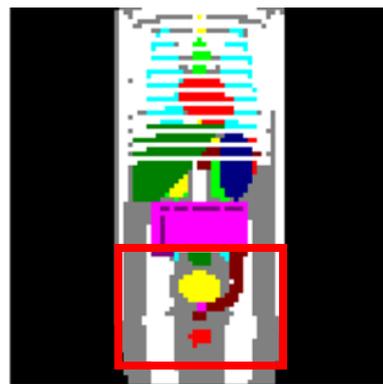


Рисунок 16 – Поле облучения №4
для окклюзии тестикулярных вен

Сведения о параметрах проведения рентгенэндоваскулярной окклюзии тестикулярных вен для детей возрастной категории «15 лет» и значения ПДП для объединенной выборки пациентов представлены в Таблице 10 с разделением по выбранным для моделирования полям излучения.

Таблица 10 – Физико-технические параметры проведения рентгенэндоваскулярной окклюзии тестикулярных вен

Параметр исследования	Поле 1	Поле 2	Поле 3	Поле 4	Все исследование
Напряжение на трубке, кВ	79±6,7 (64-85)	82±3 (72-84)	79±6 (65-85)	80±6 (65-85)	80±5 (68-85)
Размер поля, см×см	30x30	30x30	30x30	30x30	30x30
Размер поля при моделировании в РСХМС 2.0, см×см	30x25	35x25	35x30	30x30	35x30
Расстояние источник-приемник, см	110±2 (107-113)	111±4 (107-119)	112±3 (108-119)	113±3 (107-119)	112±3 (107-119)

Продолжение Таблицы 10

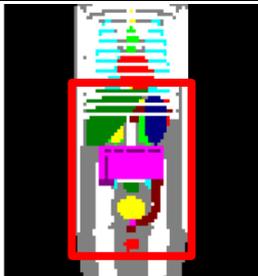
Параметр исследования	Поле 1	Поле 2	Поле 3	Поле 4	Все исследование
Общее время рентгеноскопии, с	117±133 (7-415)	480±485 (45-1917)	385±142 (186-600)	444±246 (82-924)	1227±792 (412-4157)
ПДП за просвечивание (непрерывное облучение), сГр·см ²	471±803 (61-2371)	1078±1027 (78-3652)	1211±773 (264-2740)	2154±2417 (244-8419)	3785±2718 (510-10619)
ПДП за рентгеновские снимки, сГр·см ²	158±241 (0-585)	394±281 (0-1228)	163±320 (0-1079)	106±225 (0-699)	562±398 (0-1517)
Накопленная доза в коже, мГр	36,9±71,2 (3-208)	62,8±48,6 (4-178)	52,8±33,4 (12-113)	86,3±90,8 (11-376)	178±107 (40-489)

С помощью специализированного программного обеспечения РСХМС 2.0 были определены ЭД для каждой анатомической области, облучаемой в процессе выполнения исследования, а также суммарные значения ЭД за все исследование на основе ПДП с учетом геометрии облучения пациента и физико-технических характеристик пучка рентгеновского излучения. С использованием весовых коэффициентов органов и тканей из 60 публикации МКРЗ значения ЭД составили $10,3 \pm 5,8$ мЗв за процедуру. При этом, ЭД у детей выбранной возрастной категории за все исследование находились в довольно широком диапазоне - от 2,9 до 26,5 мЗв, что свидетельствует о неприемлемости использования средней ЭД при выполнении данного вида вмешательства. Подобные различия в суммарных значениях ЭД могут быть связаны со сложностью проведения процедуры, спецификой и

тяжестью заболевания, а также с анатомическими особенностями отдельных пациентов.

Полученные результаты послужили основой для разработки упрощенной расчетной модели облучения, применяемой при рентгенэндоваскулярной окклюзии тестикулярных вен для детей возрастной категории «15 лет», которая включает в себя одно поле облучения. В данной модели поле облучения ограничено верхним краем печени сверху, органами малого таза снизу, а по бокам — боковыми границами брюшной полости и малого таза; в поле видимости левая/правая яичковая вена (Таблица 11).

Таблица 11 – 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/ правая яичковая вена	

В рамках упрощенной модели для проведения баллонной пластики пищевода были вычислены эффективные дозы. Результаты показали диапазон значений от 1,9 до 17,7 мЗв, среднее значение составило $7,7 \pm 4,1$ мЗв. Рассматривая значения доз, рассчитанных по упрощенной модели, в сравнении с дозами, определенными при использовании нескольких полей облучения, можно отметить определенные различия. Относительные изменения доз составили от -19% до 35%. Эти колебания подтверждают, что разница между двумя методами моделирования незначительна. Это позволяет использовать менее сложный подход без существенной потери точности в оценке доз облучения, что особенно важно в условиях ограниченных ресурсов и времени. Преимуществом упрощенной модели является ее более

быстрая реализация и удобство в практическом применении, что снижает затраты времени и ресурсов. Упрощенная модель требует меньше вычислительных мощностей и подготовительных этапов, что ускоряет процесс планирования и выполнения процедур. Это особенно ценно в условиях медицинских учреждений, где скорость и эффективность принятия решений играют ключевую роль в обеспечении качественного лечения и обслуживания пациентов. Использование обеих моделей предоставляет возможность для более точного и персонализированного подхода к оценке доз облучения.

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·см², для упрощенной однопольной модели $1,9 \pm 0,4$ мкЗв/сГр·см².

На основании рассчитанных поглощенных доз в радиочувствительных органах и тканях, а также пола и возраста пациента в момент облучения были оценены радиационные риски. 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.

ГЛАВА 5 ОБОСНОВАНИЕ СИСТЕМЫ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ ДЕТЕЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИНТЕРВЕНЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В рамках данного исследования был проведен детальный анализ ключевых аспектов принципа оптимизации. В частности, рассматривались факторы, касающиеся оценки уровней радиационного облучения пациентов и поддержания установленного качества интервенционных исследований в качестве основного показателя. В настоящей главе рассматриваются компоненты оптимизации, которые предлагают систему мероприятий, ориентированных на улучшение радиационной защиты детей при проведении интервенционных вмешательств.

По результатам проведенного исследования была разработана и усовершенствована система организационных мероприятий по проведению регистрации, контроля и учета доз облучения пациентов при проведении интервенционных исследований (Рисунок 17).

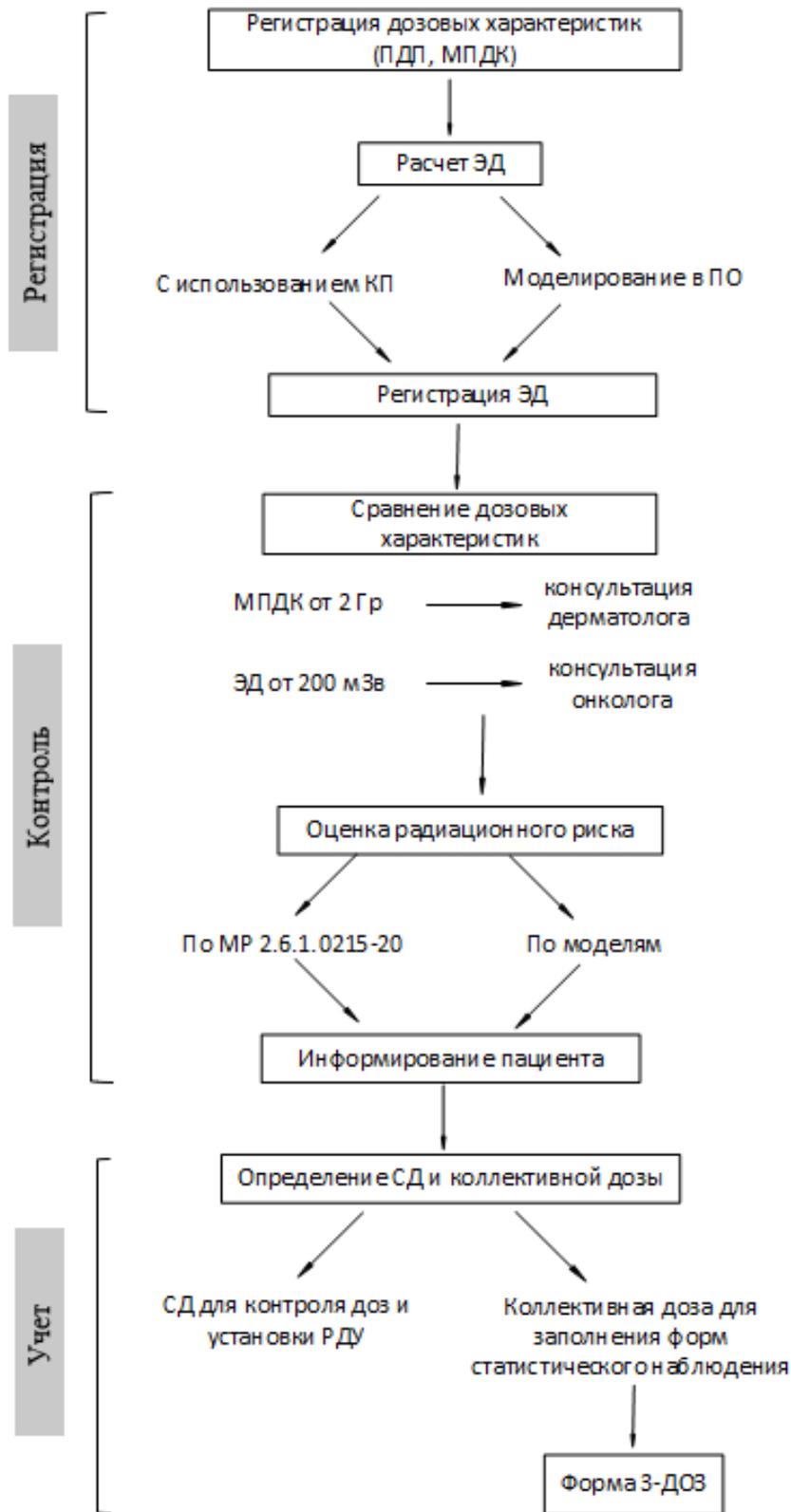


Рисунок 17 – Система организационных мероприятий по проведению регистрации, контроля и учета доз облучения пациентов при проведении интервенционных исследований

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.

Все измеренные дозовые характеристики должны измеряться и фиксироваться для каждого пациента, а также храниться в соответствии со сроками хранения медицинской документации. Данная информация должна храниться в виде дозового отчета за исследование и заноситься в журнал проведения интервенционных исследований для возможности ретроспективной оценки уровней облучения пациентов.

Централизованное хранение данных позволяет быстро и оперативно определять дозы облучения пациентов, выявлять случаи аномально высоких или низких доз, а также при необходимости позволяет оперативно построить модели облучения для расчета ЭД. В рамках данной работы установлено, что проведение ручного сбора данных является трудоемким процессом, который требует непрерывного присутствия во время интервенционного исследования человека, ответственного за оценку уровней облучения. Кроме этого, данный способ требует большого количества времени и не исключает ошибок, связанных с человеческим фактором. Наличие дозовых отчетов позволяет избежать данных недостатков и позволяет автоматизировать процесс оценки эффективных и органных доз.

При отсутствии в рентгеновском аппарате функций формирования или хранения дозовых отчетов необходимо организовать исследования для определения и оценки уровней облучения, которые действуют на пациентов в ходе самых распространенных интервенционных вмешательств. Данный процесс детально описан в 3-й главе данной работы.

Расчетные дозовые величины (ЭД) используются для оценки дозы облучения отдельных пациентов. Данная величина рассчитывается 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). Способ является информативным, точным и легко воспроизводимым. Благодаря данному способу обеспечиваются более достоверные значения ЭД для пациентов всех возрастов и для широкого диапазона процедур лучевой диагностики с изменяемой геометрией облучения. При использовании моделирования есть возможность детально описывать процесс облучения (многополюсная модель) или использовать упрощенную модель, состоящую из одного поля облучения (однополюсная модель).

Для решения повседневных задач для подавляющего большинства пациентов возможно достоверно оценивать дозы с использованием однополюсных моделей облучения. Как показывают результаты, описанные в 4-ой главе данной работы, достоверные различия между ЭД, полученными с использованием разных подходов, отсутствуют.

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. Это позволит учесть специфику облучения конкретного пациента и более точно оценить радиационный риск.

В соответствии с законодательством РФ, ЭД оцениваются и регистрируются для каждого пациента отдельно после каждого проведения интервенционного вмешательства, регистрация и оценка радиационного риска осуществляются по суммарной ЭД. Кроме этого, не рекомендуется использование типичных ЭД для индивидуальных пациентов, так как это не позволяет достоверно оценивать уровни облучения, что способствует неверной оценке возможных радиационных последствий на организм.

Контроль доз облучения детей сводится к сравнению дозовых характеристик с установленными индикаторными показателями и последующей оценке радиационного риска. К индивидуальным индикаторным показателям относятся ПДП, максимальная поглощенная доза в коже и ЭД за все исследование.

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, даже если максимальная поглощенная доза в коже за все исследование не превысила индивидуальных индикаторных показателей.

В том случае, если максимальная поглощенная доза в коже за исследование составила менее 2 Гр, нет необходимости предпринимать какие-либо действия, за исключением случаев индивидуальной чувствительности, которые могут проявляться в виде покраснения или эритемы участка кожи, подвергшегося облучению.

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 повреждения кожи проявляются во время пребывания пациента в стационаре, необходима консультация врача-дерматовенеролога для принятия оперативных мероприятий по их устранению, в иных случаях – необходимо внести соответствующие рекомендации в выписной эпикриз.

Аналогичный подход необходимо использовать в отношении ЭД. 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. Совместная работа с онкологами в этом контексте способствует более глубокому пониманию рисков и последствий для здоровья пациента.

Оценка радиационного риска является немаловажной частью контроля доз облучения детей. Расчет производится с учетом пола и возраста пациента. 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 сГр·см², радиационный риск рассчитывается с использованием

действующих методик. Для информирования пациентов можно использовать категории радиационного риска.

Если ПДП за интервенционное исследование составило более 100 000 сГр·см², 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. В этом случае радиационный риск будет оцениваться индивидуально.

Согласно Федеральному закону от 09.01.96 № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения», ОСПОРБ-99/2010 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности», МР 2.6.1.0215-20 «Оценка радиационного риска у пациентов при проведении РРИ», если лечащий врач назначает интервенционное вмешательство, в его обязанности входит информирование пациентов и их законных представителей об уровне получаемой дозы облучения и о возможных побочных эффектах.

Информация о радиационном риске должна быть задокументирована в истории болезни пациента. При выявлении высокого уровня радиационного риска (выше умеренного) требуется консультация онколога, который оценит не только лучевую нагрузку на организм, но и возможные негативные последствия для здоровья пациента.

Помимо сравнения индивидуальных доз, необходим анализ выборки пациентов, поскольку дозы индивидуальных пациентов могут варьировать. В этом заключается учет доз 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. Определение стандартных доз должно быть системным и непрерывным для оперативного принятия корректирующих мер при необходимости. Стандартные дозы определяются на отделении ежегодно для

каждого аппарата, на котором выполняются интервенционные исследования, для самых распространенных видов вмешательств.

Реализация представленной системы организационных мероприятий при проведении интервенционных исследований на практике позволит решить целый ряд задач в области радиационной безопасности пациентов:

- проведение достоверной оценки уровней облучения детей;
- выявление пациентов с аномально высокими дозами облучения, которым может потребоваться оказание дополнительной медицинской помощи (консультация дерматолога, онколога);
- непрерывная регистрация доз позволит выявлять случаи избыточного/недостаточного облучения пациентов;
- выявление негативных эффектов от интервенционного исследования для своевременного проведения оптимизационных мероприятий;
- использование статистического анализа и обобщение информации для оценки уровней облучения детей и предоставление этой информации в соответствующие формы государственной статистической отчетности;
- оптимизация распределения трудовых обязанностей среди медицинского персонала по вопросам обеспечения радиационной безопасности приведет к снижению загруженности персонала и повышению достоверности собираемых данных.

Реализация данной системы мероприятий рекомендована к внедрению в клинику СПбГПМУ, а также в медицинские организации всех уровней, где проводят интервенционные исследования детям.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенного исследования были обобщены современные подходы к радиационной защите детей при проведении интервенционных исследований, что имеет особое значение в свете увеличения использования ионизирующего излучения в медицинской практике [3, 4, 8, 11, 12, 38].

Анализ международного опыта демонстрирует чрезвычайно широкий разброс значений дозовых нагрузок при различных типах интервенционных исследований у детей [61, 66, 103, 142, 151, 95]. Так, при кардиологических вмешательствах эффективные дозы могут варьировать от 0,74 до 16,5 мЗв для диагностических процедур [61, 66, 95] и достигать 48,4 мЗв для лечебных вмешательств [95]. В нейрохирургической практике зафиксированы эффективные дозы до 10,4 мЗв [103, 142] с произведением дозы на площадь (ПДП) в диапазоне от 3,8 до 76,1 Гр·см² [103, 142]. Особое внимание специалистов направлено на данные о поглощенных дозах в кожных покровах, которые в отдельных случаях приближаются к пороговым значениям для развития детерминированных эффектов (до 1774 мГр при кардиологических вмешательствах [105, 106] и 644 мГр при нейрохирургических процедурах [142]). При этом в отечественной литературе аналогичная информация представлена крайне фрагментарно [49] и не систематизирована, что создает серьезные препятствия для адекватной оценки радиационных рисков и разработки эффективных защитных мер [17, 18].

Результаты собственного 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 сГр·см², а также интервенционные вмешательства на органах желудочно-кишечного тракта и трахеобронхиального дерева (28,5%) с уровнем облучения от 1 до 73814 сГр·см².

Наиболее высокодозовыми исследованиями являются интервенционные вмешательства на сердце и магистральных сосудах грудной клетки (9,2%) с

уровнем облучения от 24 до 37936 сГр·см², а также интервенционные вмешательства на области головы и шеи (6,3%) с уровнем облучения от 10 до 317101 сГр·см².

Самые высокие средние значения ПДП наблюдались в процессе интервенционных исследований на области головы и шеи. При выполнении данных исследований с лечебной целью с увеличением возраста детей увеличиваются и средние значения ПДП – минимальные значения наблюдаются для возрастной категории «0 лет», максимальные – для детей из группы «15 лет». Интервенционные вмешательства на области головы и шеи, выполнявшиеся с диагностической целью, были направлены только на 3 конкретные группы детей – «5 лет», «10 лет» и «15 лет».

Интервенционные вмешательства на сердце и магистральных сосудах грудной клетки также ассоциированы с высокими средними значениями ПДП за исследование. Данный вид интервенционных исследований для достижения как диагностических, так и лечебных целей, выполнялся детям трех категорий возрастов – «0 лет», «1 год» и «5 лет». В результате исследований минимальные значения ПДП были отмечены у группы «0 лет», тогда как максимальные наблюдались у возрастной категории «5 лет».

Следует отметить, что выполнение ряда интервенционных исследований были ассоциированы с высокими значениями ПДП: для 343 исследований ПДП составило более 10 000 сГр·см², для 36 – более 50 000 сГр·см² и для 9 исследований – более 100 000 сГр·см². 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 [12-16, 38, 42, 81].

Таким образом, полученные в результате данной работы значения уровней облучения детей при проведении интервенционных исследований превышают значения дозовых нагрузок, представленных в литературе. В частности значения ПДП и поглощенной дозы в коже при проведении интервенционных вмешательств

на области головы и шеи. В работах Orbach с соавторами [103] и Schneider с соавторами [142] значения ПДП составляют от 3,8 до 76,1 Гр·см², в то время как в данной работе этот диапазон составил от 0,1 до 3171 сГр·см². Аналогичная картина наблюдается для поглощенной дозы в коже – в некоторых случаях поглощенная доза в коже, полученная в ходе проведения данной работы, выше более чем в три раза по сравнению с другими авторами [103, 142].

Следует отметить, анализ уровней облучения детей при проведении интервенционных исследований имеет ограниченную сравнимость с данными из литературных источников. Это связано с тем, что в литературных источниках представлены разные типы интервенционных процедур, что существенно влияет на уровни облучения детей. Кроме того, возрастные категории детей в данной работе отличаются от тех, что рассматриваются в ряде публикаций, что затрудняет прямое сопоставление результатов. Более того, используемые единицы измерения уровней облучения также варьируются между источниками, что усложняет проведение полноценного и однородного анализа.

Система радиационной защиты детей при проведении интервенционных исследований базируется на трех фундаментальных принципах: обосновании [28, 40], оптимизации [6, 54] и нормировании [27, 39]. Принцип обоснования предполагает, что любое исследование с использованием ионизирующего излучения должно проводиться только в тех случаях, когда диагностическая или терапевтическая польза существенно превышает потенциальный вред [28, 40]. На практике это требует тщательного анализа клинической ситуации, рассмотрения альтернативных методов диагностики, не связанных с радиационным воздействием [40], и проведения индивидуальной оценки риска и пользы для каждого конкретного пациента. Принцип оптимизации направлен на достижение минимально возможных доз облучения при сохранении необходимого уровня диагностической информации [6, 54]. Для реализации этого принципа применяются различные технические приемы [54, 119, 135], включая точную коллимацию рентгеновского луча, использование импульсной рентгеноскопии вместо непрерывной и адаптацию параметров проведения исследования к массе

тела и возрасту пациента. Важным инструментом оптимизации выступают референтные диагностические уровни [9, 44, 74], которые устанавливают ориентировочные значения доз для типовых процедур и позволяют контролировать лучевую нагрузку.

Однако реализация этих принципов в условиях российского здравоохранения сталкивается с существенными организационными и методическими трудностями [17, 18, 27]. Действующая нормативная база в области радиационной защиты пациентов, включая такие ключевые документы как НРБ-99/2009 [27] и ОСПОРБ-99/2010 [39], недостаточно учитывает специфику педиатрических исследований. В методических рекомендациях отсутствуют детальные указания по проведению интервенционных вмешательств у детей [17, 18], а предлагаемые коэффициенты перехода для расчета эффективных доз разработаны преимущественно для взрослых пациентов и не всегда адекватно отражают особенности детского организма. Серьезной проблемой является отсутствие единой системы мониторинга доз облучения детей при медицинских процедурах [30], что не позволяет проводить комплексный анализ радиационных рисков и разрабатывать научно обоснованные меры защиты.

Текущая система мероприятий по проведению регистрации, контроля и учета доз облучения пациентов регламентируется СанПиН 2.6.1.1192-03 «Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований», а также СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)».

К сожалению, актуальная система мероприятий имеет ряд недостатков. На этапе регистрации (фиксации измеренных или рассчитанных дозовых характеристик) для всех видов РРИ обязательным является регистрация только ЭД пациентов. При этом, в действующих нормативных документах крайне расплывчато представлены требования к исходным данным для расчета ЭД. Отсутствие необходимости регистрировать исходные данные для расчета доз приводит к невозможности верифицировать ЭД, а также своевременно выявлять

случаи переоблучения пациентов и возможные проявления детерминированных эффектов.

В существующей системе оптимизации контроль доз (то есть процесс сравнения результатов регистрации доз облучения пациентов со средними, референтными или другими установленными индикаторными показателями) не производится, из-за ограниченного набора индивидуальных показателей для выявления вероятности проявления стохастических эффектов. Разработанные критерии выявления возможного развития детерминированных эффектов определены для ограниченного числа интервенционных исследований для взрослого населения и не учитывают радиочувствительность детей.

Учет доз облучения пациентов (процесс статистической, аналитической или иной обработки результатов регистрации доз облучения пациентов) осуществляется посредством заполнения форм статистической отчетности (форма № 3-ДОЗ, радиационно-гигиенический паспорт медицинской организации). Заполнение данных форм применительно к интервенционным исследованиям осложняется устаревшей классификацией интервенционных исследований. Это приводит к объединению ряда исследований в одну группу и усреднению доз пациентов, которые могут существенно отличаться для разных интервенционных исследований, входящих в одну группу. Данные недостатки приводят к низкой достоверности данных форм государственной статистической отчетности.

Контроль и учет индивидуальных ЭД как для пациентов, так и для медицинского персонала являются ключевыми аспектами радиационной безопасности при применении медицинского оборудования для лучевой диагностики. Эти меры помогают предотвратить потенциальные риски, связанные с ионизирующим излучением, и обеспечивают защиту здоровья всех участников процесса. В этом контексте важную роль играет ЕСКИД – Единая государственная система контроля и учета доз облучения населения России. В рамках ЕСКИД происходит систематизация и учет доз облучения, полученных пациентами в результате РРИ. Каждая доза вносится в персональный лист учета доз медицинского облучения. Помимо этого, по завершении отчетного года каждая

медицинская организация составляет статистический отчет по данным дозиметрии по форме № 3-ДОЗ. В форму статистического наблюдения № 3-ДОЗ вносят данные о количестве проведенных исследований и коллективные дозы, полученные пациентами. Однако несмотря на то, что на сегодняшний день форма № 3-ДОЗ является единственным достоверным источником информации о дозах облучения пациентов, ее недостатки, такие как отсутствие информации о возрастном и гендерном составе обследуемых лиц, создают определенные сложности в анализе данных. Эти пробелы значительно ограничивают возможность более глубокого изучения и оценки рисков, связанных с медицинским облучением, а также не позволяют полноценно прогнозировать возможные отдаленные последствия для различных групп населения [27, 28, 39, 30].

Разработанная система мероприятий по оптимизации радиационной защиты детей требует комплексного подхода к регистрации и контролю ключевых дозиметрических параметров [1, 2]. Основное внимание уделяется обязательной фиксации значений произведения дозы на площадь, используемого для последующего расчета эффективной дозы и оценки радиационных рисков, а также максимальной поглощенной дозы в коже, что позволяет своевременно выявлять потенциальные детерминированные эффекты. Все полученные дозиметрические показатели в обязательном порядке заносятся в индивидуальные медицинские карты пациентов и сохраняются в течение установленного срока хранения медицинской документации. Эти данные систематизируются в виде специальных дозовых отчетов и дублируются в журнале учета интервенционных процедур, создавая базу для последующего анализа уровней облучения.

Это обеспечивает доступ к данным, позволяя не только оперативно определять фактические дозовые нагрузки на пациентов, но и своевременно выявлять случаи аномальных (чрезмерно высоких или неоправданно низких) доз, а при необходимости – моделировать процессы облучения для более точного расчета ЭД. Практический опыт показывает, что ручной сбор дозиметрических данных представляет собой крайне трудоемкий процесс, требующий постоянного присутствия ответственного специалиста на протяжении всей процедуры. Такой

подход не только существенно увеличивает временные затраты, но и неизбежно сопровождается ошибками, связанными с человеческим фактором. Автоматизированная система дозовых отчетов полностью устраняет эти недостатки.

Для расчета эффективных доз в клинической практике предлагается два основных метода. Первый метод основан на использовании специальных коэффициентов перехода от измеренных дозовых величин к эффективной дозе. КП для ряда интервенционных исследований представлены в действующих нормативно-методических документах Роспотребнадзора. В настоящей работе были разработаны и научно обоснованы КП, которые отсутствуют в действующих документах. Данные значения предложены для внедрения при последующем пересмотре нормативно-методических документов Роспотребнадзора. Ограничением использования КП является тот факт, что они разработаны для определенных видов интервенционных исследований, проводимых по условно типовой/стандартной схеме и для пациентов конкретных возрастных групп. Это необходимо учитывать при использовании данного способа расчета ЭД.

Альтернативным и более точным подходом является разработанный модельный способ (патент №042819), который позволяет определять ЭД для пациентов всех возрастных категорий и различных видов интервенционных исследований. Данный способ предусматривает два варианта моделирования: детализированную многопольную модель, применяемую для сложных клинических случаев, и упрощенную однопольную модель, оптимальную для рутинной практики. Результаты сравнительных исследований, представленные в четвертой главе работы, убедительно демонстрируют сопоставимую точность обоих подходов в стандартных ситуациях. Многопольное моделирование рекомендуется применять при существенных отклонениях от стандартных протоколов процедур или когда значения ПДП превышают $500000 \text{ сГр}\cdot\text{см}^2$, что требует более детального учета особенностей облучения конкретного пациента.

Действующее законодательство РФ (включая Федеральный закон №3 от 09.01.96 "О радиационной безопасности населения", ОСПОРБ-99/2010 и МР

2.6.1.0215-20) устанавливает четкие требования к организации контроля дозовых нагрузок. В соответствии с этими нормативными документами обязательными являются индивидуальный расчет и регистрация ЭД после каждого проведенного вмешательства, оценка кумулятивных доз при повторных исследованиях, а также категорический запрет на использование усредненных типовых значений ЭД, которые не позволяют достоверно оценить реальную лучевую нагрузку на конкретного пациента.

В соответствии с приказом Минздрава РФ от 31.07.2000 N 298 «Об утверждении Положения о единой государственной системе контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан» контроль и первичный учет индивидуальных доз облучения граждан (пациентов) при проведении медицинских рентгенорадиологических процедур организует администрация учреждений здравоохранения.

В соответствии с обобщенными трудовыми функциями, представленными в профессиональных стандартах, обязанности по проведению регистрации, контроля и учета доз облучения пациентов при проведении интервенционных исследований возлагаются на врача по рентгенэндоваскулярным диагностике и лечению и рентгенолаборанта. В обязанности персонала отделения по рентгенэндоваскулярным диагностике и лечению входит обеспечение радиационной безопасности и осуществление регистрации доз, получаемых пациентами в ходе проведения интервенционного исследования. Контроль и учет доз пациентов возлагается на врача по рентгенэндоваскулярным диагностике и лечению.

В соответствии с действующими нормативно-методическими документами (СанПиН 2.6.1.1192-03) регистрацию измеренных дозовых характеристик и расчет на их основе ЭД пациентов должен проводить врач-рентгенолог. В соответствии с профессиональным стандартом «Рентгенолаборант» расчет и регистрация в протоколе исследования дозы рентгеновского излучения, полученной пациентом, является трудовой функцией рентгенолаборанта. В связи с тем, что процесс регистрации дозовых характеристики и расчет ЭД являются времязатратным

процессом и требуют специальной подготовки у медицинского персонала, целесообразно осуществлять данный процесс с применением встроенных функций оборудования для интервенционных исследований или с использованием специализированного программного обеспечения.

При выполнении интервенционных исследований на цифровом оборудовании, соответствующем стандарту DICOM, все параметры проведения исследования, необходимые для оценки дозы облучения пациента, в том числе и измеренные дозиметрические характеристики, автоматически регистрируются и сохраняются в самом изображении или в отдельных дозовых отчетах.

Несмотря на все возможности современного программного обеспечения работа с информацией из файлов цифровых изображений является ничуть не менее трудоемкой по сравнению с ручной регистрацией дозовых характеристик. К тому же автоматический расчет ЭД в данном формате не предусмотрен (а именно ЭД следует определять для каждого пациента в соответствии с действующими нормативно-методическими документами).

Для упрощения работы с массивами данных о дозах облучения пациентов, а также для автоматизированного определения органных и ЭД пациентов используют специальное программное обеспечение – системы отслеживания уровней облучения пациентов. Такое программное обеспечение разработано различными производителями рентгеновской техники. К сожалению, полноценные отечественные аналоги подобных информационных систем отсутствуют на текущий момент.

Важным компонентом предложенной системы является регулярный анализ групповых дозовых показателей, который включает определение стандартных доз для типовых процедур. Полученные данные используются для заполнения формы государственной статистической отчетности №3-ДОЗ, выявления случаев избыточного облучения и разработки мероприятий по оптимизации радиационной защиты. Стандартные дозы пересматриваются ежегодно, что позволяет поддерживать систему контроля на современном уровне и оперативно вносить необходимые коррективы.

Разработанный алгоритм реагирования на случаи превышения дозовых нагрузок включает дифференцированный подход в зависимости от вида и степени превышения. При оценке кожных реакций выделяются два основных сценария: при максимальной поглощенной дозе менее 2 Гр специальные меры не требуются (за исключением случаев индивидуальной чувствительности), тогда как при достижении или превышении этого порогового значения обязательно информирование пациента или его законных представителей о потенциальных последствиях с последующей консультацией дерматолога. Аналогичный принцип применяется и к эффективным дозам: при превышении уровня 200 мЗв пациент направляется к онкологу для разработки индивидуальной программы наблюдения, направленной на раннее выявление возможных отдаленных последствий.

Оценка радиационных рисков проводится с обязательным учетом таких факторов как пол и возраст пациента, а также величины ПДП. При значениях ПДП менее $100000 \text{ сГр} \cdot \text{см}^2$ расчет риска осуществляется по стандартным методикам, тогда как при более высоких значениях требуется индивидуальная оценка на основе точного определения органных доз с использованием современных модельных подходов.

Внедрение такой системы мероприятий по оптимизации радиационной защиты детей обеспечивает оптимальное сочетание индивидуального мониторинга с групповым анализом дозовых характеристик, полностью соответствующее современным требованиям радиационной безопасности в медицинской практике. Такой подход позволяет не только соблюдать нормативные требования, но и создает научно обоснованную базу для дальнейшего совершенствования методов радиационной защиты пациентов при интервенционных исследованиях.

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 сГр·см², а также интервенционные вмешательства на органах желудочно-кишечного тракта и трахеобронхиального дерева (28,5%) с уровнем облучения от 1 до 73814 сГр·см². Наиболее высокодозовыми исследованиями являются интервенционные вмешательства на сердце и магистральных сосудах грудной клетки (9,2%) с уровнем облучения от 24 до 37936 сГр·см², а также интервенционные вмешательства на области головы и шеи (6,3%) с уровнем облучения от 10 до 317101 сГр·см². Выполнение ряда интервенционных исследований были ассоциированы с высокими значениями ПДП (более 50000 сГр·см²) 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 тескулярных 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 рентгенорадиологических 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 СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АВМ – артериовенозная мальформация

ЕСКИД - единая система контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан

ЖКТ - желудочно-кишечный тракт

Зв – зиверт

КП – коэффициент перехода

МАГАТЭ - Международное агентство по атомной энергии

мЗв - миллизиверт

МКРЗ – международная комиссия по радиационной защите

МРТ - магнитно-резонансная томография

ПДП – произведение дозы на площадь

РДУ – референтный диагностический уровень

РРИ – рентгенорадиологическое исследование

УЗИ - ультразвуковое исследование

ЭД – эффективная доза

DICOM (англ. Digital Imaging and Communications in Medicine) – стандарт для обмена медицинскими изображениями и сопутствующей информацией стандарт обработки, хранения, передачи, печати и визуализации медицинских изображений

PACS (англ. Picture Archiving and Communication System) – система передачи и архивации DICOM-изображений

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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. Балонов, М. И. Научные основы радиационной защиты в современной медицине. Том 1. Лучевая диагностика / М. И. Балонов, В. Ю. Голиков, А. В. Водоватов; под редакцией М. И. Балонova. – Спб.: НИИРГ им. П. В. Рамзаева, 2019. – 320 с.
5. Болезнь Крона: Клинические рекомендации: [утверждены Министерством здравоохранения РФ в 2021г.]. – 2021. – URL: <https://bazanpa.ru/minzdrav-rossii-klinicheskie-rekomendatsii-ot01012021-h5327684/> (дата обращения 23.01.2023)
6. Вишнякова, Н. М. Концепция оптимизации радиационной защиты пациентов при медицинском диагностическом облучении / Н. М. Вишнякова // АНРИ. – 2010. – № 4. – С. 7-12.
7. Вишнякова, Н. М. Оптимизация радиационной защиты пациентов при медицинском диагностическом облучении: специальность 14.02.01 «Гигиена»: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора

- медицинских наук / Вишнякова Надежда Михайловна; Санкт-Петербургская государственная медицинская академия им. И.И. Мечникова. – Санкт-Петербург, 2010. – 44 с.
8. Водоватов, А. В. Оценка эффективных доз пациентов при проведении рентгенологических исследований с изменяемой геометрией облучения / А. В. Водоватов, Ю. Н. Капырина, А. В. Балабышев // Радиационная гигиена: итоги и перспективы: сборник трудов очно-заочной Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – СПб., 2022. – С. 31-34.
 9. Водоватов, А. В. Практическая реализация концепции референтных диагностических уровней для оптимизации защиты пациентов при проведении стандартных рентгенографических исследований / А. В. Водоватов // Радиационная гигиена. – 2017. – Т. 10, № 1. – С. 47-55.
 10. Гигиенические требования по ограничению доз облучения детей при рентгенологических исследованиях: Методические рекомендации (утв. Роспотребнадзором 27.04.2007 № 0100/4443-07-34) / Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; ФГУН СПб НИИРГ им. проф. П. В. Рамзаева. – М., 2007. – 30 с.
 11. Дозы облучения населения Российской Федерации в 2020 г. / А. Н. Барковский, Р. Р. Ахматдинов, Р. Р. Ахматдинов [и др.] // Радиационная гигиена. – 2021. – Т. 14, №. 4. – С. 103-113.
 12. Капырина, Ю. Н. Оценка эффективных доз детей при проведении интервенционных исследований / Ю. Н. Капырина, А. В. Водоватов, В. Г. Пузырев // Радиационная гигиена и непрерывное профессиональное образование: новые вызовы и пути развития: сборник тезисов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – М., 2022. – С. 45-48.
 13. Капырина, Ю. Н. Оценка эффективных доз детей при проведении интервенционных вмешательств в многопрофильной клинике СПбГПМУ / Ю.

- Н. Капырина, М. И. Комиссаров, И. Ю. Алешин, А. В. Водоватов, В. Г. Пузырев // FORCIPE. – 2022. – Т. 5, № 2. – С. 244-246.
14. Капырина, Ю. Н. Оценка эффективных доз для некоторых интервенционных исследований у детей / Ю. Н. Капырина, А. В. Водоватов, Н. Н. Потрахов, В. Г. Пузырев, М. И. Комиссаров [и др.] // VIII Всероссийская научно-практическая конференция производителей рентгеновской техники. – Санкт-Петербург, 2021. – С. 58-62.
 15. Капырина, Ю. Н. Оценка эффективных доз облучения детей при выполнении рентгенэндоваскулярной окклюзии тесукулярных вен / И. Ю. Алешин, А. В. Водоватов, Ю. Н. Капырина, М. И. Комиссаров, В. Г. Пузырев // Лучевая диагностика и терапия. – Санкт-Петербург, 2022. – С. 166-167.
 16. Капырина, Ю. Н. Оценка эффективных доз облучения детей при выполнении рентгенэндоваскулярной окклюзии тесукулярных вен / И. Ю. Алешин, А. В. Водоватов, Ю. Н. Капырина, М. И. Комиссаров, В. Г. Пузырев // Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Актуальные вопросы радиационной гигиены». – Санкт-Петербург, 2023. – С. 157-160.
 17. Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований: методические указания - МУ 2.6.1.2944-11. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011. – 38 с.
 18. Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований: методические указания - МУ 2.6.1.3584-19. Изменения в МУ 2.6.1.2944-11. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2019. – 17 с.
 19. Методы контроля в КТ-диагностике для оптимизации радиационной защиты: методические указания МУК – 2.6.7.3652-20. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2020. – 34 с.

20. Методы контроля в ПЭТ-диагностике для оптимизации радиационной защиты: методические указания – МУК 2.6.7.3651-20. – М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2020. – 34 с.
21. Морозов, С. П. Информативность методов лучевой диагностики при различных патологических состояниях организма. Раздел 2. Диагностика патологических состояний и заболеваний желудочно-кишечного тракта: методические рекомендации / С. П. Морозов, Н. Н. Ветшева, Н. В. Нуднов; под ред. С. П. Морозова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ГБУЗ Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий департамента здравоохранения города Москвы, 2020. – 32 с.
22. Морозов, С. П. Информативность методов лучевой диагностики при различных патологических состояниях организма. Раздел 3. Диагностика патологических состояний и заболеваний опорно-двигательного аппарата: методические рекомендации / С. П. Морозов, Д. С. Бурмистров, С. В. Епифанова; под ред. С. П. Морозова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ГБУЗ Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий департамента здравоохранения города Москвы, 2020. – 44 с.
23. Морозов, С. П. Информативность методов лучевой диагностики при различных патологических состояниях организма. Раздел 4. Диагностика патологических состояний и заболеваний центральной нервной системы: методические рекомендации / С. П. Морозов, Д. С. Бурмистров, Е. И. Кремнева; под ред. С. П. Морозова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ГБУЗ Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий департамента здравоохранения города Москвы, 2020. – 28 с.
24. Морозов, С. П. Информативность методов лучевой диагностики при различных патологических состояниях организма. Раздел 6. Лучевая диагностика заболеваний сердечно-сосудистой системы: методические рекомендации / С. П. Морозов, Д. С. Бурмистров, А. Н. Шапиева; под ред. С. П. Морозова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ГБУЗ Научно-практический

- клинический центр диагностики и телемедицинских технологий департамента здравоохранения города Москвы, 2020. – 40 с.
25. Морозов, С. П. Информативность методов лучевой диагностики при различных патологических состояниях организма. Раздел 8. Лучевая диагностика травм, заболеваний и других патологических состояний у детей / С. П. Морозов, Д. С. Бурмистров, А. Н. Шапиева; под редакцией С. П. Морозова. – М.: ГБУЗ Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий департамента здравоохранения города Москвы, 2018. – 29 с.
 26. Морозов, С. П. Информативность методов лучевой диагностики при различных патологических состояниях организма. Раздел 9. Диагностика патологических состояний мочеполовой системы: методические рекомендации / С. П. Морозов, И. А. Трофименко, А. Н. Шапиев; под ред. С. П. Морозова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ГБУЗ Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий департамента здравоохранения города Москвы, 2020. – 36 с.
 27. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): СанПиН 2.6.1.2523-09: [утв. и введены в действие 7 июля 2009 г.]. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 100 с.
 28. О радиационной безопасности населения: Федеральный закон от 9.01.1996 № 3-ФЗ (с изменениями и дополнениями) // Информационно-правовой портал ГАРАНТ.РУ: официальный сайт. – URL: <https://base.garant.ru/10108778/> (дата обращения 01.06.2023).
 29. Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации: Федеральный закон от 21.11.2011 № 323-ФЗ (с изменениями и дополнениями) // Информационно-правовой портал ГАРАНТ.РУ: официальный сайт. – URL: <https://base.garant.ru/12191967/> (дата обращения 01.06.2023).
 30. Об утверждении Положения о единой государственной системе контроля и учета индивидуальных доз облучения граждан: приказ Министерства здравоохранения РФ от 31.07.2000 № 298 // Информационно-правовой портал

- ГАРАНТ.РУ: официальный сайт. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901766853/> (дата обращения 03.07.2023).
31. Об утверждении Правил проведения рентгенологических исследований: приказ Министерства здравоохранения РФ от 09.06.2020 № 560н (с изменениями и дополнениями) // Информационно-правовой портал ГАРАНТ.РУ: официальный сайт. – URL: <https://base.garant.ru/74632238/> (дата обращения 03.04.2022).
32. Об утверждении стандарта медицинской помощи детям при мочекаменной болезни (диагностика, лечение и диспансерное наблюдение): приказ Министерства здравоохранения РФ от 14.04.2022 № 255н // Информационно-правовой портал ГАРАНТ.РУ: официальный сайт. – URL: <https://base.garant.ru/404730683/> (дата обращения 19.09.2022).
33. Об утверждении стандарта специализированной медицинской помощи детям при острых респираторных заболеваниях тяжелой степени тяжести: приказ Министерства здравоохранения РФ от 24.12.2012 № 1450н (с изменениями и дополнениями) // Информационно-правовой портал ГАРАНТ.РУ: официальный сайт. – URL: <https://base.garant.ru/70321036/> (дата обращения 03.10.2021).
34. Об утверждении стандарта специализированной медицинской помощи детям при юношеском артрите с системным началом: приказ Министерства здравоохранения РФ от 08.10.2023 № 522н // Информационно-правовой портал ГАРАНТ.РУ: официальный сайт. – URL: <https://base.garant.ru/407936125/> (дата обращения 03.10.2021).
35. Об утверждении стандарта специализированной медицинской помощи при травме позвоночника, спинного мозга и нервов спинного мозга: приказ Министерства здравоохранения РФ от 20.12.2012 № 639н // Информационно-правовой портал ГАРАНТ.РУ: официальный сайт. – URL: <https://base.garant.ru/70314826/> (дата обращения 03.10.2021).
36. Об утверждении статистического инструментария для организации Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и

- благополучия человека федерального статистического наблюдения за санитарным состоянием территорий, профессиональными заболеваниями (отравлениями), дозами облучения: приказ Министерства здравоохранения РФ от 16.10.2013 № 411 (с изменениями и дополнениями) // Информационно-правовой портал ГАРАНТ.РУ: официальный сайт. – URL: <https://base.garant.ru/70478608/> (дата обращения 03.10.2021).
37. Об утверждении формы федерального статистического наблюдения с указаниями по ее заполнению для организации Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека федерального статистического наблюдения за санитарным состоянием субъекта Российской Федерации: приказ Федеральной службы государственной статистики РФ от 30.12.2020 № 867 (с изменениями и дополнениями) // Информационно-правовой портал ГАРАНТ.РУ: официальный сайт. – URL: <https://base.garant.ru/400184540/> (дата обращения 03.10.2021).
38. 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.
39. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010): Санитарные правила 2.6.1.2612-10. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2002. – 22 с
40. Острая неопухолевая кишечная непроходимость: Клинические рекомендации утверждены Министерством здравоохранения РФ в 2024 г. // Информационно-правовой портал ГАРАНТ.РУ: официальный сайт. – URL: <https://base.garant.ru/411065636/> (дата обращения 03.10.2021).
41. Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований: методические рекомендации МР 2.6.1.0215-20. – М.: ЦЕНТРМАГ, 2024. – 32 с.

42. 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.
43. Пневмония (внебольничная): Клинические рекомендации утверждены Министерством здравоохранения РФ в 2022 г. // Общероссийская общественная организация «Союз педиатров России»: официальный сайт. – URL: https://www.pediatr-russia.ru/information/klin-rek/proekty-klinicheskikh-rekomendatsiy/Клинические%20рекомендации_Пневмония_1.06.2021.pdf (дата обращения 03.10.2021).
44. Применение референтных диагностических уровней для оптимизации радиационной защиты пациента в рентгенологических исследованиях общего назначения: методические рекомендации МР 2.6.1.0066-12. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2012. – 20 с.
45. Радиационная защита в медицине. Пер с англ. / под редакцией М. И. Балонova. – СПб.: НИИРГ им. проф. П. В. Рамзаева, 2011. – 66 с.
46. Радиационная защита детей в лучевой диагностике: методические указания МУ 2.6.1.3387-16. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2016. – 32 с.
47. Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности. Общие требования безопасности. Нормы безопасности МАГАТЭ. – Часть 3. – Вена, 2015.
48. Рекомендации Международной Комиссии по Радиационной защите от 2007г. Пер. с англ. / под общ. ред. М. Ф. Киселева, Н. К. Шандалы. – М.: Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009. – 312 с.
49. Сарычева, С. С. Оценка эффективной дозы у детей в интервенционной кардиологии / С. С. Сарычева // Радиационная гигиена. – 2017. – Т. 10, № 2. – С. 16-22.
50. Современные принципы обеспечения радиационной безопасности при использовании источников ионизирующего излучения в медицине. Часть 2. Радиационные риски и совершенствование системы радиационной защиты / Г.

- Г. Онищенко, А. Ю. Попова, И. К. Романович [и др.] // Радиационная гигиена. – 2019. – Т. 12, № 2. – С. 6-24.
51. Тетрада Фалло: клинические рекомендации утверждены Министерством здравоохранения РФ в 2024 г. // Информационно-правовой портал ГАРАНТ.РУ: официальный сайт. – URL: <https://base.garant.ru/410715478/> (дата обращения 03.10.2021).
52. Эффективные дозы детей при проведении рентгенодиагностических исследований: литературный обзор / П. С. Дружинина, Ю. Н. Капырина, М. В. Осипов, Т. Г. Шацкий // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2023. – Т. 68, № 6. – С. 27-41.
53. A framework for organ dose estimation in x-ray angiography and interventional radiology based on dose-related data in DICOM structured reports / A. Omar, R. Bujila, A. Fransson [et al.] // Physics in Medicine & Biology. – 2016. – Vol. 61, № 8. – P. 3063.
54. Achievable radiation reduction during pediatric cardiac catheterization: how low can we go? / S. Borik, S. Devadas, D. Mroczek [et al.] // Catheterization and Cardiovascular Interventions. – 2015. – Vol. 86, № 5. – P. 841-848.
55. ACR Appropriateness Criteria Ovarian Cancer Screening / Expert Panel on Women's Imaging // J. American college of radiology. – 2017. – Vol. 14, № 11S. – P. 490-499.
56. An image-based skeletal tissue model for the ICRP reference newborn / D. Pafundi, C. Lee, C. Watchman [et al.] // Physics in Medicine & Biology. – 2009. – Vol. 54. – P. 4497-4531.
57. Assessment of PCXMC for patients with different body size in chest and abdominal x ray examinations: a Monte Carlo simulation study / D. Borrego, E. M. Lowe, C. M. Kitahara, C. Lee // Physics in Medicine & Biology. – 2018. – Vol. 63, № 6. – P. 065015.
58. Avoidance of Radiation Injuries from Medical Interventional Procedure // International Commission on Radiological Protection. – 2001. – Publ. 85.

59. Basic Anatomical and Physiological Data for Use in Radiological Protection Reference Values // International Commission on Radiological Protection. – 2002. – Publ. 89.
60. Billings, M. P. The Computerized Anatomical Man CAM Model / M. P. Billings, W. R. Yucker. – Washington, DC: Government Printing Office, 1973.
61. Calculating organ and effective doses in paediatric interventional cardiac radiology based on DICOM structured reports - Is detailed examination data critical to dose estimates? / A. Karambatsakidou, A. Omar, A. Fransson, G. Poludniowski // *Physica Medica*. – 2019. – Vol. 57. – P. 17-24.
62. The calculation of dose from external photon exposures using reference human phantoms and Monte Carlo methods: Part I. The male (ADAM) and female (EVA) adult mathematical phantoms / R. Kramer, M. Zanki, G. Williams [et al.] // *Physics in Medicine and Biology*. – 1982. – Vol. 31, № 4. – P. 449-452.
63. Caon, M. Monte Carlo calculated effective dose to teenage girls from computed tomography examinations / M. Caon, G. Bibbo, J. Pattison // *Radiation Protection Dosimetry*. – 2000. – Vol. 90. – P. 445-448.
64. Diagnostic Imaging Referral Guidelines // Canadian association of radiologists: website. – URL: <https://www.cmajopen.ca/content/11/2/E248> (accessed: 23.02.2023).
65. Construction of a high-definition 'Reference Korean' voxel phantom from organ and tissue radiation dose calculation / S. H. Choi, C.-S. Lee, S. K. Cho [et al.] // *World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering*. – 2006. – P. 4204-4207.
66. Contemporary Australian dose area product levels in the fluoroscopic investigation of paediatric congenital heart disease / T. Jones, P. C. Brennan, C. Mello-Thoms, E. Ryan // *Radiation protection dosimetry*. – 2017. – Vol. 173, № 4. – P. 374-379.
67. Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation // International Commission on Radiological Protection: website. – URL: <https://icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20116> (accessed: 25.02.2021).

68. Conversion factors of effective and equivalent organ doses with the air kerma area product in patients undergoing coronary angiography and percutaneous coronary interventions / M. Brambilla, B. Cannillo, R. Matheoud [et al.] // *Physica Medica*. – 2017. – Vol. 42. – P. 189-196.
69. Cristy, M. Mathematical phantoms representing children of various ages for use in estimates of internal dose / M. Cristy. – Oak: Ridg Oak Ridge National laboratory, 1980.
70. Cristy, M. Specific Absorbed Fractions of Energy at Various Ages from Internal Photon Sources. 1. Methods / M. Cristy, K. F. Eckerman. – Oak Ridg: Oak Ridge National laboratory. TM-8381, 1987. – 89 p.
71. Cumulative exposure to medical radiation for children requiring surgery for congenital heart disease / A. C. Glatz, K. S. Purrington, A. Klinger [et al.] // *The Journal of pediatrics*. – 2014. – Vol. 164, № 4. – P. 789-794.
72. Cumulative Radiation Dose from Medical Imaging in Children with Congenital Heart Disease: A Systematic Review / E. Shelly, M. G. Waldron, E. Field [et al.] // *Children*. – 2023. – Vol. 10, № 4. – P. 645.
73. Development of 5- and 10-year-old pediatric phantoms based on polygon mesh surfaces / V. J. de Melo Lima, V. F. Cassola, R. Kramer [et al.] // *Medical Physics*. – 2011. – Vol. 38. – P. 4723.
74. Diagnostic reference levels, deterministic and stochastic risks in pediatric interventional cardiology procedures / C. Rizk, G. Fares, F. Vanhavere [et al.] // *Health Physics*. – 2020. – Vol. 118, № 1. – P. 85-95.
75. Diagnostic reference levels in medical imaging // International Commission on Radiological Protection: website. – URL: <https://icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20135> (accessed: 25.02.2021).
76. Diagnostic reference levels in medical imaging: review and additional advice / Committee 3 of the ICRP // International Commission on Radiological Protection. – 2001. – Vol. 31, № 4. – P. 33-52.

77. Dimbylow, P. SAR calculations from 20 MHz to 6 GHz in the University of Florida newborn voxel phantom and their implications for dosimetry / P. Dimbylow, W. Bolch, C. Lee // *Physics in Medicine & Biology*. – 2010. – Vol. 55. – P. 1519-1530.
78. Dosimetry in Diagnostic Radiology for Paediatric Patients // International atomic energy agency: website. – URL: <https://icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20135> (accessed: 11.04.2020).
79. ESR iGuide clinical decision support using European imaging referral guidelines // European Society of Radiology: website. – URL: <https://www.myesr.org/esriguide/> (accessed: 11.05.2021).
80. Establishing the European diagnostic reference levels for interventional cardiology / T. Siiskonen, O. Ciraj-Bjelac, J. Dabin [et al.] // *Physica Medica*. – 2018. – Vol. 54. – P. 42-48.
81. Estimation of effective doses for pediatric nonvascular gastrointestinal, biliary and tracheobronchial x-ray interventional examinations / I. J. Aleshin, Y. N. Kapyrina, M. I. Komissarov [et al.] // *AIP Conference Proceedings (8th international conference on x-ray, electrovacuum and biomedical technique)*. – 2023. – Vol. 2726. – № 1. – P. 020009.
82. Estimation of radiation dose and risk to children undergoing cardiac catheterization for the treatment of a congenital heart disease using Monte Carlo simulations / E. Yakoumakis, H. Kostopoulou, T. Makri [et al.] // *Pediatric radiology*. – 2013. – Vol. 43. – P. 339-346.
83. European Guidelines on Diagnostic Reference Levels for Paediatric Imaging / H. Bosmans, J. Damilakis, H. Ducou le Pointe [et al.]. – Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2018. – 122 p.
84. Evaluation of right and left ventricular volume and ejection fraction using a mathematical cardiac torso phantom / P. H. Pretorius, W. Xia, M. A. King [et al.] // *Journal of nuclear medicine official publication Society of Nuclear Medicine*. – 1997. – Vol. 38. – P. 1528-1535.

85. Fisher, D. R. Appropriate use of effective dose in radiation protection and risk assessment / D. R. Fisher, F. H. Fahey // *Health physics*. – 2017. – Vol. 113, № 2. – P. 102-109.
86. Fluoroscopically guided interventional procedures: a review of radiation effects on patients' skin and hair / S. Balter, J. W. Hopewell, D. L. Miller [et al.] // *Radiology*. – 2010. – Vol. 254, № 2. – P. 326-341.
87. Functionality and operation of fluoroscopic automatic brightness control/automatic dose rate control logic in modern cardiovascular and interventional angiography systems: a report of Task Group 125 Radiography / P. Rauch, P.-J. P. Lin, S. Balter [et al.] // *Medical physics*. – 2012. – Vol. 39, № 5. – P. 2826-2828.
88. *Fundamentals of pediatric imaging* / ed. by Lane F. Donnelly. – Philadelphia PA, 2017. – 296 p.
89. Hart, D. Fourth review of the UK national patient dose database / D. Hart, P. C. Shrimpton // *The British journal of radiology*. – 2012. – Vol. 85, № 1018. – P. e957-e958.
90. Hart, D. National reference doses for common radiographic, fluoroscopic and dental X-ray examinations in the UK / D. Hart, M. C. Hillier, B. F. Wall // *The British journal of radiology*. – 2009. – Vol. 82, № 973. – P. 1-12.
91. Investigation of the variability in the assessment of digital chest X-ray image quality / J. S. Whaley, B. D. Pressman, J. R. Wilson [et al.] // *Journal of digital imaging*. – 2013. – Vol. 26. – P. 217-226.
92. Justification of diagnostic medical exposures: some practical issues: Report of an International Atomic Energy Agency Consultation / J. Malone, R. Guleria, C. Craven [et al.] // *The British journal of radiology*. – 2012. – Vol. 85, № 1013. – P. 523-538.
93. Keiller, D. A. Radiation dose to the heart in paediatric interventional cardiology / D. A. Keiller, C. J. Martin // *Journal of Radiological Protection*. – 2015. – Vol. 35, № 2. – P. 257.

94. Local DRLs and automated risk estimation in paediatric interventional cardiology / D. Buytaert, K. Vandekerckhove, J. Panzer [et al.] // PLoS One. – 2019. – Vol. 14, № 7. – P. 0220359.
95. Local reference levels and organ doses from pediatric cardiac interventional procedures / S. Barnaoui, J. L. Baysson, Y. Boudjemline [et. al.] // Pediatric cardiology. – 2014. – Vol. 35. – P. 1037-1045.
96. Mahesh, M. NCRP 168: its significance to fluoroscopically guided interventional procedures // Journal of the American College of Radiology. – 2013. – Vol. 10, № 7. – P. 551-552.
97. Martin, C. J. Management of patient dose in radiology in the UK / C. J. Martin // Radiation Protect Dosimetry. – 2011. – Vol. 147, № 3. – P. 355-372.
98. Martin, C. J. Practical radiation protection in healthcare / C. J. Martin, D. G. Sutton. – Oxford: Oxford University Press, 2015. – 56 p.
99. Measurement of maximum skin dose in interventional radiology and cardiology and challenges in the set-up of European alert thresholds / J. Farah, A. Trianni, E. Carinou [et al.] // Radiation protection dosimetry. – 2015. – Vol. 164, № 1-2. – P. 138-142.
100. Meyer, S. Diagnostic reference levels in low- and middle-income countries: Early «aLARAM» bells? / S. Meyer, W. A. Groenewald, R. D. Pitcher // Acta radiologica. – 2017. – Vol. 58, № 4. – P. 442-448.
101. Miller, D. L. Reducing radiation, revising reference levels / D. L. Miller, E. Vano, M. M. Rehani // Journal of the American College of Radiology. – 2015. – Vol. 12, № 3. – P. 214-216.
102. National Research Council et al. Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation: BEIR VII phase 2. – Washington: The national academies press, 2006.
103. Neurointerventions in children: radiation exposure and its import / D. B. Orbach, C. Stamoulis, K. J. Strauss [et al.] // American Journal of Neuroradiology. – 2014. – Vol. 35, № 4. – P. 650-656.
104. Occupational radiation protection in interventional radiology: a joint guideline of the Cardiovascular and Interventional Radiology Society of Europe and the Society

- of Interventional Radiology / D. L. Miller, E. Vano, G. Bartal [et al.] // Cardiovascular and interventional radiology. – 2010. – Vol. 33. – P. 230-239.
105. Organ and effective doses detriment to paediatric patients undergoing multiple interventional cardiology procedures / C. Ubeda, E. Vano, P. Miranda, X. Figueroa // Physica Medica. – 2019. – Vol. 60. – P. 182-187.
106. Organ and effective doses from paediatric interventional cardiology procedures in Chile / C. Ubeda, P. Miranda, E. Vano [et al.] // Physica Medica. – 2017. – Vol. 40. – P. 95-103.
107. Organ doses and radiation risk of computed tomographic coronary angiography in a clinical patient population: how do low-dose acquisition modes compare? / L. Eloit, D. Devos, S. van Meerbeeck [et al.] // Journal of Computer Assisted Tomography. – 2015. – Vol. 39, № 4. – P. 591-597.
108. Paediatric Computational Reference Phantoms // International Commission on Radiological Protection: website. – URL: <https://icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20143> (accessed: 25.02.2021).
109. Paediatric interventional cardiology in Costa Rica: diagnostic reference levels and estimation of population dose / C. Ubeda, E. Vano, L. Salazar [et al.] // Journal of Radiological Protection. – 2018. – Vol. 38, № 1. – P. 218.
110. Particular requirements for the basic safety and essential performance of X-ray equipment for interventional procedures // International Electrotechnical Commission: website. – URL: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/15496/3ce37a1092c04347a1970f820d2ef1e9/IEC-60601-2-43-2010.pdf> (accessed: 25.02.2021).
111. Patient doses from pediatric interventional examinations: a hospital-based study / I. J. Aleshin, Y. N. Kapyrina, M. I. Komissarov [et al.] // Medical Physics in the Baltic States. Proceedings of the 16 th International Conference on Medical Physics. – Kaunas, 2023. – P. 22-27.
112. Patient doses in paediatric interventional cardiology: impact of 3D rotational angiography / E. Corredoira, E. Vano, C. Ubeda, F. Gutierrez-Larraya // Journal of Radiological Protection. – 2015. – Vol. 35, № 1. – P. 179-195.

113. Patient dosimetry for x rays used in medical imaging // Journal of the ICRU: website. – URL: <https://www.icru.org/report/patient-dosimetry-for-x-rays-used-in-medical-imaging-report-74/> (accessed: 18.04.2022).
114. Patient radiation doses and reference levels in pediatric interventional radiology / B. Habib Geryes, A. Bak, J. Lachaux [et al.] // European radiology. – 2017. – Vol. 27. – P. 3983-3990.
115. Patient radiation doses in paediatric interventional cardiology procedures: a review / R. W. Harbron, S. Dreuil, M.-O. Bernier [et al.] // Journal of Radiological Protection. – 2016. – Vol. 36, № 4. – P. R131.
116. Patient radiation exposure in a modern, large-volume, pediatric cardiac catheterization laboratory / A. C. Glatz, A. Patel, X. Zhu [et al.] // Pediatric cardiology. – 2014. – Vol. 35. – P. 870-878.
117. Pediatric CT Protocols and Instructions // IMAGE GENTLY: website. – URL: www.imagegently.org/Procedures/Interventional-Radiology/10Protocols (accessed: 18.11.2020).
118. Perez, M. del. Referral criteria and clinical decision support: radiological protection aspects for justification / M. Perez // International Commission on Radiological Protection. – 2015. – Vol. 44, № 1 – P. 276-287.
119. Practical techniques for reducing radiation exposure during cerebral angiography procedures / M. S. Pearl, C. Torok, J. Wang [et al.] // Journal of neurointerventional surgery. – 2015. – Vol. 7, № 2. – P. 141-145.
120. Practice parameters by radiology subspecialties: Interventional radiology // American college of radiology: website. – URL: <https://www.acr.org/> (accessed: 18.11.2020).
121. RADAR reference adult, pediatric and pregnant female phantom series for internal and external dosimetry / M. G. Stabin, X. G. Xu, M. A. Emmons [et al.] // Journal of Nuclear Medicine. – 2012. – Vol. 53, № 11. – P. 1807-1813.
122. Radiation dose and image quality for paediatric interventional cardiology / E. Vano, C. Ubeda, F. Leyton, P. Miranda // Physics in Medicine & Biology. – 2008. – Vol. 53, № 15. – P. 4049.

123. Radiation dose reduction during neurointerventional procedures by modification of default settings on biplane angiography equipment / E. N. Kahn, J. J. Gemmete, N. Chaudhary [et al.] // Journal of NeuroInterventional Surgery. – 2016. – Vol. 8, № 8. – P. 819-823.
124. Radiation dose reduction in neuroendovascular procedures / M. R. Levit, J. W. Osbun, B. V. Ghodke, L. J. Kim // World neurosurgery. – 2013. – Vol. 80, № 6. – P. 681-682.
125. Radiation doses from fluoroscopically guided cardiac catheterization procedures in children and young adults in the United Kingdom: a multicentre study / R. W. Harbron, M. S. Pearce, J. A. Salotti [et al.] // The British journal of radiology. – 2015. – Vol. 88, № 1048. – P. 0852.
126. Radiation exposure in pediatric interventional procedures / A. Ploussi, E. Broutzos, S. Rammos [et al.] // Cardiovascular and Interventional Radiology. – 2021. – Vol. 44, № 6. – P. 857-865.
127. Radiation Protection and Safety in Medical Uses of Ionizing Radiation // International Atomic Energy Agency. Safety standards series: website. – URL: <https://www.iaea.org/publications/11102/radiation-protection-and-safety-in-medical-uses-of-ionizing-radiation> (accessed: 18.11.2020).
128. Radiation Protection Guidance for Diagnostic and Interventional X-Ray Procedures / United States Environmental Protection Agency. – Washington, 2014.
129. Radiological Protection in Cardiology // International Commission on Radiological Protection: website. – URL: <https://icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20120> (accessed: 15.04.2021).
130. Radiological Protection in Fluoroscopically Guided Procedures Outside the Imaging Department // International Commission on Radiological Protection: website. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22732420/> (accessed: 11.03.2020).
131. Radiological Protection in Medicine // International Commission on Radiological Protection: website. – URL: <https://icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20105> (accessed: 11.03.2020).

132. Radiological protection in paediatric diagnostic and interventional radiology / International Commission on Radiological Protection: website. – URL: <https://icrp.org/publication.asp?id=icrp%20publication%20121> (accessed: 11.03.2020).
133. Radiation protection in paediatric radiology IAEA Safety Report No 71. –Vienna: IAEA, 2013. – 111 p.
134. Radiation safety in children with congenital and acquired heart disease: a scientific position statement on multimodality dose optimization from the image gently alliance / K. D. Hill, D. P. Frush, B. K. Han [et al.] // JACC: Cardiovascular Imaging. – 2017. – Vol. 10, № 7. – P. 797-818.
135. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection // International Commission on Radiological Protection: website. – URL: <https://icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20103> (accessed: 11.03.2020).
136. Reduction in radiation dose in a pediatric cardiac catheterization lab using the Philips AlluraClarity X-ray system / P. M. Sullivan, D. Harrison, S. Bardan [et al.] // Pediatric Cardiology. – 2017. – Vol. 38. – P. 1583-1591.
137. Regularized Fully 5D Reconstruction of Cardiac Gated Dynamic SPECT Images / X. Niu, Y. Yang, M. Jin [et al.] // IEEE Transactions on Nuclear Science. – 2010. – Vol. 57. – P. 1085-1095.
138. Referral Guidelines for Medical Imaging: Availability and Use in the European Union. Radiation protection No 178. – Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2014. – 50 p.
139. Rehani, M. M. Dose surveys and DRLs: critical look and way forward / M. M. Rehani // Radiation protection dosimetry. – 2015. – Vol. 165, № 1-4. – P. 67-69.
140. Rehani, M. M. Limitations of diagnostic reference level (DRL) and introduction of acceptable quality dose (AQD) / M. M. Rehani // The British journal of radiology. – 2015. – Vol. 88, № 1045. – P. 20140344.
141. Remedios, D. Justification: how to get referring physicians involved / D. Remedios // Radiation protection dosimetry. - 2011. – Vol. 147, № 1-2. – P. 47-51.

142. Schneider, T. Analysis of radiation doses incurred during diagnostic cerebral angiography after the implementation of dose reduction strategies / T. Schneider, E. Wyse, M. S. Pearl // *Journal of NeuroInterventional Surgery*. – 2017. – Vol. 9, № 4. – P. 384-388.
143. Simon, S. L. NCRP Program Area Committee 6: Radiation Measurements and Dosimetry / S. L. Simon, G. H. Zeman // *Health physics*. – 2016. – Vol. 110, № 2. – P. 113-115.
144. Song, S. Radiation dose and mortality risk to children undergoing therapeutic interventional cardiology / S. Song, C. Liu, M. Zhang // *Acta Radiologica*. – 2015. – Vol. 56, № 7. – P. 867-872.
145. Statement on Tissue Reactions and Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs: Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context // International Commission on Radiological Protection: website. – URL: <https://icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20118> (accessed: 11.03.2020).
146. Substantial radiation reduction in pediatric and adult congenital heart disease interventions with a novel X-ray imaging technology / N. A. Haas, C. M. Happel, M. Mauti [et al.] // *IJC Heart & Vasculature*. – 2015. – Vol. 6. – P. 101-109.
147. Summary of the European Directive 2013/59/Euratom: essentials for health professionals in radiology / European Society of Radiology (ESR) // *Insights imaging*. – 2015. – Vol. 6. – P. 411-417.
148. Tapiovaara, M. T. PCXMC. A Monte Carlo program for calculating patient doses in medical x-ray examinations / M. Tapiovaara, T. Siiskonen. – Helsinki: Finnish Centre for Radiation and Nuclear Safety, 2008 – 49 p.
149. Towards the definition of Institutional diagnostic reference levels in paediatric interventional cardiology procedures in Greece / S. Kottou, N. Kollaros, C. Plemmenos [et al.] // *Physica Medica*. – 2018. – Vol. 46. – P. 52-58.
150. Triedman, J. K. Trends in congenital heart disease: the next decade / J. K. Triedman, J. W. Newburger // *Circulation*. – 2016. – Vol. 133, № 25. – P. 2716-2733.

151. Ubeda, C. Local patient dose diagnostic reference levels in pediatric interventional cardiology in Chile using age bands and patient weight values / C. Ubeda, P. Miranda, E. Vano // *Medical physics*. – 2015. – Vol. 42, № 2. – P. 615-622.
152. Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung: Jahresbericht 2012 // Bundesamt für Strahlenschutz, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: website. – URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01000857575> (accessed: 11.03.2020).
153. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Effects of Ionizing Radiation (UNSCEAR). Report to the general assembly of the United Nations with scientific // Scientific Annexes: website. – URL: <https://www.un-ilibrary.org/content/books/9789210582513> (accessed: 27.12.2024).
154. Use of dose quantities in radiological protection // International Commission on Radiological Protection: website. – URL: <https://icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20147> (accessed: 05.05.2022).
155. Vassileva, J. Diagnostic reference levels / J. Vassileva, M. Rehani // *American Journal of Roentgenology*. – 2015. – Vol. 204, № 1. – P. W1-W3.
156. The Virtual Family-development of surface-based anatomical models of two adults and two children for dosimetric simulations / A. Christ, W. Kainz, E. G. Hahn [et al.] // *Physics in Medicine & Biology*. – 2010. – Vol. 55. – P. 23-38.
157. Wall, B. F. Implementation of DRLs in the UK / B. F. Wall // *Radiation Protection Dosimetry*. – 2005. – Vol. 114, № 1-3. – P. 183-187.
158. Walsh, M. A. Cumulative radiation exposure in pediatric patients with congenital heart disease / M. A. Walsh, M. Noga, J. Rutledge // *Pediatric cardiology*. – 2015. – Vol. 36. – P. 289-294.
159. Xu, X. G. Handbook of anatomical models for radiation dosimetry. Chapter 1: Computational phantoms for radiation dosimetry: A 40-year history of evolution / X. G. Xu. – Boca Raton, FL: CRC Press/Taylor & Francis Group, 2009.
160. Zhang, G. Monte Carlo simulations for external neutron dosimetry based on the visible Chinese human phantom / G. Zhang, Q. Liu, Q. Luo // *Physics in Medicine & Biology*. – 2007. – Vol. 52. – P. 7367-7383.

СПИСОК ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА

Таблица 1 – Референтные значения длины, массы тела и общей площади поверхности тела для пациентов разных возрастных категорий	25
Рисунок 1 – Дизайн проведенного исследования	39
Рисунок 2 – Ангиографическая система Innova 3100/4100.....	41
Рисунок 3 – Ангиографическая система The Philips Allura Xper	41
Рисунок 4 – Общий вид интерфейса РСХМС 2.0	47
Рисунок 5 – Антропоморфные фантомы ПО РСХМС 2.0	48
Рисунок 6 – Интервенционные процедуры, проведенные с 2016 по 2021 год.....	52
Рисунок 7 – Виды интервенционных вмешательств, выполненных с 2016 по 2021 год	53
Таблица 2 – Антропометрические характеристики пациентов разных возрастных категорий, которым выполнялись интервенционные исследования	54
Таблица 3 – Данные о количестве пациентов за 2017–2022 годы	54
Таблица 4 – Дозовые характеристики, определенные в ходе интервенционных исследований на органах ЖКТ и трахеобронхиального дерева.....	62
Таблица 5 – Поля облучения при проведении баллонной пластики пищевода детям 1–2 лет.....	64
Рисунок 8 – Поле облучения № 1 для баллонной пластики пищевода	65
Рисунок 9 – Поле облучения № 2 для баллонной пластики пищевода	65
Рисунок 10 – Поле облучения № 3 для баллонной пластики пищевода	65
Рисунок 11 – Поле облучения № 4 для баллонной пластики пищевода	65
Рисунок 12 – Поле облучения № 5 для баллонной пластики пищевода	65
Таблица 6 – Физико-технические параметры проведения баллонной пластики пищевода	66
Таблица 7 – Расчетная модель облучения при проведении баллонной пластики пищевода	68

Таблица 8 – Значения основных дозовых величин при проведении рентгенэндоваскулярной окклюзии тестикулярных вен.....	69
Таблица 9 – Поля облучения для рентгенэндоваскулярной окклюзии тестикулярных вен для детей возрастной категории «15 лет».....	70
Рисунок 13 – Поле облучения № 1 для окклюзии тестикулярных вен.....	71
Рисунок 14 – Поле облучения № 2 для окклюзии тестикулярных вен.....	71
Рисунок 15 – Поле облучения № 3 для окклюзии тестикулярных вен.....	72
Рисунок 16 – Поле облучения № 4 для окклюзии тестикулярных вен.....	72
Таблица 10 – Физико-технические параметры проведения рентгенэндоваскулярной окклюзии тестикулярных вен.....	72
Таблица 11 – Упрощенная модель облучения при выполнении рентгенэндоваскулярной окклюзии тестикулярных вен для детей возрастной категории «15 лет»	74
Рисунок 17 – Система организационных мероприятий по проведению регистрации, контроля и учета доз облучения пациентов при проведении интервенционных исследований	77

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1 – Анкета для сбора общей информации об аппарате, используемом при проведении интервенционных исследований

№ п/п	Вид информации	Содержание информации
1	Рентгеновский аппарат: Модель Изготовитель (фирма, страна) Год выпуска/замены трубки	
2	Расположение рентгеновской трубки (над/под) столом	
3	Радиационный выход (мГр·м ²)/(мА·мин) При напряжениях 70, 90 и 110 кВ	
4	Наличие встроенной/ дополнительной проходной камеры. Дата последней поверки и единицы измерения.	
5	Значения возможных диаметров поля излучения на приемнике изображения, см	
6	Материал фильтра (Al, Cu, и т.п.) и его толщина (мм)	
7	Сведения о переменной добавочной фильтрации (возможные значения)	
8	Частота съемки при рентгенографии (кадров в секунду)	

9	Наличие функции ЛН	
10	Наличие виртуальной коллимации	
11	Наличие импульсной рентгеноскопии. Используемая частота съемки (к/сек)	
12	Расстояние источник-приемник (РИП)	
13	Общее число исследований за текущий год	

Приложение 2 – Анкета для сбора данных о параметрах проведения интервенционных исследований

ФИО/идентификатор пациента/пол:
 Вес/рост/эффективный диаметр грудной клетки
 Возраст/дата рождения:
 Диагноз:
 Наименование процедуры ¹:

Этап процедуры ² (с указанием анатомической области)	ПДП, (для каждого этапа процедуры) (сГр·см ²)		Кол-во сделанных снимков (для каждого этапа процедуры)	Время работы трубки в режиме рентгенокопии мин. (для каждого этапа процедуры)	Среднее напряжение на трубке, кВ (для каждого этапа процедуры)	Диаметр поля на приемнике во время процедуры, см	Угол наклона трубки ³ (для каждого этапа процедуры)	Прочее
	За режим рентгенокопии	За просвечивание пациента в режиме рентгенографии						

Примечание – ¹ – информация вносится отдельно для каждой процедуры; ² – примеры этапов процедуры: пункция правой бедренной артерии; провод катетера по кровотоку через подвздошную артерию до брыжеечной артерии; установка катетера в брыжеечной артерии; ³ – при указании угла наклона необходимо уточнить расположение координат относительно сердца пациента

Приложение 3 – Интервенционные вмешательства на органах ЖКТ и трахеобронхиального дерева, на мочевыводящих путях, на сердце и магистральных сосудах грудной клетки

Возрастная категория	Показатель	Интервенционные вмешательства на органах ЖКТ и трахеобронхиального дерева			Интервенционные вмешательства на мочевыводящих путях		Интервенционные вмешательства на сердце и магистральных сосудах грудной клетки	
		Диагностические	Лечебные		Диагностические	Лечебные	Диагностические	Лечебные
		Грудная клетка	Грудная клетка	Грудная клетка + Брюшная полость	Брюшная полость	Брюшная полость	Грудная клетка	Грудная клетка
0	N	195	69	н/д	н/д	97	28	115
	ПДП	528±1411 (2-18784)	464±756 (6-3754)	н/д	н/д	753±1972 (1-18900)	2322±2003 (127-9410)	2575±3759 (138-25418)
	ПД в коже	47±94 (1-670)	67±193 (1-116)	н/д	н/д	54±89 (1-736)	343±430 (6-1720)	330±417 (23-2975)
	t	16±19 (3-185)	40±31 (10-165)	н/д	н/д	50±29 (10-160)	114±58 (25-240)	134±79 (20-370)
1	N	53	159	н/д	12	112	31	47
	ПДП	970±3751 (1-26538)	243±1154 (4-14321)	н/д	575±1035 (10-3743)	565±484 (19-3047)	4089±4480 (365-22533)	6369±7554 (24-35403)
	ПД в коже	162±765 (1-5103)	21±63 (1-499)	н/д	42±77 (1-271)	39±43 (1-289)	311±249 (11-950)	621±759 (1-3319)
	t	37±29 (5-130)	33±32 (10-330)	н/д	39±32 (10-110)	61±133 (10-1430)	143±84 (5-350)	149±184 (50-1325)
5	N	41	169	н/д	22	125	12	32
	ПДП	356±456 (2-2312)	347±1820 (1-21565)	н/д	730±914 (11-4250)	810±1066 (18-7663)	5965±5478 (117-16525)	7055±8815 (724-37936)
	ПД в коже	23±33 (1-162)	22±141 (1-1794)	н/д	37±54 (3-256)	56±122 (1-1179)	376±364 (6-961)	804±1725 (42-9667)
	t	38±23 (10-90)	32±21 (5-145)	н/д	29±20 (5-75)	58±44 (5-240)	106±64 (25-275)	108±56 (35-260)

10	N	11	66	н/д	18	70	н/д	н/д
	ПДП	633±930 (3-3228)	278±461 (13-3391)	н/д	1683±1978 (10-7992)	1327±2529 (10-19656)	н/д	н/д
	ПД в коже	46±75 (4-253)	30±82 (2-629)	н/д	92±114 (4-453)	81±212 (2-1715)	н/д	н/д
	t	32±17 (5-55)	28±18 (10-120)	н/д	36±39 (5-155)	59±58 (15-315)	н/д	н/д
15	N	12	72	12	18	76	н/д	н/д
	ПДП	521±710 (21-2317)	2337±10604 (2-73814)	3086±1658 (1048-6474)	2773±4912 (11-19612)	2621±4349 (20-24999)	н/д	н/д
	ПД в коже	28±33 (2-112)	139±586 (1-3267)	126±82 (23-315)	134±272 (1-1119)	134±251 (4-1435)	н/д	н/д
	t	31±20 (10-75)	34±36 (10-210)	36±16 (10-70)	41±29 (5-100)	54±39 (10-185)	н/д	н/д
15+	N	н/д	н/д	н/д	н/д	17	н/д	н/д
	ПДП	н/д	н/д	н/д	н/д	5493±9689 (161-38912)	н/д	н/д
	ПД в коже	н/д	н/д	н/д	н/д	511±1029 (14-4079)	н/д	н/д
	t	н/д	н/д	н/д	н/д	85±76 (15-290)	н/д	н/д

Примечание – N – количество исследований; ПДП – произведение дозы на площадь, сГр·см²; ПД в коже – поглощенная доза в коже, мГр; t – время за все исследование, с; н/д – нет данных.

Приложение 4 – Интервенционные вмешательства на области головы и шеи и интервенционные вмешательства на периферических сосудах

Возрастная категория	Показатель	Интервенционные вмешательства на области головы и шеи		Интервенционные вмешательства на периферических сосудах						
		Диагностическое	Лечебные	Диагностические		Лечебные				
		Голова	Голова	Нижняя конечность	Верхняя конечность	Грудная клетка	Верхняя конечность/Грудная клетка	Брюшная полость/Таз	Нижняя конечность	Брюшная полость
0	N	н/д	33	н/д	н/д	н/д	45	н/д	н/д	н/д
	ПДП	н/д	16186±18601 (10-112849)	н/д	н/д	н/д	851±2814 (7-18756)	н/д	н/д	н/д
	ПД в коже	н/д	1320±1194 (5-6643)	н/д	н/д	н/д	26±52 (1-285)	н/д	н/д	н/д
	t	н/д	136±59 (60-365)	н/д	н/д	н/д	91±56 (30-320)	н/д	н/д	н/д
1	N	н/д	36	13	н/д	15	68	н/д	н/д	н/д
	ПДП	н/д	27629±52035 (4629-317101)	1306±1451 (2-5332)	н/д	448±454 (4-1619)	512±674 (15-3271)	н/д	н/д	н/д
	ПД в коже	н/д	1538±1345 (166-7523)	50±59 (3-218)	н/д	24±27 (2-104)	29±61 (1-442)	н/д	н/д	н/д
	t	н/д	154±100 (65-700)	45±31 (10-105)	н/д	65±39 (15-135)	90±51 (25-270)	н/д	н/д	н/д
5	N	14	21	46	н/д	14	24	н/д	н/д	н/д
	ПДП	11631±8336 (3979-35853)	22921±12542 (3787-55344)	1086±905 (319-5622)	н/д	1355±3306 (18-12581)	525±560 (49-2653)	н/д	н/д	н/д
	ПД в коже	979±710 (231-2890)	1788±1125 (331-5185)	41±36 (12-240)	н/д	180±402 (3-1507)	22±22 (5-99)	н/д	н/д	н/д
	t	40±21 (5-75)	134±59 (60-235)	29±22 (5-115)	н/д	101±62 (20-225)	80±40 (15-200)	н/д	н/д	н/д
10	N	13	14	63	11	19	21	19	н/д	10

	ПДП	17894±17737 (4152-63979)	59071±33078 (22675-143605)	2037±1916 (467-10684)	2103±3199 (430-11385)	781±773 (63-3479)	1487±3716 (11-14650)	2008±1335 (714-6334)	н/д	11870±76 86 (3382-29263)
	ПД в коже	1150±1202 (274-4568)	4524±2757 (796-10877)	77±71 (17-412)	87±156 (12-550)	33±22 (3-78)	56±125 (1-534)	77±42 (26-190)	н/д	933±765 (152-2235)
	t	159±377 (20-1410)	174±60 (90-275)	28±18 (5-100)	37±36 (5-130)	64±27 (20-120)	58±42 (20-150)	46±13 (20-70)	н/д	100±48 (45-190)
15	N	20	25	94	11	29	28	313	20	12
	ПДП	23745±16412 (3965-55967)	64438±43824 (5258-211462)	4244±5678 (697-48179)	1621±963 (300-3436)	3241±9721 (79-51063)	590±1105 (21-5321)	3422±3714 (18-45716)	8717±9246 (515-43102)	29334±29 663 (915-115565)
	ПД в коже	1540±1552 (121-6519)	5009±2714 (101-10936)	142±157 (16-1250)	56±47 (8-152)	143±402 (3-2111)	22±33 (1-148)	147±196 (20-2932)	835±1879 (64-8558)	1379±840 (37-2924)
	t	58±46 (15-190)	117±45 (30-210)	28±23 (5-110)	40±22 (20-90)	65±27 (20-140)	56±40 (15-215)	58±107 (15-1400)	160±71 (65-285)	83±45 (15-190)
15+	N	н/д	н/д	20	н/д	н/д	н/д	147	н/д	н/д
	ПДП	н/д	н/д	3145±2209 (53-9712)	н/д	н/д	н/д	4125±3463 (108-20977)	н/д	н/д
	ПД в коже	н/д	н/д	175±264 (17-1263)	н/д	н/д	н/д	1979±410 (6-4877)	н/д	н/д
	t	н/д	н/д	33±22 (10-80)	н/д	н/д	н/д	50±16 (15-120)	н/д	н/д

Примечание – N – количество исследований; ПДП – произведение дозы на площадь, сГр·см²; ПД в коже – поглощенная доза в коже, мГр; t – время за все исследование, с; н/д – нет данных.