

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ –
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ БИОФИЗИЧЕСКИЙ ЦЕНТР
ИМЕНИ А.И. БУРНАЗЯНА»

На правах рукописи

Маткевич Елена Ивановна

ОПТИМИЗАЦИЯ РАДИАЦИОННЫХ РИСКОВ
ПУТЕМ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКИ
У ПЕРСОНАЛА, РАБОТАЮЩЕГО С ТЕХНОГЕННЫМИ
ИСТОЧНИКАМИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

1.5.1. Радиобиология

Диссертация на соискание ученой степени доктора медицинских наук

Научный консультант
доктор медицинских наук, профессор,
член-корреспондент РАН
Самойлов А.С.

Москва – 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
ГЛАВА I. РАДИАЦИОННЫЕ РИСКИ ПРИ ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКЕ У ПЕРСОНАЛА, РАБОТАЮЩЕГО С ТЕХНОГЕННЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ).....	20
1.1 Дозы облучения при медицинских диагностических процедурах	20
1.2 Вопросы радиационной безопасности персонала, работающего с источниками ионизирующего излучения, в производственных условиях	24
1.3 Методы контроля доз облучения пациентов при КТ-исследованиях.....	26
1.3.1 Дозиметрия при КТ-исследованиях с использованием стандартных фантомов	27
1.3.2 Контроль дозы облучения при КТ-исследованиях по параметрам с консоли КТ-аппарата.....	28
1.3.3 Контроль дозы облучения при КТ-исследованиях с использованием антропоморфного тканеэквивалентного фантома	28
1.4 Применение референтных диагностических уровней.....	31
1.5 Вычисление стандартных доз	34
1.6 Радиационные риски при облучении в малых дозах.....	35
1.7 Программы автоматизированного расчета доз облучения и радиационных рисков при лучевой диагностике.....	38
1.7.1 Программы для расчета только эффективной дозы	42
1.7.2 Программы для расчета органных доз и эффективной дозы	42
1.7.3. Программы для расчета эффективной дозы облучения и радиационных рисков	44
1.8 Сравнение диагностических возможностей КТ и МРТ-исследований	48
1.9 Трудовые функции по описанию МРТ-исследований	54

1.10 Оценка экономической эффективности от снижения дозы облучения пациентов	56
Закключение по главе I.....	58
ГЛАВА II. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	59
2.1 Общая характеристика материалов исследования	59
2.1.1 Характеристика персонала, работающего с техногенными источниками ионизирующего излучения, направленного на КТ-исследования в 2020-2024 гг.	62
2.1.2 Характеристика пациентов, проходивших КТ-исследования в 2024 г.	64
2.1.3 Характеристика пациентов, у которых проводили экспертную оценку результатов КТ- и МРТ-исследований в 2024-2026 гг.....	65
2.2 Методы оценки доз облучения и радиационных рисков у персонала, работающего с источниками ионизирующих излучений	66
2.2.1 Оценка доз облучения в производственных условиях.....	66
2.2.2 Оценка доз облучения при компьютерной томографии	66
2.2.3. Оценка доз облучения методом фантомной дозиметрии	68
2.2.4 Определение стандартной дозы облучения на анатомическую область.....	74
2.2.5 Методика оценки радиационных рисков.....	75
2.3 Характеристика сканеров, применяемых для лучевой диагностики и проведенных исследований.....	75
2.3.1 Сканеры.....	75
2.3.2 Проведенные исследования	77
2.4 Оценка нозологий у пациентов из числа персонала, направляемых на КТ-исследования, и методика экспертной оценки результатов КТ- и МРТ- исследований	78

2.4.1 Оценка нозологий у пациентов из числа персонала, направляемых на КТ-исследования.....	78
2.4.2 Экспертная оценка диагностических возможностей КТ и МРТ	78
2.5 Методика расчета трудовой функции врача-рентгенолога и экономической эффективности от реализации разработанных методических рекомендаций.....	79
2.5.1 Расчет трудовой функции врача-рентгенолога по описанию результатов МРТ-исследований	79
2.5.2 Расчет экономической эффективности для одного исследования с заменой КТ на МРТ.....	80
2.6 Методы статистического анализа.....	82
ГЛАВА III. ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ И РАДИАЦИОННЫЕ РИСКИ У ПЕРСОНАЛА, РАБОТАЮЩЕГО С ИСТОЧНИКАМИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ, В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ И ПРИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ В 2020-2024 гг.	84
3.1 Оценка доз облучения в производственных условиях.....	84
3.2 Оценка доз облучения при компьютерной томографии	88
3.2.1 Эффективные дозы облучения по анатомическим областям	88
3.2.2 Дозы на органы и ткани по результатам фантомной дозиметрии	90
3.2.3 Сопоставление методик расчета стандартных доз	96
3.3 Расчет радиационных рисков.....	105
Заключение по главе 3	110
ГЛАВА IV. КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КТ- И МРТ-ИССЛЕДОВАНИЙ И СТРУКТУРА ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ПАЦИЕНТОВ ИЗ ЧИСЛА ПЕРСОНАЛА В 2020-2025 гг.	113

4.1 Анализ общего количества выполненных КТ- и МРТ-исследований и доз облучения пациентов из числа персонала при КТ по основным классам заболеваний.....	113
4.2 Структура заболеваемости пациентов из числа персонала, которые проходили КТ-исследования.....	115
4.3 Анализ структуры выполненных КТ- и МРТ-исследований по анатомическим областям.....	129
Заключение по главе 4.....	135
ГЛАВА V. ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ МРТ ПО СРАВНЕНИЮ С КТ-ИССЛЕДОВАНИЯМИ	137
5.1 Сопоставление возможностей КТ- и МРТ-исследований по визуализации патологии	137
5.2 Экспертная оценка результатов МРТ-визуализации патологических очаговых образований в сравнении с КТ и их взаимозаменяемости.....	148
5.3 Факторы, используемые при разработке алгоритма снижения радиационных рисков от медицинского облучения при лучевой диагностике ...	153
Заклучение по главе 5	158
ГЛАВА VI. СИСТЕМНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДОЗОЙ ОБЛУЧЕНИЯ ПРИ ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКЕ ПЕРСОНАЛА, РАБОТАЮЩЕГО В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕХНОГЕННОГО ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ	160
6.1 Использование автоматизированных программ для расчетов доз облучения пациентов и радиационного риска при КТ	160
6.2 Экономическая эффективность от применения алгоритма	167
6.3 Разработка методов оценки трудовой функции врача-рентгенолога по описанию результатов МРТ-исследований	171

6.4 Системное управление выбором метода лучевой диагностики у пациентов из числа персонала, работающего с источниками ионизирующего излучения	181
Заключение по главе 6	183
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	185
ВЫВОДЫ.....	191
Список сокращений	193
Список литературы	195
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	225
Приложение А. Иллюстративный материал по информационному анализу и пояснения по методикам исследования	226
Приложение Б. Дополнительная информация по исследованию	244
Приложение В. Сведения о реализации результатов исследования.....	253
Приложение Г. Практические рекомендации по оценке дозы облучения пациентов при компьютерной томографии и их маршрутизации при выборе методов лучевой диагностики (справочное)	264
Благодарности	267

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования

В последние годы увеличивается численность работников (персонала) – лиц, которые постоянно или временно работают непосредственно с техногенными источниками излучения на атомных электростанциях и радиационно опасных производствах [15, 25, 66-69, 75, 129]. Одновременно растет количество медицинских обследований этих лиц, при которых происходит их дополнительное облучение в малых дозах [10, 13, 46, 115, 139]. При этом большая доля лучевых методов диагностики приходится на компьютерную томографию (КТ), и дозы при КТ-исследованиях остаются достаточно высокими, многократно превышающими нормативы 1 мЗв в год для населения и средние годовые дозы облучения персонала категорий А и Б. Однако регламентируемые значения основных пределов доз облучения для персонала не включают в себя дозы, получаемые при проведении медицинских рентгенорадиологических процедур [63].

Исходя из принципа оптимизации радиационной защиты, в проекте новых Норм радиационной безопасности вводится понятие граничной дозы. В отличие от действующей редакции НРБ 99/2009 в новых НРБ планируется ввести верхнюю границу допустимых годовых доз облучения не только населения, но и отдельных категорий лиц при медицинском облучении в условиях планируемого воздействия. К этим категориям относятся и работники (персонал) – то есть лица, которые постоянно или временно работают непосредственно с техногенными источниками излучения (ИИ). Однако остаются неразработанными вопросы – чем и как для реализации концепции непревышения граничных доз заменять методы лучевой диагностики, сопровождающиеся облучением пациентов.

В соответствии с Методическими указаниями по оценке радиационного риска у населения [91] к малым дозам ионизирующего излучения относят дозы, не превышающие 100 мГр. В радиобиологии существуют разные взгляды на эффекты малых доз – от теории гормезиса и воззрений о том, что они не представляют опасности для здоровья человека [5, 37, 89, 132], до обоснований их

вреда и дополнительных радиационных рисков [25, 26, 51, 107, 125]. В то же время, в настоящее время, в соответствии с рекомендациями МКРЗ, принято руководствоваться концепцией беспорогового эффекта малых доз ИИ [104].

В диапазоне малых доз радиационные риски относительно невелики. Их частота составляет до 0,1-0,3% от числа облученных лиц, что значительно ниже рисков спонтанной онкологической смертности (14-16% во всей популяции) [91]). Тем не менее они должны приниматься во внимание, учитывая бóльшую выраженность хромосомных нарушений и летальных мутаций при воздействии ИИ по сравнению со спонтанными изменениями. Кроме того, радиационные риски значительно увеличивают многократное проведение исследований у одного пациента с использованием источников ионизирующего излучения (ИИИ) при многофазных КТ-исследованиях, а также в динамике, постоянно возрастающее количество таких исследований в целом по стране и возможное предшествующее облучение работников при ликвидации радиационных инцидентов [117, 125].

Анализ медицинских доз облучения пациентов показывает, что рост объемов КТ-исследований является основным фактором увеличения коллективной дозы медицинского облучения в последние десятилетия [66-69, 86]. Исходя из вышеперечисленного, требуется создание регистров для учета вклада медицинского облучения в суммарную дозу облучения работников, профессионально связанных с техногенными ИИИ [85, 89]. В настоящее время подобные локальные регистры формируются [82, 83, 115, 122, 123], но при выборе метода лучевой диагностики у пациентов из числа работников не используются.

Остаются нерешенными вопросы определения анатомических областей КТ-сканирования и отдельных нозологий, при которых пациенты получают максимальную дозу облучения. Отсутствуют данные прямой дозиметрии для оценки эффективных доз облучения пациентов при КТ, на основе которых выполняются расчеты суммарных радиационных рисков при КТ отдельных и сочетанных анатомических областей у пациентов с разными нозологиями, а также референтных диагностических уровней (РДУ).

В связи с этим необходимы комплексные исследования по возможности и целесообразности использования при лучевой диагностике вместо компьютерной томографии метода магнитно-резонансной томографии (МРТ) при разных нозологиях и анатомических областях сканирования. Хотя общая информация о диагностической ценности и взаимозаменяемости КТ- и МРТ-исследований представлена в практических рекомендациях [28], однако в ней не отражены новые диагностические возможности МРТ-сканеров с высоким разрешением и не сопоставлены результаты визуализации патологии для сочетанных анатомических областей для современных КТ- и МРТ-сканеров. При этом важно использовать возможности искусственного интеллекта [6, 7], в том числе в виде автоматизированной программы для оценки радиационных рисков и поддержки принятия решения врачом о выборе оптимального метода лучевой диагностики.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью получения надежных оценок доз облучения пациентов, разработки концепции минимизации дозы медицинского диагностического облучения с сохранением диагностической информативности исследований для повышения радиационной безопасности пациентов. Научное обоснование порядка применения методов лучевой диагностики и разработка мероприятий по совершенствованию алгоритмов снижения радиационных рисков особенно важны для пациентов из числа персонала, работающего с техногенными ИИИ, и проходящих лечение в многопрофильных клиниках ФМБА России.

Степень разработанности темы

Основанием для выполнения диссертационной работы послужило то, что медицинское диагностическое облучение пациентов из числа персонала, работающего с техногенными ИИИ, не включено в пределы профессиональных доз и должно рассматриваться отдельно.

При этом значительно возрос вклад компьютерной томографии в коллективную дозу медицинского облучения. Существенное значение приобретает вопрос оптимизации лучевой диагностики для снижения дозы медицинского облучения. В мировой практике активно развиваются технологии

низкодозной КТ, включая применение алгоритмов итеративной реконструкции и систем управления параметрами сканирования. Вместе с тем альтернативные методы визуализации, прежде всего МРТ, не связанные с использованием ионизирующего излучения, рассматриваются лишь как перспективное направление снижения лучевой нагрузки у пациентов из групп риска. Несмотря на значительное количество исследований, посвященных диагностическим возможностям КТ и МРТ, в научной литературе ограничено число работ по сопоставлению этих методов с позиций радиационной безопасности и возможности их взаимозаменяемости для конкретных нозологических форм. Не разработаны методические рекомендации по снижению радиационных рисков у пациентов из числа персонала, работающего с техногенными ИИИ, при диагностических процедурах, связанных с облучением.

Таким образом, в настоящее время недостаточно оценены суммарные уровни профессионального и медицинского облучения у персонала, работающего с техногенными ИИИ, и не разработаны подходы к оптимизации лучевой диагностики с учетом потенциальных радиационных рисков и диагностических возможностей разных методов. В этой связи с целью разработки научно-обоснованных рекомендаций по снижению доз медицинского диагностического облучения впервые проведено комплексное исследование дозовых нагрузок при проведении медицинских диагностических процедур у лиц из числа персонала, обусловленных ими потенциальных радиационных рисков, на обширном материале сопоставлены диагностические возможности и взаимозаменяемость методов КТ- и МРТ-визуализации патологии для сочетанных областей тела.

Цель исследования – комплексная оценка радиационных рисков при лучевой диагностике и разработка нового алгоритма их снижения у персонала, работающего с техногенными источниками ионизирующего излучения.

Задачи исследования:

1. Проанализировать дозы профессионального облучения в 2020-2024 гг. лиц из числа персонала, работающего с техногенными ИИИ, которые прошли лучевую диагностику за этот период.

2. Оценить динамику количества КТ- и МРТ-процедур за 2020-2025 гг. в многопрофильной медицинской организации ФМБА России и определить средние дозы облучения по областям тела при КТ с использованием фантомной дозиметрии.

3. Установить суммарный радиационный риск от облучения в профессиональных условиях и при медицинских диагностических обследованиях для пациентов из числа персонала, работающего с техногенными ИИИ.

4. Исследовать структуру нозологий у пациентов из числа персонала, работающего с техногенными ИИИ, проходивших КТ в многопрофильной медицинской организации ФМБА России, установить заболевания и анатомические области тела, при которых доза облучения максимальна.

5. Определить релевантные патологии и анатомические области сканирования, при которых возможно снижение дозы медицинского облучения путем замены КТ на МРТ при сохранении высокого качества визуализации.

6. Разработать и внедрить в практику новый алгоритм снижения радиационных рисков при лучевой диагностике у персонала, работающего с техногенными ИИИ, и рассчитать экономический эффект от его внедрения.

Научная новизна исследования

- впервые оценены радиационные риски на основе проанализированных доз облучения пациентов из числа персонала при КТ-диагностике в процессе медицинских обследований;
- впервые выделены критические группы персонала в зависимости от пола и возраста с максимальными радиационными рисками при проведении КТ-исследований;
- на основе результатов выполненной дозиметрии на антропоморфном тканеэквивалентном фантоме при КТ-исследованиях впервые уточнены дозовые коэффициенты в зависимости от анатомической области для перехода от поглощенной дозы облучения (DLP) с консоли КТ-сканера в эффективную дозу облучения пациента для сочетанных анатомических областей;

- впервые показана необходимость применения отдельного метода оценки стандартных доз облучения пациентов при КТ-исследованиях для последующих корректных расчетов РДУ в выборках менее 20 человек;
- установлены нозологии и анатомические области, при которых выполняются КТ-исследования с максимальной дозой облучения пациентов;
- выявлены анатомические области исследования, при которых особенно целесообразна замена КТ на МРТ в целях снижения дозы облучения пациентов;
- с учетом радиобиологических критериев и особенностей визуализации впервые обоснованы релевантные патологии для оптимизации лучевой диагностики без снижения диагностической значимости на базе многопрофильной медицинской организации ФМБА России;
- впервые разработан новый алгоритм снижения радиационных рисков при лучевой диагностике у персонала, работающего с техногенными ИИИ, обосновывающий расширение использования МРТ;
- обоснованы показатели экономического эффекта от внедрения в практику лучевой диагностики разработанного алгоритма снижения радиационных рисков при лучевой диагностике у персонала, работающего с техногенными ИИИ.

Теоретическая и практическая значимость работы

Разработанный алгоритм снижения радиационных рисков при лучевой диагностике у персонала, работающего с техногенными ИИИ, основанный на учете доз и радиационных рисков при профессиональном и медицинском облучении и диагностической информативности методов визуализации, при внедрении в практику позволяет в полной мере применять принципы обоснования и оптимизации радиационной защиты пациентов.

Практическая значимость работы заключается в том, что:

- определены основные патологии для замены КТ на МРТ в целях снижения дозы медицинского облучения персонала, работающего с

техногенными источниками ионизирующего излучения, при сохранении высокого качества визуализации;

- разработаны дозовые коэффициенты в зависимости от анатомической области для перехода от поглощенной дозы облучения (DLP) к эффективной дозе облучения, позволяющие более точно оценивать дозу облучения пациента при КТ-исследованиях и рассчитывать радиационные риски после проведения диагностических процедур в зависимости от КТ-сканера;

- разработаны методические рекомендации по совершенствованию лучевой диагностики пациентов из числа персонала, работающего с техногенными ИИИ, позволяющие уменьшить радиационные риски от медицинского облучения;

- рекомендованы организационные мероприятия по оптимизации работы персонала отделения МРТ в условиях увеличения потока пациентов при перераспределении методов лучевой диагностики;

- рассчитан экономический эффект от внедрения алгоритма снижения радиационных рисков при лучевой диагностике у персонала, работающего с техногенными ИИИ, на основе визуализации патологии взаимозаменяемыми методами лучевой диагностики;

- результаты исследования использованы в деятельности Центра лучевой и радиоизотопной диагностики ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России и отделения рентгенологических исследований и томографии ФГБНУ НИИ медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова.

Теоретическая значимость работы обусловлена важностью научно-прикладной проблемы по научному обоснованию и внедрению здоровьесберегающей медицинской технологии, минимизирующей радиационные риски при лучевой диагностике у пациентов, в том числе из числа персонала, работающего с источниками ионизирующего излучения. В рамках работы впервые сформирована база данных для сравнения диагностических признаков очаговых образований органов брюшной полости при выполнении парных

лучевых методов исследований (КТ и МРТ), которая используется с целью оптимизации диагностического и обучающего процессов.

Результаты работы включены в учебный процесс:

- Медико-биологического университета инноваций и непрерывного образования ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России по программе дополнительного профессионального образования на циклах повышения квалификации «Основы радиационной безопасности», которые проводятся для врачей-рентгенологов, рентгенлаборантов и врачей клинических специальностей ФМБА России;

- ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы» на кафедре лучевой диагностики и медицинской визуализации по программе дополнительного профессионального образования на циклах повышения квалификации «Основы радиационной безопасности», которые проводятся для врачей-рентгенологов, рентгенлаборантов и врачей клинических специальностей.

Методология и методы диссертационного исследования

При выполнении работы выделялись несколько этапов.

1. Анализ отечественной и зарубежной литературы по проблеме исследования.

2. Анализ базы данных о дозах при профессиональном облучении персонала, обследованного в центре лучевой диагностики ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России в 2020-2024 гг.

3. Изучение динамики количества КТ- и МРТ-процедур за 2020-2025 гг. в центре лучевой диагностики ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России.

4. Определение эквивалентных доз на органы и ткани с помощью ТЛД-детекторов, установленных в антропоморфном тканеэквивалентном фантоме, при КТ сочетанных областей с последующим вычислением эффективной дозы облучения пациента.

5. Создание базы данных о дозах медицинского облучения пациентов в 2020-2024 гг. при КТ-исследованиях и установление стандартных доз облучения.

6. Оценка структуры патологии пациентов из числа персонала, работающего с техногенными ИИИ, и обоснование основных нозологий для замены КТ на МРТ.

7. Экспертная оценка диагностических возможностей МРТ-визуализации по сравнению с КТ и их взаимозаменяемости.

8. Разработка алгоритма снижения радиационных рисков при лучевой диагностике у персонала, работающего с техногенными ИИИ, и автоматизированной программы формирования медицинских рекомендаций по выбору метода лучевой диагностики.

8. Расчет экономической эффективности от внедрения нового алгоритма.

Работа проводилась в соответствии с этическими нормами Хельсинской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками 2013 г. и «Правилами клинической практики в Российской Федерации», утвержденными приказом Минздрава РФ от 19.06.2003 года № 266.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту

1. Средние годовые дозы профессионального облучения персонала, проходившего лучевую диагностику в 2020-2024 гг., составили $0,64 \pm 0,16 - 1,38 \pm 0,23$ мЗв. Дозы облучения при КТ многократно превышали профессиональные дозы и за одно исследование в среднем были равны для сочетанных областей тела: при однофазных КТ – $12,4 \pm 0,38$ мЗв, при многофазных КТ – $23,27 \pm 0,17$ мЗв.

2. Периодическая дозиметрия с применением антропоморфного тканезквивалентного фантома необходима для точного расчета эквивалентной дозы облучения в органах и тканях при КТ с целью повышения точности оценки эффективной дозы облучения и радиационных рисков.

3. Результаты определения заболеваний с максимальной дозой облучения при КТ обосновывают расширение применения МРТ для диагностики болезней мочеполовой системы (N00-N99), болезней крови и кроветворных органов (D50-D89), новообразований (C00-D48) и болезней эндокринной системы (E00-E99).

4. Высокие диагностические возможности МРТ при лучевой диагностике заболеваний органов брюшной полости и забрюшинного пространства с очаговыми патологиями позволяют использовать данный метод в качестве замены КТ в целях снижения радиационных рисков и реализации принципа обоснованности в радиационной защите пациентов.

5. Разработанный новый алгоритм снижения радиационных рисков при лучевой диагностике у персонала, работающего с техногенными ИИИ, при сохранении высокой диагностической информативности исследований позволяет минимизировать дозы облучения, что отражается в экономическом эффекте от внедрения данного алгоритма с учетом предотвращенного ущерба.

Связь работы с научными программами и планами

Диссертационная работа выполнена в соответствии с планом научных работ ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России при выполнении НИР «Научное обоснование перспективных направлений совершенствования радиационной безопасности персонала организаций и населения территорий, обслуживаемых ФМБА России» (шифр: «Радбезопасность 26-28»).

Тема диссертации утверждена на заседании Ученого совета ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России 09.04.2025 г.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Научные положения диссертации соответствуют паспорту специальности 1.5.1. Радиобиология по пунктам п. 2 «Разработка эффективных средств и способов управления радиобиологическими эффектами», п. 7 «Прикладные проблемы дозиметрии и количественной оценки биологического действия излучения», п. 11 «Медицинская радиобиология, радиационная гигиена», п. 15 «Радиационная защита и обеспечение радиационной безопасности».

Степень достоверности и апробация результатов работы

Достоверность исследования основана на большом массиве данных о средних дозах медицинского облучения в 2020-2024 гг. при 9 182 КТ-исследованиях по 9 анатомическим областям сканирования у пациентов клиники ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, на анализе данных по структуре нозологий и радиационных рисков у 658 пациентов из числа персонала, работающего с техногенными ИИИ, которым было выполнено 1 151 КТ-исследование. При статистической обработке результатов применялись: дисперсионный анализ при оценке средних эффективных и стандартных доз, а также эквивалентных доз при фантомной дозиметрии; регрессионный анализ по модели линейной аппроксимации для оценки зависимостей показателей дозы облучения от массы тела пациентов. Оценена сходимость экспертной оценки результатов 692 парных КТ- и МРТ-исследований при различных нозологиях.

Диссертационная работа апробирована и рекомендована к защите на заседании ученого совета ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России (протокол № 7 от 17 июня 2026 г.).

Обсуждение основных положений диссертации

Основные положения диссертации обсуждены на I Конгрессе российского общества рентгенологов и радиологов, 2023, Санкт-Петербург; II Конгрессе Международного общества клинической физиологии и патологии, 2024, Москва; Всероссийской научно-практической конференции с международным участием НАСКИ «Актуальные вопросы профилактики инфекционных и неинфекционных болезней: эпидемиологические, организационные и гигиенические аспекты», 2024, 2025, Москва; XV международном конгрессе «Невский радиологический форум» 2024, Санкт-Петербург; Международном научно-практическом форуме молодых ученых и специалистов «Ильинские чтения 2025», 2025, Москва; XIX Всероссийском национальном конгрессе лучевых диагностов и терапевтов «Радиология – 2025», 2025, Москва; «International Conference on Radiation Protection in Medicine. X Ray Vision. Organized by the International Atomic Energy

Agency (IAEA)», 2025, Vienna, Austria; Первом Московском междисциплинарном международном конгрессе по ядерной медицине, радиационной фармацевтике и онкологии «Университетские клиники», 2025, Москва; Региональном семинаре МАГАТЭ «Безопасность пациентов при визуализации рака: от раннего выявления до последующего наблюдения», 2026, Астана (Республика Казахстан).

Реализация результатов работы

Результаты исследования внедрены в практику Центра лучевой диагностики ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, реализованы в методических рекомендациях по НИР ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России «Научное обоснование перспективных направлений совершенствования радиационной безопасности персонала организаций и населения территорий, обслуживаемых ФМБА России» (шифр: «Радбезопасность 26-28»), а также в пяти учебно-методических пособиях и в научно-практическом руководстве, которые используются в учебном процессе: на кафедре лучевой диагностики с курсом радиологии Медико-биологического университета инноваций и непрерывного образования ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, на кафедре лучевой диагностики и медицинской визуализации ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы», в клинике профессиональных и производственно обусловленных заболеваний ФГБНУ НИИ медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова.

Результаты исследования подтверждены свидетельствами о государственной регистрации: 1) база данных № 2026622165 от 14.05.2026 г. «База данных согласованности диагностических признаков очаговых образований органов брюшной полости при выполнении парных лучевых методов исследований (КТ и МРТ с интервалом 7-30 дней) для оптимизации диагностического и обучающего процессов»; 2) программа для ЭВМ № 2026664297 от 28.04.2026 г. «Программа «ФОРМЕД» – формирования медицинских рекомендаций по выбору метода лучевой диагностики с учетом комплекса радиобиологических факторов и особенностей визуализации

патологии». База данных и программа внедрены в практику центра лучевой диагностики ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России.

Личный вклад автора в выполнение исследования

Автор проанализировала данные отечественной и зарубежной литературы по теме исследования, самостоятельно осуществила сбор и обработку данных для оценки эффективных доз облучения пациентов при КТ, произвела расчеты средних и стандартных доз при КТ в Центре лучевой диагностики ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, спланировала экспериментальные облучения тканеэквивалентного антропоморфного фантома при стандартных протоколах КТ-исследований и непосредственно участвовала в их проведении, проанализировала структуру патологий при назначении пациентам из числа персонала, работающего с техногенными ИИИ, КТ различных анатомических областей, самостоятельно систематизировала, статистически обработала и описала материалы исследования, обсудила их, сформулировала выводы, разработала практические рекомендации по использованию полученных результатов.

Публикации по теме диссертации

По теме диссертации опубликована 51 научная работа, из них 26 – в рецензируемых журналах, рекомендованных в перечне ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации, научно-практическое руководство, 6 учебно-методических пособий, выполнена государственная регистрация базы данных и программы для ЭВМ.

Объем и структура работы

Диссертация изложена на 268 страницах и состоит из введения, обзора литературы, главы «материалы и методы исследования», 4 глав собственных исследований, заключения, выводов, практических рекомендаций, списка литературы, включающего 141 источник на русском и 52 источника на иностранных языках, и приложений. Работа содержит 43 рисунка и 43 таблицы.

ГЛАВА I. РАДИАЦИОННЫЕ РИСКИ ПРИ ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКЕ У ПЕРСОНАЛА, РАБОТАЮЩЕГО С ТЕХНОГЕННЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

1.1 Дозы облучения при медицинских диагностических процедурах

В последние годы роль лучевой диагностики в здравоохранении значительно возросла, что связано как с увеличением числа пациентов с хроническими заболеваниями сердечно-сосудистой системы и злокачественными новообразованиями, так и с внедрением новых технологий. Лучевая диагностика стала одним из ведущих методов для выявления, мониторинга и оценки тяжести большого числа заболеваний [131]. Обеспеченность МРТ-аппаратами в Российской Федерации с 2012 по 2022 г., по данным П.В. Шелехова с соавт. [139], возросла в 3 раза (рис. 1.1), но рост числа исследований с применением МРТ не компенсирует рост дозовой нагрузки на пациентов от КТ-исследований.

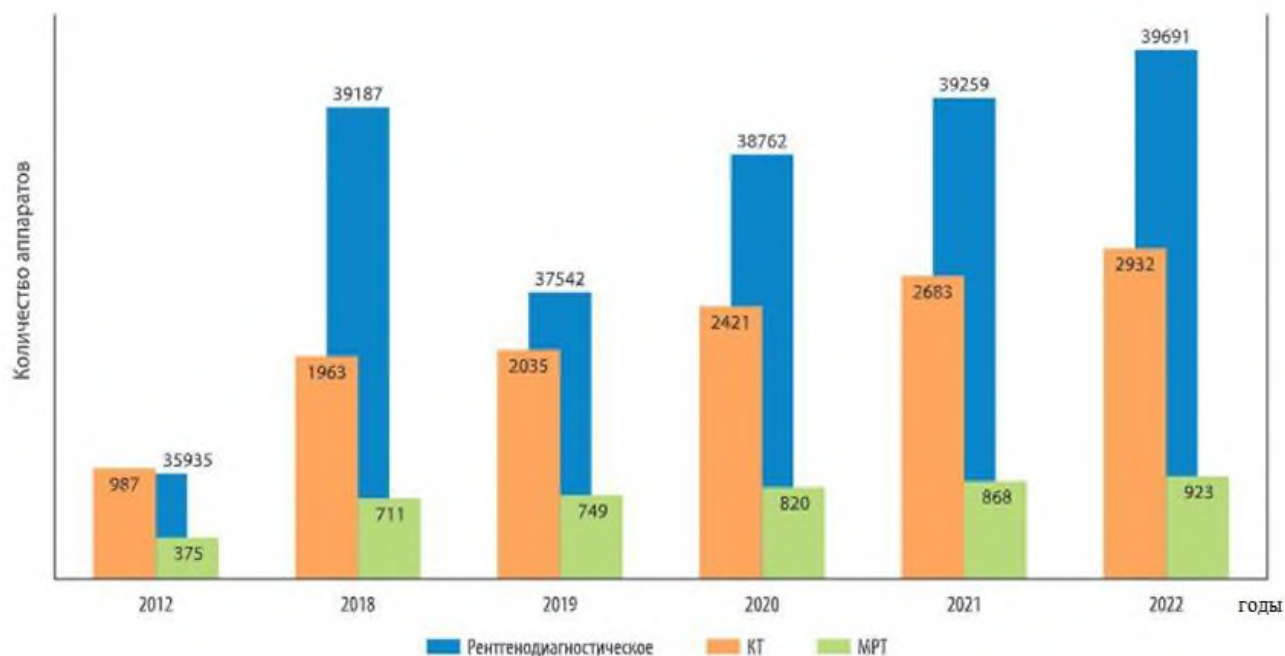


Рисунок 1.1 – Количество рентгенологического оборудования в Российской Федерации в 2012-2022 годы.

Количество рентгенодиагностических процедур за последние 10 лет выросло более чем на 30 млн. и в 2024 г. [66, 67, 69] и составило 319,7 млн процедур в год, при этом число процедур КТ увеличивается каждый год и в 2024 г. составляло 28,7 млн. Это отражает и общемировую тенденцию, например, в Китае с 2003 по 2023 г. количество КТ-томографов увеличилось в 5 раз [143]. В связи с этим меняется структура коллективных доз облучения населения: так, в России в 2024 г. доля эффективных доз облучения населения от медицинских источников составила 25,94% [69], в то время как в 2016 г. она составляла 12,84% [67] (рис. 1.2).

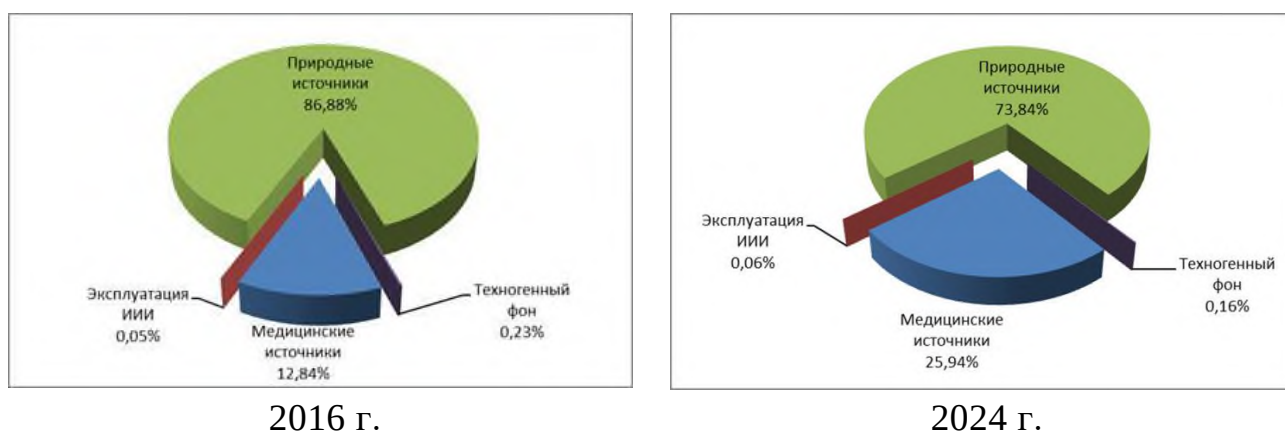


Рисунок 1.2 – Структура годовых коллективных эффективных доз облучения населения Российской Федерации

Количество проведенных процедур КТ в 2022 г. по разным субъектам Российской Федерации варьируется [68] от 973 тыс. в Свердловской области до 4 046 тыс. в Москве.

Увеличение числа КТ-исследований требует внимания к аспектам радиационной безопасности. В 2023 году средняя годовая эффективная доза облучения населения Российской Федерации составила 4,5 мЗв (в том числе от медицинского облучения – 1,17 мЗв [69]), при этом коллективная доза медицинского облучения с 2016 по 2024 г. возросла с 73,8 тыс. чел.-Зв до 177 тыс. чел.-Зв. Вклад КТ в коллективную дозу облучения населения за последние десять лет увеличился более чем в два раза: в 2012 г. он составлял 30%, а в 2024 г. – 70% (рис. 1.3).

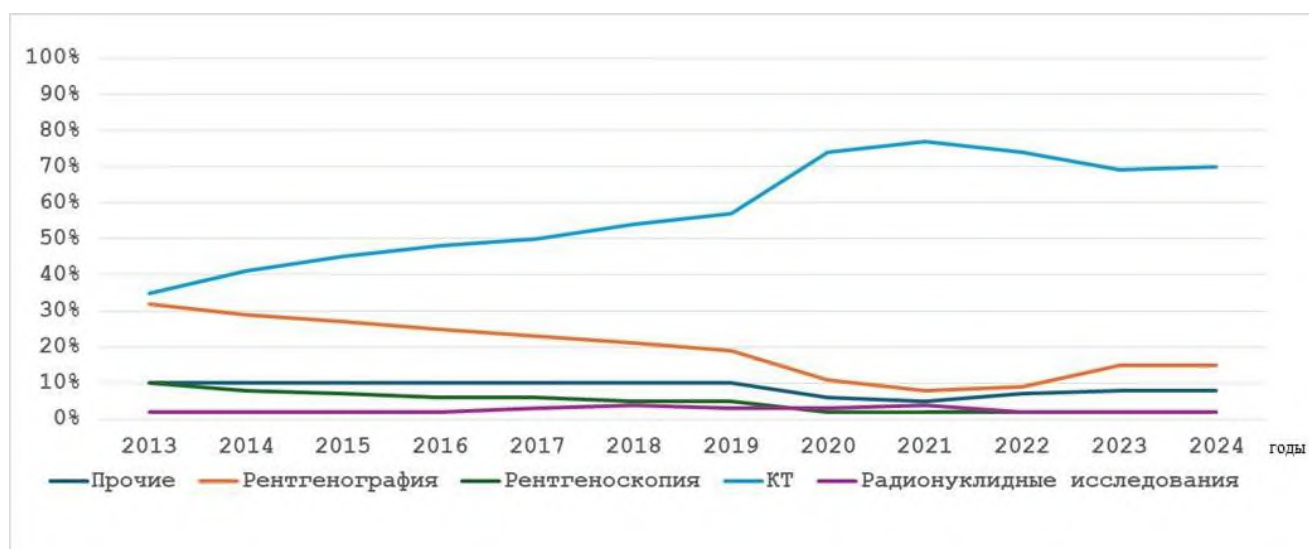


Рисунок 1.3 – Динамика вклада (%) основных видов рентгенорадиологических исследований в коллективную дозу медицинского облучения в период 2013-2024 гг.

Выбранный период (2020-2024 гг.) охватывает как пик пандемии новой коронавирусной инфекции, так и восстановление системы здравоохранения после завершения пандемии, что позволяет оценить изменения в структуре и объеме лучевых исследований. В 2022 году в связи завершением эпидемии произошло снижение вклада КТ-исследований по сравнению с 2021 г., но при этом сохраняется общая тенденция нарастания вклада КТ. В РФ годовые эффективные дозы медицинского облучения в среднем на одного жителя превысили 1 мЗв, но дозы облучения пациентов при одном КТ значительно выше (от 2 до 45 мЗв за одно исследование) [42, 80, 81, 95]. Годовой предел дозы облучения для населения согласно НРБ 99-2009 [63] составляет 1 мЗв, но в этот норматив не входит доза от медицинского облучения, так как к медицинскому облучению по НРБ 99-2009 не применяется принцип нормирования. В целях защиты пациентов от избыточного воздействия ИИ при медицинском облучении должны использоваться принципы обоснованности и оптимизации.

По результатам анализа состояния службы лучевой диагностики Минздрава РФ за 2014-2019 гг. в целом в структуре лучевых исследований КТ занимает второе место с долей 3,1% от общего количества исследований, а МРТ – третье место с долей 0,8% (рис. 1.4) [35].

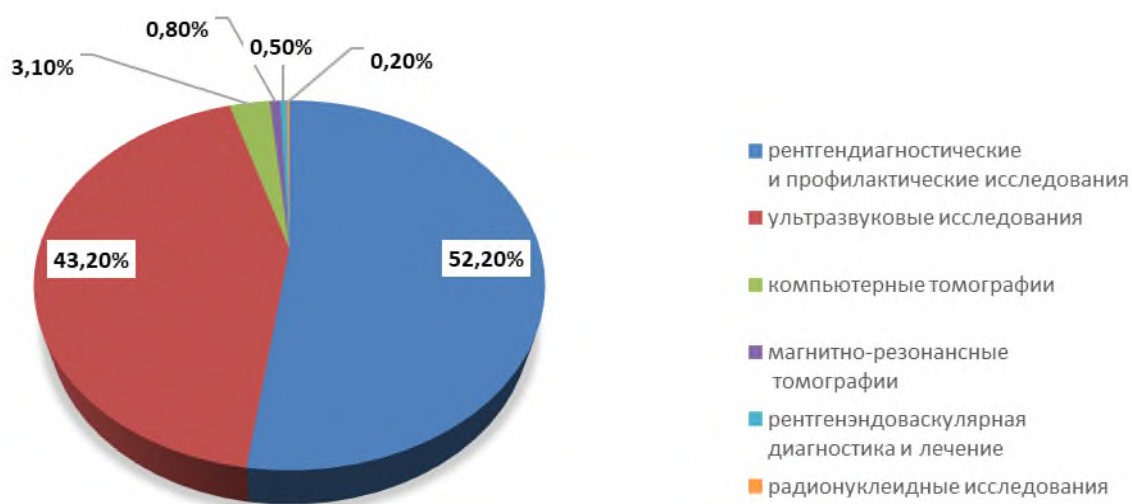


Рисунок 1.4 – Структура исследований при лучевой диагностике в Российской Федерации, 2019 г. (%).

В настоящее время в общем объеме лучевых исследований количество МРТ продолжает увеличиваться, несмотря на высокую стоимость метода. В России число проведенных МРТ-исследований с 2014 по 2019 г. возросло на 47,7% и составляло в 2019 г. 2,9 млн, что можно связать с увеличением МРТ-отделений, количество которых увеличилось на 3,5% [86]. В целом в мире наблюдается рост МРТ-исследований и единиц оборудования, в тоже время значительно увеличилось и соотношение количества сканеров к числу обследований. Например, в Северной Корее количество МРТ-исследований на 1 000 человек за период 2011-2020 гг. возросло с 23,3 до 71,7 [175].

В последние годы увеличению на 1 КТ-обследование в выбранной популяции в течение года соответствовало увеличение 0,5 обследований МРТ, что обусловлено технологическим развитием и совершенствованием протоколов МРТ-диагностики [152].

Объективный стандарт по количеству и соотношению КТ- и МРТ-исследований в рамках лечебного учреждения отсутствует, при этом подразумевается важность их непрерывной оценки. Последняя необходима как для эффективного использования оборудования и снижения лучевой нагрузки, так и для

лучшего распределения профессиональных, технологических и экономических ресурсов.

1.2 Вопросы радиационной безопасности персонала, работающего с источниками ионизирующего излучения, в производственных условиях

В связи с развитием атомной промышленности и ядерных технологий в экономике и в медицине в последние годы в Российской Федерации увеличилось количество радиационных объектов с 19 853 в 2014 г. до 25 006 в 2024 г. [69]. В 2024 году 660 радиационных объектов обслуживались ФМБА России, их учет осуществляется в форме 1-ДОЗ «Сведения о дозах облучения лиц из персонала в условиях нормальной эксплуатации техногенных источников ионизирующих излучений».

Ведется Федеральный реестр работников, которые работают с ИИИ. Численность работников (персонала), которые постоянно или временно работают непосредственно с техногенными источниками излучения на этих объектах с 2014 по 2024 г. возросло в 1,2 раза и составило 327 606 человек [66, 69]. Общая численность персонала ФМБА России, подверженного воздействию ИИИ, на этих объектах составила 161 780 человек (то есть половина от общего количества в Российской Федерации), при этом численность персонала категории А составила 83 327, а персонала категории Б – 78 453.

Основные пределы доз для персонала группы А (лица, работающие непосредственно с техногенными источниками излучения):

- эффективная доза: 20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год;
- за период трудовой деятельности (50 лет): 1000 мЗв (1 Зв).

Пределы доз для персонала группы Б (лица, находящиеся в условиях воздействия излучения, но непосредственно с ним не работающие) составляют 1/4 от пределов для персонала группы А (5 мЗв в год).

Нормативными документами по радиационной безопасности также регламентированы случаи планируемого повышенного облучения персонала,

допускаемые при ликвидации радиационных аварий – при превышении 100 мЗв за год персонал должен быть переведен на работу, не связанную с излучением. Основные пределы доз облучения не включают в себя дозы от природного и медицинского облучения, а также дозы вследствие радиационных аварий [63].

Группой авторов [15] проанализированы поступившие в ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России в 2020 г. годовые формы федерального государственного статистического наблюдения от организаций разной ведомственной принадлежности, утвержденные постановлениями Федеральной службы государственной статистики Российской Федерации (Росстата) от 18.11.2005 г. № 84: № 1-ДОЗ «Сведения о дозах облучения лиц из персонала в условиях нормальной эксплуатации техногенных источников ионизирующих излучений». Отмечено, что дозы облучения персонала по большей части существенно ниже предельно допустимых, причем превышения этих доз не зафиксировано [46, 75]. Это соответствует общероссийской тенденции – по данным Государственного доклада [69] в период с 2014 по 2024 г. средняя годовая эффективная доза персонала группы А варьирует от 1,19 до 1,13 мЗв, персонала группы Б – от 0,29 до 0,22 мЗв.

Для населения ограничения касаются лишь доз медицинского диагностического облучения - при превышении накопленной годовой эффективной дозы 500 мЗв, должны приниматься меры по дальнейшему ограничению его облучения, если проведение лучевых процедур не обусловлено жизненными показаниями [1].

В случае заболеваний или в целях углубленного медицинского обследования лица из числа персонала групп А и Б проходят обследование и лечение в медицинских организациях ФМБА России, в процессе которого могут использоваться методы лучевой диагностики.

В отдельных исследованиях [14, 44, 126] изучался вклад медицинских доз (рентгенография, флюорография и др.), однако недостаточно был изучен вклад доз облучения от КТ-исследований, так как в те годы оснащенность КТ-сканерами была низкая. В настоящее время КТ является ведущим методом в лучевой

диагностике. Поэтому вклад доз облучения от КТ в суммарную дозу (в производственных условиях и при медицинских диагностических исследованиях) облучения персонала значительно увеличился, и продолжает постоянно изучаться [82].

Таким образом, при высокой эффективности системы контроля за уровнями профессионального облучения персонала требуется научный анализ вклада в суммарную индивидуальную дозу работников радиационно опасных производств доз облучения при проведении диагностических обследований на современных КТ-сканерах.

При использовании методов лучевой диагностики важным аспектом является соблюдение радиационной защиты пациентов. При этом необходимо учитывать, что принцип нормирования (в соответствии с пунктом 5.4.1 НРБ-99/2009) для медицинских исследований не применяется, и в качестве направлений снижения доз облучения пациентов при лучевой диагностике могут использоваться только принципы оптимизации и обоснованности. Для соблюдения принципа оптимизации разрабатываются референтные диагностические уровни (РДУ) для КТ каждой анатомической области – уровни доз облучения для каждой анатомической области сканирования, средние по региону/стране, превышение которых не рекомендуется [79].

1.3 Методы контроля доз облучения пациентов при КТ-исследованиях

Контроль за дозами облучения пациентов при компьютерной томографии очень важен [61, 164, 190], так как в последние годы в России и в зарубежных странах значительно увеличивается количество КТ-исследований как в целом, так и в расчете на одного пациента [19]. Каждое такое исследование сопровождается облучением в дозах выше, чем установленные НРБ-99/2009 (1 мЗв) для населения в год. Особенно высоки дозы облучения при КТ сочетанных областей тела. Такая тенденция приводит к увеличению популяционной дозы облучения населения и рисков отдаленных радиационных последствий у пациентов. Методы периодического контроля за соответствием доз облучения при

рентгенологических процедурах установленным референтным РДУ, в том числе при КТ, определены в методических документах [36, 60, 79].

1.3.1 Дозиметрия при КТ-исследованиях с использованием стандартных фантомов

Для оценки доз облучения при компьютерной томографии используются данные калибровочных измерений (1 раз в 2 года) с использованием стандартных акриловых дозиметрических фантомов (рис. 1.5) для головы диаметром 16 см и для туловища диаметром 32 см шириной 14 см с отверстиями для дозиметров в центре и в четырех периферических точках на 0° , 90° , 180° и 270° на расстоянии 1 см от края. В отверстиях фантома размещаются детекторы излучения, по показаниям которых производителем рассчитываются значения CTDI для анатомических зон сканирования. Порядок использования данных фантомов указан в международных рекомендациях [165] и отечественных методических документах по дозиметрии при КТ [60]. Контролируемыми показателями являются CTDIvol (мГр) и DLP (мГр·см).

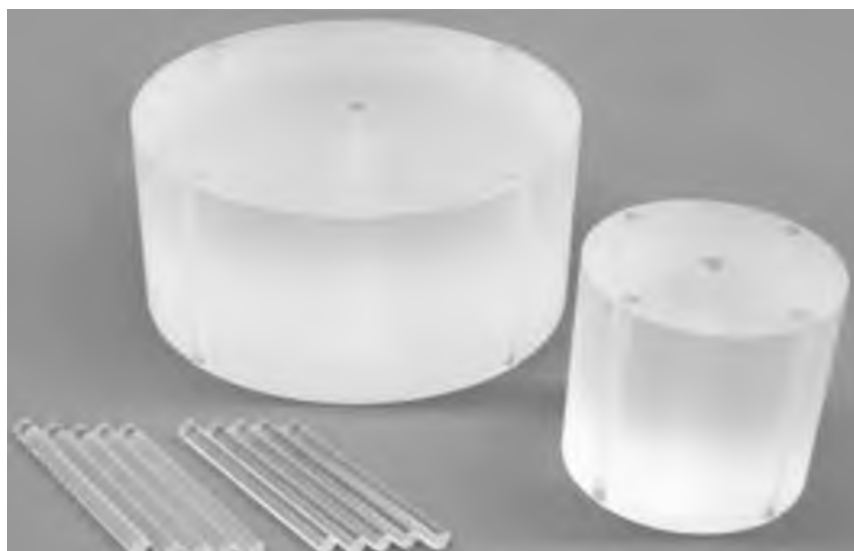


Рисунок 1.5 – Стандартные акриловые дозиметрические фантомы для контроля доз при КТ диаметром 16 см и 32 см, материал – акрил.

CTDIvol (мГр) – (Computed Tomography Dose Index, компьютерно-томографический индекс дозы) – дозиметрический параметр, измеряемый с использованием стандартных фантомов, который отражает среднюю

поглощенную дозу за один оборот рентгеновской трубки. Его величина формируется с учетом параметров протокола (напряжение трубки, сила тока, время ротации трубки, толщина среза), а также конструктивных особенностей сканера и при этом практически не зависит от анатомии конкретного пациента.

DLP (мГр·см) – (Dose Length Product, произведение поглощенной дозы на длину сканирования) – расчетный параметр, вычисляемый путем умножения CTDIvol (мГр) на протяженность (см) сканируемой области тела и отражает дозу облучения пациента при исследовании.

1.3.2 Контроль дозы облучения при КТ-исследованиях по параметрам с консоли КТ-аппарата

В повседневной практике отделений и центров лучевой диагностики регистрируются и заносятся в формы документов пациента и в базы данных медицинской организации дозиметрические показатели с консоли КТ-аппаратов – CTDIvol (мГр) и DLP (мГр·см). Значения CTDIvol для областей сканирования, которые выводятся на консоль КТ-сканера, устанавливаются не реже одного раза в 2 года в соответствии с СанПиН 2.6.1.1192-03 [1] на основании метрологических измерений на стандартных фантомах.

1.3.3 Контроль дозы облучения при КТ-исследованиях с использованием антропоморфного тканеэквивалентного фантома

Для более точной оценки доз облучения пациентов при компьютерной томографии в целях дозиметрии применяются различные виды фантомов (рис. 1.6) [169], которые позволяют воспроизводить действие ионизирующего излучения на ткани человека.

Тканеэквивалентные фантомы (рис. 1.6 а), представляют собой модели, изготовленные из материалов, физические характеристики которых (плотность, эффективный атомный номер, коэффициенты ослабления) максимально приближены к соответствующим параметрам биологических тканей. Такие фантомы применяются при калибровке дозиметрической аппаратуры, для оценки распределения доз в различных условиях облучения и разработки

оптимизированных протоколов компьютерной томографии. В качестве материалов для их изготовления используются специальные композиции на основе эпоксидных смол, полиэтилена, полистирола или акриловых пластмасс, модифицированных добавками для имитации мягких тканей, костной структуры и легочной ткани. Наиболее распространенными являются гомогенные фантомы мягких тканей, а также многослойные фантомы, содержащие эквиваленты различных типов тканей, что позволяет моделировать неоднородности анатомической структуры и исследовать влияние различной плотности тканей на распределение дозы облучения.

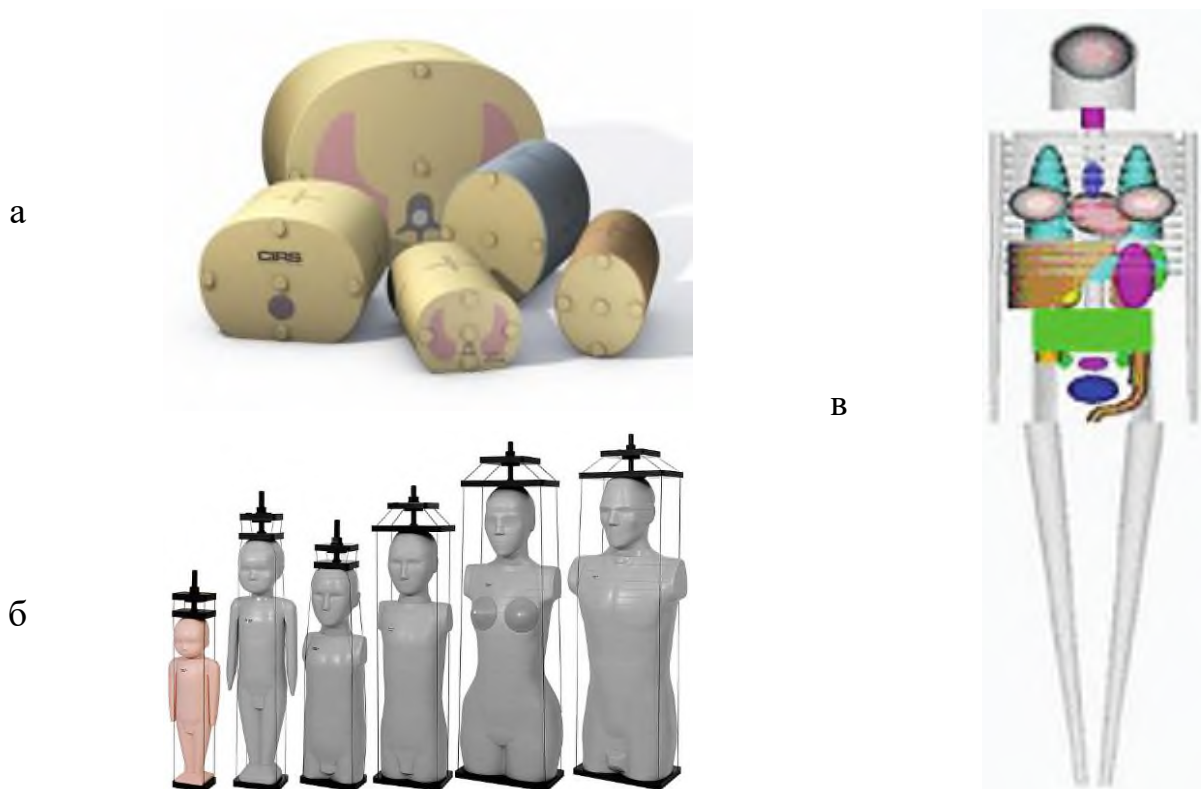


Рисунок 1.6 – Фантомы для дозиметрии при компьютерной томографии [169]:

а – тканеэквивалентный, б – антропоморфный тканеэквивалентный,
в – математический воксельный.

Более сложным типом являются антропоморфные фантомы (рис. 1.6 б), которые воспроизводят анатомическое строение человеческого тела. Они состоят из отдельных секций или срезов, в которых моделируются различные органы и ткани, включая костную ткань, мягкие ткани и легкие. Внутри таких фантомов

предусмотрены специальные каналы для размещения дозиметрических детекторов, что позволяет проводить измерения органных доз облучения при различных диагностических процедурах. Одним из наиболее известных антропоморфных фантомов является фантом типа Alderson RANDO, широко применяемый в исследованиях по радиационной защите и медицинской дозиметрии. Более современные модели, такие как фантомы серии ATOM (CIRS), разработаны для имитации анатомии пациентов различных возрастных групп и используются как в диагностической радиологии, так и в радиотерапии. Применение антропоморфных фантомов позволяет получить более точную информацию о распределении доз в организме человека. Это используется при валидации методов расчета органных доз и разработке рекомендаций по радиационной защите.

С развитием вычислительных методов в последние годы широкое распространение получили компьютерные или математические (вычислительные) фантомы, основанные на воксельных моделях человеческого тела (рис. 1.6 в). Такие фантомы создаются на основе медицинских изображений (КТ или МРТ) и используются в расчетах методом Монте-Карло [145, 149, 170, 180, 181, 193] для моделирования переноса излучения и оценки органных доз при различных диагностических процедурах. Примером таких моделей являются референсные вычислительные фантомы Международной комиссии по радиологической защите, разработанные для взрослых мужчин и женщин, описанные в ICRP Publication 110 [165]. Использование математических фантомов позволяет существенно повысить точность оценки дозы облучения и радиационных рисков, поэтому они часто применяются при разработке программ расчета доз медицинского облучения [169, 190].

Таким образом, тканезквивалентные фантомы, антропоморфные модели и вычислительные фантомы являются основными инструментами экспериментальной и расчетной дозиметрии в диагностической радиологии. Их использование позволяет моделировать взаимодействие ионизирующего излучения с тканями организма, оценивать органные и эффективные дозы

облучения и разрабатывать подходы к оптимизации применения методов лучевой диагностики. Эти методы признаются достаточно точными по сравнению со стандартными дозиметрическими фантомами (рис. 1.5), но крайне трудоемкими, поэтому в повседневной практике контроля доз облучения пациентов при КТ-исследованиях они не применяются. Поэтому врачи-рентгенологи для учета эффективной дозы облучения при КТ каждой анатомической области используют показания на консоли КТ-сканера, в частности величину DLP (dose-length product – произведение дозы на длину сканирования), по которой вычисляется E (эффективная доза) с применением коэффициентов пересчета для конкретных анатомических областей [36].

Для корректности оценки и учета доз облучения всех пациентов, особенно пациентов из числа персонала, работающего с источниками ионизирующего излучения, важно периодически проводить оценку эффективной дозы на основе суммы доз облучения органов и тканей, зарегистрированных методом фантомной дозиметрии. Это позволит сопоставить результаты фантомной дозиметрии и оценки доз облучения по показателям DLP на консоли КТ-сканера. Однако такие сопоставительные исследования встречаются крайне редко и не отражают особенности КТ-сканеров, применяемых в настоящее время в центре лучевой диагностики ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России.

1.4 Применение референтных диагностических уровней

Как было показано выше, при медицинских обследованиях как населения, так и персонала предприятий, работающих с техногенными источниками ионизирующего излучения, в последние годы увеличивается количество лучевых методов диагностики, при этом большая их доля приходится на компьютерную томографию. Одним из направлений по снижению медицинского облучения является принцип оптимизации, который осуществляется путем внедрения в практику референтных диагностических уровней (РДУ) [9, 105, 126]. РДУ являются мерой сравнения для оценки того, не является ли уровень облучения пациентов на выбранном аппарате для рентгеновской или радионуклидной

диагностики аномально высоким для рассматриваемого рентгенорадиологического исследования. РДУ – это значение, численно равное 75-му перцентилю распределения стандартной дозы (СД) при лучевой диагностике в медицинских организациях региона или страны.

Цель РДУ заключается в том, чтобы помочь избежать такой дозы облучения пациента, которая не способствует (избыточна) клинической цели медицинской задачи визуализации [105]. Это достигается сравнением среднего или другого соответствующего значения доз облучения при КТ, определяемых у референтной группы пациентов или референтного фантома с численным значением региональных или национальных РДУ [47, 61, 94].

Как указывается в методических рекомендациях [79] в медицинских организациях следует каждый год проводить анализ дозовых нагрузок при типичных КТ-исследованиях или после изменения протокола сканирования и сравнивать их с установленными РДУ, которые должны пересматриваться 1 раз в 5 лет. Это необходимо для внутреннего контроля качества и своевременной оптимизации протоколов исследований.

В настоящее время действует ряд нормативно-методических документов [36, 60, 79], в которых приводятся рекомендации и/или методики по определению доз облучения пациента для сопоставления их с РДУ. При расчетах используется стандартная доза (СД) облучения пациентов при КТ – среднее значение выбранной дозовой характеристики (величины DLP или эффективной дозы облучения) в репрезентативной выборке пациентов, обследованных в типовом режиме рентгенорадиологического исследования в типовом режиме работы аппарата для рентгеновской диагностики с типовым протоколом его выполнения [79].

Анализ дозовых нагрузок в медицинских организациях при типичных КТ-исследованиях и сравнение их с установленными РДУ необходимо для внутреннего контроля качества и своевременной оптимизации протоколов исследований [79]. Оценка РДУ по Москве была проведена в работе З.А. Лантух с соавт. [100], но в ней отражены только дозы при рентгенографических

исследованиях. В исследовании П.С. Дружинина с соавт. [94, 109] обобщен опыт формирования региональных РДУ для КТ-исследований преимущественно в шести регионах России (города Москва, Санкт-Петербург, Дмитровград, Озерск, а также области Белгородская и Ленинградская). По этим данным значения РДУ в величинах DLP и эффективной дозы для однофазных КТ-исследований или одной фазы многофазных КТ-исследований составили: голова – 1 200 мГр·см (2 мЗв), органы грудной клетки – 500 мГр·см (6 мЗв), органы брюшной полости – 800 мГр·см (11 мЗв), органы малого таза – 900 мГр·см (13 мЗв). Сопоставляя данные российских РДУ с другими странами (табл. 1.1) видно, что для всех областей значения российских РДУ находятся в пределах средних значений. В целом существует значительная вариабельность значений между странами, но РДУ для России оценены в 2020 г., в связи с этим, по нашему мнению, актуален пересмотр этих значений с учетом совершенствования КТ-сканеров и их программного обеспечения.

Таблица 1.1 – Референтные диагностические уровни (Е, мЗв) для КТ-исследований головы, ОГК, ОБП и ОМТ

Области исследования	Референтные диагностические уровни						
	Россия, 2020 [60]	США (US DRLs, 2016) [189]	Европа (European DRLs, 2005) [159]	Австралия (Australian National DRL, 2018) [191]	Великобритания (UK DRLs, 2011) [155, 188]	Германия, (DRW, 2016)** [184]	Иран (Iran National DRL, 2017) [185]
Голова	2	1,3	2,42	1,2	1,4	1,9	1,1
ОГК	6	5,3	11,05	4,7	7,3	5,9	3,6
ОБП	11	-	11,7	-	7,1	5,4	-
ОБП+ОМТ	11+13*	11,7	11,7+10,8*	9,0	11,2	11,9	7,9

Примечания: * – даны значения по отдельным анатомическим областям ОБП и ОМТ;

** – DRW (Diagnostische Referenz Werte).

1.5 Вычисление стандартных доз

Дозы облучения пациентов при КТ одной и той же области подвержены большой вариабельности, что затрудняет их корректное сопоставление. Так, в обзорном исследовании I. Garba с соавт. [150] была отмечена 2-3-кратная разница в их значениях для одной и той же процедуры. Это может быть связано с различиями в методах выполнения исследования (напряжение, сила тока рентгеновской трубки, протяженность области сканирования), конституциональных особенностях пациентов, методиках расчета дозы облучения и другими факторами.

В связи с этим в качестве критерия оценки дозы облучения пациентов в разных медицинских организациях широко используется стандартная доза. Для вычисления СД формируют референтную группу из пациентов с близкими физическими параметрами по массе и размерам тела, поскольку от этих параметров зависит доза облучения [47, 166, 173, 174]. В ICRP Publication 135 «Diagnostic Reference Levels in Medical Imaging» [166] также указано, что РДУ (DRLs) должны быть стандартизованы, т.е. приведены, насколько это возможно, для «пациента стандартного размера» для каждого рассматриваемого типа КТ-исследования в типичном режиме работы данного рентгеновского аппарата с типичным протоколом ее выполнения» и с учетом данных, полученных в реальной клинической практике.

Порядок вычисления СД для КТ разных анатомических областей и при разной численности КТ-исследований в медицинских учреждениях региона или страны приведен в методических рекомендациях [79, 101], которые предусматривают при проведении рентгенорадиологического исследования и/или процедуры в типовом режиме работы аппарата для рентгеновской или радионуклидной диагностики с типовым протоколом его выполнения два метода расчетов:

метод 1 – для КТ-исследования и/или процедуры каждой анатомической области оценивается среднее значение выбранной дозовой характеристики по

выборке из не менее чем 20 «стандартных» пациентов с массой тела 70 ± 5 кг по каждой возрастной группе [101];

метод 2 – при отсутствии сведений об антропометрических параметрах пациентов рассчитывают средние дозы облучения не менее чем у 50 пациентов с любой массой тела (без учета их массы тела и роста).

Однако на практике часто возникает ситуация, при которой расчет стандартных дозовых показателей по этим рекомендациям невозможен. Это связано с тем, что для ряда анатомических областей количество выполненных компьютерно-томографических исследований может быть ограниченным. В случаях, когда объем выборки составляет менее 20 исследований, возникает методическая неопределенность в отношении корректности вычисления стандартной дозы, поскольку небольшая выборка может не отражать типичный уровень дозовой нагрузки и снижает статистическую надежность получаемых показателей. Это требует разработки дополнительных методов оценки СД.

Важно подчеркнуть, что, если при расчетах СД в разных медицинских организациях будут использоваться различные статистические методы, это может обуславливать значительные различия при определении СД. Однако сравнительная оценка сопоставимости разных методов вычисления СД на одном и том же представительном контингенте пациентов до настоящего времени не проводилась, однако имеет важное практическое значение, что также определяет актуальность данного исследования.

1.6 Радиационные риски при облучении в малых дозах

Медицинское облучение занимает одно из ведущих мест в структуре источников облучения населения и является вторым по значимости фактором формирования среднего индивидуального пожизненного радиационного риска после облучения радоном и его дочерними продуктами. По данным наблюдений из государственного доклада «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2025

году» [69] в период с 2015 по 2024 г. отмечено увеличение показателя радиационного риска за счет медицинского облучения населения более чем в 2 раза – с $2,2 \cdot 10^{-5}$ в 2015 г. до $5,1 \cdot 10^{-5}$ в 2024 г. (рис. 1.7).

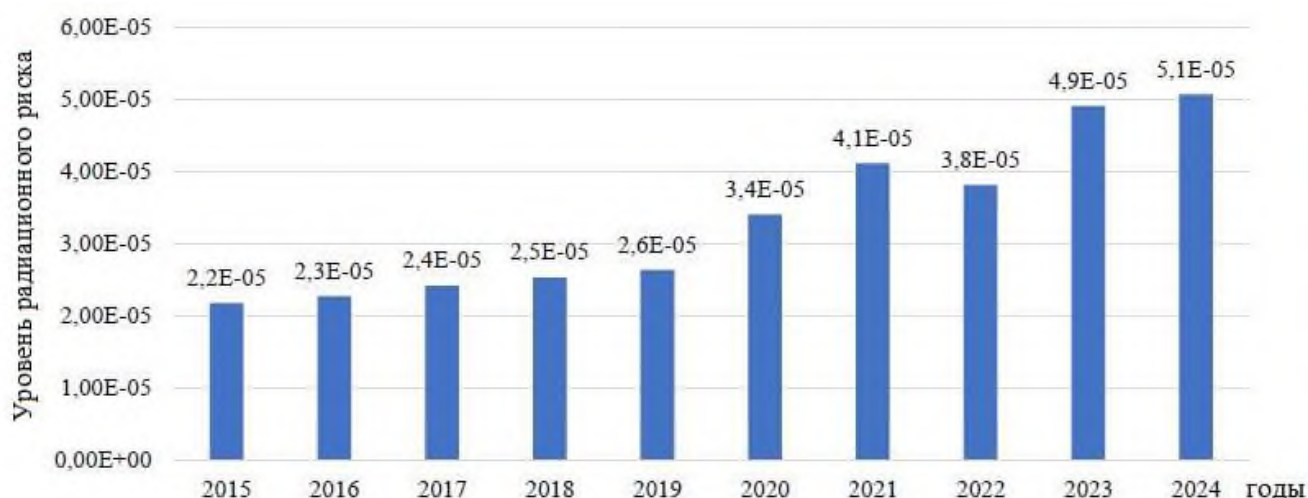


Рисунок 1.7 – Средний индивидуальный пожизненный риск в расчете на одного жителя Российской Федерации в 2014-2024 гг. за счет медицинского облучения пациентов

Увеличение радиационного риска особенно связано с ростом объема компьютерно-томографических исследований: как было показано на рисунке 1.3, вклад доз облучения от КТ в дозы от медицинского облучения увеличился с 54% в 2018 г. до 77% в 2021 г. и в последующем сохранялся на уровне 69-74% в 2022-2023 гг. [69].

Оценка радиационных рисков при воздействии малых доз ионизирующего излучения основывается на линейной беспороговой модели (ЛБП-модели), согласно которой вероятность возникновения стохастических эффектов, включая злокачественные новообразования и наследственные нарушения, прямо пропорциональна величине дозы даже в диапазоне ниже 100 мЗв [4, 104, 125]. Данный принцип принят Международной комиссией по радиационной защите и поддерживается Комитетом Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации, несмотря на существование альтернативных точек зрения о возможном наличии порогового эффекта.

Дополнительным обоснованием применения ЛБП-модели при оценке радиационных рисков являются результаты эпидемиологических исследований, в первую очередь наблюдений за когортами лиц, подвергшихся воздействию ионизирующего излучения, включая данные по выжившим после атомных бомбардировок и медицинским облучениям. Эти исследования демонстрируют линейный характер зависимости «доза–эффект» в диапазоне доз свыше 100 мЗв, а при экстраполяции в область малых доз используется предположение о сохранении данной зависимости без порогового значения. В этой связи ЛБП-модель рассматривается как консервативный и рекомендованный к применению инструмент для радиационной защиты, обеспечивающий учет потенциальных стохастических эффектов при низких уровнях облучения [104, 144, 190].

Расчеты радиационного риска (отдаленных негативных последствий облучения) могут выполняться по разным методикам [117]. В Российской Федерации для этого используются методические рекомендации МР 2.6.1.0215-20 [91], разработанные в НИИРГ им. П.В.Рамзаева. В них приведены сводные таблицы, позволяющие по эффективной дозе облучения пациента при КТ вычислить значения (табл. А-1) и градации (табл. А-2) радиационного риска с учетом обследуемой анатомической области (всего тела, головы, органов грудной клетки, органов брюшной полости), пола и возраста пациента.

Следует отметить, что несмотря на широкое признание ЛБП-модели, в научном сообществе продолжается дискуссия относительно ее применимости в области малых доз (<100 мЗв), где статистическая достоверность выявления эффектов существенно снижается. Ряд исследователей указывает на возможность наличия пороговых или даже адаптационных эффектов, однако на сегодняшний день эти гипотезы не получили достаточного подтверждения для изменения действующей системы радиационной защиты. В связи с этим МКРЗ [104-106] сохраняет рекомендации использовать ЛБП-модели при практических расчетах радиационных рисков.

В рамках оценки радиационных рисков используется также показатель коллективной дозы, представляющий собой сумму индивидуальных эффективных доз в популяции и выражаемый в человеко-зивертах (чел.-Зв). Этот показатель позволяет оценивать потенциальный популяционный риск стохастических эффектов и широко применяется при анализе последствий медицинского облучения. Использование данного показателя позволяет оценивать не только индивидуальный, но и суммарный риск для популяции, что особенно актуально в условиях массового применения диагностических процедур, таких как компьютерная томография. При этом даже относительно низкие индивидуальные дозы, умноженные на большое число обследованных лиц, могут формировать значимый вклад в коллективный радиационный риск [166, 190]. Таким образом, рост объемов КТ-исследований и связанное с этим увеличение коллективного радиационного риска определяют необходимость совершенствования подходов к оценке дозовой нагрузки на пациентов и обоснования применения методов лучевой диагностики, включая расширение использования альтернативных технологий, не связанных с ионизирующим излучением.

1.7 Программы автоматизированного расчета доз облучения и радиационных рисков при лучевой диагностике

Расчеты эффективной дозы облучения, значений и категорий риска для пациентов разного пола и возраста при КТ разных анатомических областей и протоколов КТ-сканирования – это достаточно сложный, трудоемкий и длительный процесс, который требует специальных навыков статистической обработки данных и обучения [48]. Это определяет необходимость его автоматизации. К настоящему времени есть программы автоматического расчета дозы при внутреннем облучении для взрослых и детей [108, 137, 138], однако они предназначены для расчета внутреннего облучения и с созданием вычислительного фантома, что очень сложно осуществить для врача в рутинной практике центра лучевой диагностики.

Существуют программы, выполняющие лишь конвертацию доз излучения (например, Convert-me [56]), но они не предназначены для расчета эффективной дозы при КТ и не учитывают органные коэффициенты и параметры КТ-исследования. Для автоматизированных расчетов эффективной дозы облучения пациентов при КТ разработан ряд специализированных прикладных программ и онлайн-калькуляторов, отличающихся по набору входных и выходных параметров, порядка обработки данных и целевому предназначению [17, 31, 32, 38, 103, 116]. Однако выполнено ограниченное количество исследований по сопоставлению расчетов доз облучения и уровней рисков по разным программам такого типа [136, 183]; не проводился анализ их преимуществ и ограничений, хотя это важно для их практического использования.

В рамках информационного поиска собраны сведения о прикладных программах и онлайн-калькуляторах, предназначенных для расчета эффективной дозы облучения при КТ. Критериями включения в перечень программ для их анализа являлись: 1) возможность автоматизированного расчета эффективной дозы и/или уровня радиационного риска; 2) использование методологии расчетов с наименованием рекомендованных нормативных документов; 3) открытый или условно-открытый (временный) доступ в форме онлайн доступа или мобильного приложения, либо с возможностью установки программного модуля на персональном компьютере. Для каждой программы проанализированы входные и выходные параметры, способы расчета доз, используемые коэффициенты пересчета, а также доступность и возможности применения в клинической или исследовательской практике. В результате были отобраны 7 программ, которые нами были разбиты по функциональному признаку на три кластера: 1) определение только эффективной дозы; 2) расчет органных доз и эффективной дозы; 3) определение эффективной дозы и радиационного риска. В таблице 1.2 обобщена информация о выполненной систематизации программ, входных параметрах для расчетов и выходных данных, а также об их предназначении и доступности с указанием интернет-ресурса. Интерфейс программ приведен в ПРИЛОЖЕНИИ А.

Таблица 1.2 – Сводная информация о программах для автоматизированного расчета доз облучения пациентов при компьютерной томографии

Кластеры программ	Программы-калькуляторы	Входные параметры для расчетов	Выходные параметры расчета	Предназначение и доступность	Интернет-адрес
1. Программы для расчета эффективной дозы за исследование	1.1. MEDSOFTPRO (онлайн калькулятор)	1. Поглощенная доза DLP	Эффективная доза (мЗв) за исследование (коэффициент пересчета из [63])	Пациенты и лечащие врачи, врачи рентгенологи (свободный доступ, русскоязычные), Россия	https://medsoftpro.ru/kalkulyatory/effektivnaya-doza.html
	1.2. RUSTORE для смартфона	2. Диаметр фантома 3. Возраст 4. Область исследования 5. Вид исследования			
	1.3. 3DOZ.TELEMEDIA Центра диагностики и телемедицин				
2. Программы для расчета эффективной дозы за исследование и органичных доз	2.1. NCICT: NCI dosimetry system for Computed Tomography	1. Вид фантома 2. Антропометрические данные пациента (пол, возраст, рост, вес) 3. Область исследования 4. Длина зоны сканирования 5. Производитель и марка томографа 6. Тип фильтра 7. Напряжение 8. Коллимация 9. Наличие автоматической модуляции и количество mAs 10. CTDI vol 11. Питч	1. Дозы на органы и ткани (коэффициент пересчета по [100] или [102]) 2. Эффективная доза за КТ-исследование путем суммирования доз на органы и ткани	Лечащие врачи, врачи-рентгенологи, медицинские физики (только платная подписка – 10 000 руб/год, англоязычная), США	http://www.virtualphotonics.com/our-products/virtualdose/
	2.2. VirtualDoseCT				

Продолжение таблицы 1.2

Кластеры программ	Программы-калькуляторы	Входные параметры для расчетов	Выходные параметры расчета	Предназначение и доступность	Интернет-адрес
3. Программы для расчета эффективной дозы за исследование и риска отдаленных последствий	3.1. ESCORR (НИИРГ)	1. Вид исследования 2. Область исследования 3. Наличие контраста 4. Пол [Gender] 5. Возраст 6. Количество исследований	1. Средняя индивидуальная эффективная доза (рассчитана на основе суммарных по органам с коэффициентом из [102]) 2. Среднее число потерянных лет здоровой жизни, взвешенных с учетом нетрудоспособности, представляет собой метрику DALY 3. Средний риск развития злокачественных новообразований с поправкой на степень тяжести заболевания, обозначенный в приложении как DAR 4. Категория риска 5. История исследований 6. Предупреждает о возрастных ограничениях при исследованиях]	Пациенты, лечащие врачи, врачи-рентгенологи, специалисты радиационных регистров персонала (тестовая версия, в планах свободный доступ русско- и англоязычная), Россия	Тестовый режим разработчика по запросу http://www.niirg.ru/
	3.2. X-RAY RISK (онлайн-калькулятор)	1. Вид исследования 2. Пол 3. Возраст 4. Количество исследований 5. Поглощенная доза (DLP)	1. Средняя индивидуальная эффективная доза (на основе собственной базы данных средних значений) 2. Дополнительный риск развития онкологических заболеваний 3. Базовый риск развития онкологических заболеваний 5. История исследований	Пациенты, лечащие врачи, врачи-рентгенологи, (свободный доступ, англоязычный), США	https://www.xrayrisk.com/about.php

1.7.1 Программы для расчета только эффективной дозы

Программы кластера 1 вычисляют эффективную дозу облучения (E , мЗв) как сумму взвешенных поглощенных доз во всех органах и тканях человека с учетом взвешивающих коэффициентов для видов излучений, характеризующих их проникающую способность (для рентгеновских лучей этот коэффициент равен 1), и взвешивающих коэффициентов, характеризующих радиочувствительность конкретных тканей и органов.

Расчет E при КТ выполняется на основе значения DLP, полученного с консоли КТ-сканера, с последующим применением коэффициентов пересчета для конкретных анатомических областей в соответствии с данными из МУ 2.6.1.2944-11 (ред. от 30.10.2019) [36]. Пользователь выбирает возрастную категорию пациента, диаметр фантома (16 или 32 см) и область сканирования, после чего программы автоматически рассчитывают E (мЗв).

1.1. *MEDSOFTPRO* – калькулятор расчета эффективной дозы за КТ-исследование (онлайн калькулятор) [141] позволяет рассчитать E , используя поглощенную дозу (DLP) за КТ-исследование (рис. А-1).

1.2. *RUSTORE* – калькулятор для смартфона [38] разработан в виде мобильного приложения для смартфона. Интерфейс, вводимые и выводимые параметры аналогичны программе 1.1. (рис. А-1).

1.3. *Онлайн-калькулятор* расчета эффективной дозы Центра диагностики и телемедицины *3DOZ.TELEMEDAI* (рис. А-2) [32] разработан специалистами ГБУ «Центр диагностики и телемедицины Департамента здравоохранения г. Москвы» для оперативной оценки эффективной дозы при различных рентгенорадиологических исследованиях, включая компьютерную томографию, рентгенографию, маммографию и флюорографию.

1.7.2 Программы для расчета органных доз и эффективной дозы

Программы кластера 2 обеспечивают более детальную оценку доз облучения, чем программы кластера 1, так как позволяют рассчитать поглощенные дозы в отдельных органах и тканях с последующим определением

эффективной дозы облучения пациента. Простые программы-калькуляторы кластера 1 при оценке эффективной дозы облучения используют коэффициенты пересчета DLP с консоли КТ-сканера, которые получают путем усреднения коэффициентов для разных органов и тканей, входящих в обследованную анатомическую зону. В отличие от них программы кластера 2 моделируют распределение дозы внутри тела пациента с учетом его анатомических параметров и физических характеристик протокола КТ-исследования. В качестве исходных данных в программу вводятся напряжение рентгеновской трубки, ток, коллимация, длина зоны сканирования, тип томографа, CTDIvol и параметры пациента (пол, возраст, рост, масса тела). При преобразовании органных доз в эффективную используются коэффициенты радиочувствительности органов и тканей согласно рекомендациям или МКРЗ-60 или МКРЗ-103 [104, 106].

К кластеру 2 относятся программы NCICT и VirtualDoseCT, разработанные на основе методов Монте-Карло и анатомически реалистичных цифровых фантомов. Они позволяют учитывать индивидуальные особенности пациентов, формируют отчеты с таблицами и графическим представлением дозовых распределений по органам, могут использоваться для научных исследований, дозиметрических верификаций и разработки диагностических референтных уровней. Однако эти программы доступны по запросу организаций или с оплатой лицензии на использование.

2.1. *Программа NCICT* (NCI dosimetry system for Computed Tomography) создана Национальным институтом рака США (National Cancer Institute, NCI) [17]. NCICT функционирует как автономное программное обеспечение, не требующее подключения к сети и передачи данных на внешний сервер. В программе могут быть реализованы два режима работы: 1) интерактивный ввод параметров одного пациента и КТ-сканера и получение оперативных расчетов доз на органы (рис. А-3); 2) одновременный расчет доз облучения большого количества пациентов на основании импортируемого текстового файла с параметрами исследований. Система была валидизирована сравнением расчетных данных с

экспериментальными измерениями доз в физических фантомах с использованием дозиметров.

2.2. Программа *VirtualDoseCT* [103] предназначена для расчета доз облучения при компьютерной томографии, разработана компанией Virtual Phantoms, Inc. (США) совместно с Rensselaer Polytechnic Institute. Рекомендуется для расчета эффективных доз облучения пациентов при лучевой терапии и компьютерной томографии. Пример интерфейса программы *VirtualDoseCT* при оценке дозы облучения при КТ органов брюшной области и малого таза представлен на рисунке А-4. Видно, что при вводе исходных данных есть возможность выбора сканера или введения значения CTDIvol, а также взвешивающих коэффициентов тканей по МКРЗ-60 или по МКРЗ-103.

1.7.3. Программы для расчета эффективной дозы облучения и радиационных рисков

К кластеру 3 относятся программы, предназначенные не только для информации об эффективной дозе, но и для оценки радиационных рисков, связанных с проведением медицинских рентгенорадиологических исследований. Эти программные решения ориентированы на более глубокий анализ потенциальных последствий облучения, включая вероятностную оценку развития злокачественных новообразований, потери лет здоровой жизни и формирование интегральных показателей радиационного ущерба.

К этой группе относятся: программа ESCORR (Estimation and Comparison of Radiation Risks) [116] и международный онлайн-калькулятор X-RAY RISK (США) [31]. Эти системы позволяют вводить параметры пациента (возраст, пол), вид и количество исследований, а также значения эффективной дозы или DLP, после чего рассчитываются индивидуальные показатели риска.

3.1. В программе *ESCORR* (Калькулятор по Патенту Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены им. П.В. Рамзаева (НИИРГ) [116] использована модель радиационного риска, описанная в публикации МКРЗ-152. Представлено значение Е как справочное в

соответствии с возрастом и видом исследования, не отражая сложность исследования и дозу для конкретного протокола. Дополнительно к значениям E вычисляются показатели DALY (Disability-Adjusted Life Years) – число лет здоровой жизни, утраченных вследствие облучения, и DAR (Detriment-Adjusted Risk) – риск развития злокачественных новообразований с поправкой на тяжесть заболевания. Программное приложение имеет двуязычный интерфейс (русский/английский) и обеспечивает формирование отчетов по одиночным КТ и по сериям КТ у одного пациента (рис. А-5).

3.2. *X-RAY RISK* (онлайн-калькулятор, США) [31] (рис. А-6) позволяет оценить дополнительные риски развития онкологических заболеваний при различных видах лучевых исследований и лучевой терапии, основанные на данных BEIR VII согласно A. Bahadori [146] и других авторов [157] с использованием коэффициентов для анатомических областей по W. Huda с соавт. [163]. По возрасту и полу пациента, значению DLP, а также по средним значениям дозы за исследование рассчитывается дополнительный, базовый, суммарный риски и формируется наглядный отчет.

Предлагаемая группировка программ-калькуляторов для автоматизации расчетов доз при КТ-исследованиях на три кластера обусловлена различиями их функциональных возможностей и методологических подходов к расчету доз и радиационных рисков.

Программы первого кластера выполняют только пересчет значения DLP, полученного с консоли томографа, в эффективную дозу на основе усредненных коэффициентов, без учета индивидуальных особенностей пациента и параметров исследования.

Ко второму кластеру отнесены программы, в которых реализованы физические и анатомические модели (цифровые фантомы) и расчет органных доз с использованием методов Монте-Карло, что позволяет получать более точные значения эффективной дозы. Программы третьего кластера отличаются расширенным функционалом – они рассчитывают не только дозу облучения, но и показатели радиационного риска (DALY, DAR, дополнительные и базовые риски

с использованием моделей). Такая классификация отражает усложнение от первого к третьему кластеру способов расчета, возрастание аналитических возможностей и отличия в применимости программ в клинической и исследовательской деятельности.

Для каждого из трех кластеров этих программ характерны определенные достоинства и ограничения.

Программы первого кластера – просты в использовании, не требуют специальной медицинской подготовки, работают в открытом доступе, не требуют установки или регистрации, доступны на русском языке, позволяют оперативно оценить уровень эффективной дозы по данным DLP с консоли КТ-аппарата, что упрощает внедрение в клиническую практику.

Программы второго кластера – обеспечивают высокую точность расчетов за счет учета параметров сканирования и анатомических особенностей пациента, используют анатомически реалистичные фантомы (взрослые, дети, беременные женщины), реализуют моделирование на основе Монте-Карло, что обеспечивает верифицированность данных, поддерживают экспорт отчетов о нескольких исследованиях, что удобно для научных исследований и пополнения регистров, применимы в научных целях при оптимизации протоколов КТ-сканирования.

Программы третьего кластера – представляют наиболее высокий уровень аналитической детализации и информативности, обеспечивая расчет не только дозовых, но и медико-демографических показателей радиационного ущерба. Они позволяют оценивать показатели DALY (потерянных лет здоровой жизни), DAR (вероятности злокачественных новообразований) и категорий риска, наглядно отображают отдаленные последствия облучения с расшифровкой для пациентов, что особенно важно для работников радиационных производств и пациентов с повторными исследованиями, сохраняют данные по серии исследований и формируют отчеты с агрегированными показателями риска; оба решения основаны на международных моделях риска, что обеспечивает сопоставимость результатов исследований.

В целом анализ позволяет полагать, что применение автоматизированных программ значительно облегчает и ускоряет учет доз облучения пациентов при КТ и крайне важен при планировании и обосновании лечением врачом и врачом-рентгенологом метода лучевой диагностики, особенно пациентов, из числа персонала, работающего с источниками ИИ. Сравнение прикладных программ показало, что простые программы-калькуляторы кластера 1 позволяют быстро ориентироваться в уровне дозы, но не дают информации об органных дозах и уровнях радиационных рисков. Профессиональные программы кластера 2 демонстрируют высокую точность по оценке органных и индивидуальных доз, позволяют применять их для сопоставления доз при разных протоколах сканирования, их оптимизации, однако свободный доступ к ним отсутствует, и они не адаптированы к национальным нормативам Российской Федерации.

Достоинства программ кластера 3 в том, что для каждого КТ-исследования доступна оценка дозы облучения, уровня радиационного риска. Это расширяет возможности врача-рентгенолога по выбору параметров протокола КТ-исследования.

К ограничениям на использование этих программ можно отнести: отсутствие возможности сохранять результаты КТ-исследований в базу данных и интегрировать их с архивными базами данных (Реестрами) лечебно-профилактического учреждения для возможности учета накопленных доз облучения у пациентов, отсутствие взаимосвязи с клиническими информационными системами, разрозненность методик и коэффициентов, ограниченный доступ к профессиональным программам-калькуляторам (требуется покупка лицензии на использование программы), англоязычный интерфейс у большинства зарубежных программных продуктов. В настоящее время идет активное создание локальных регистров для мониторинга вклада медицинского облучения у работников, профессионально связанных с техногенными ИИИ [122, 123], но они не обеспечивают анализа с учетом применения неионизирующих методов лучевой диагностики, таких как МРТ.

Кроме того, в программах-калькуляторах нет единого подхода к преобразованию DLP в эффективную дозу, что обуславливает разброс значений E до 40%, а также использованы разные коэффициенты пожизненного риска смерти, что приводит к сложности сравнения уровней радиационного риска. В настоящее время в Российской Федерации принято использовать оценки радиационного риска у пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований согласно МР 2.6.1.0215-20 [91] (табл. А-1, А-2). Остается недостаточно разработанным вопрос рекомендаций врачу по выбору метода визуализации, если предполагаемая доза облучения пациента при КТ-исследовании может быть достаточно большой. В программе ESCORR (НИИРГ) [116] есть указания лишь на возрастные ограничения к назначению КТ. Это осложняет врачу-рентгенологу выбор конкретной программы калькулятора в зависимости от цели лучевой диагностики.

В связи с этим актуальным направлением исследований становятся вопросы разработки отечественной программной платформы, учитывающей медицинские дозы, накопленные при разных видах лучевой диагностики, а также суммарные дозы персонала, работающего с источниками ИИ, что особенно важно для пациентов, направленных на лучевые методы исследования из числа работников радиационных производств. Такая система могла бы стать инструментом для реализации принципа оптимизации и обоснования «as low as reasonably achievable» (ALARA) в медицинской радиологии и радиационной гигиене [43]. Требуется системный подход, в том числе к обоснованности применения КТ и к расширению использования альтернативных методов, исключающих радиационное воздействие, таких как МРТ.

1.8 Сравнение диагностических возможностей КТ и МРТ-исследований

В ряде исследований, посвященных состоянию здоровья работников, подвергающихся воздействию ионизирующего излучения [12, 23, 25, 124, 132, 140], показано, что структура заболеваемости данной категории имеет свои особенности по сравнению с общей популяцией. Установлено, что у персонала,

работающего с техногенными источниками ионизирующего излучения, преобладают хронические неинфекционные заболевания, в том числе патология сердечно-сосудистой системы, органов пищеварения и эндокринные нарушения, а также злокачественные новообразования.

Отмечается, что выявляемая заболеваемость во многом зависит от регулярности медицинского наблюдения и применения инструментальных методов диагностики, включая лучевые методы. Это позволяет диагностировать патологию на ранних стадиях, но, с другой стороны, связано с более частым прохождением профилактических и углубленных медицинских обследований.

Необходимость проведения сопоставительного анализа возможностей визуализации патологии на КТ и МРТ по современным отечественным методическим рекомендациям, а также опыт собственной диагностической практики определяют актуальность данного исследования, особенно в контексте реализации принципа обоснованности при обеспечении радиационной безопасности в процессе лучевой диагностики пациентов из числа профессионалов, работающих с источниками ИИ. При этом важно оценить возможности для расширения применения МРТ в рамках клинических стандартов в практике центра лучевой диагностики ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России.

Под расширением возможностей применения МРТ подразумевается обоснование выбора этого метода вместо КТ в клинических ситуациях, где оба метода указаны в методических рекомендациях как допустимые варианты. Оценка визуализации при КТ и МРТ в клинических примерах проводилась в соответствии со стандартными подходами [21, 28, 41, 88, 93, 111, 112, 158-160].

Для изучения возможности замены КТ на МРТ была систематизирована и сопоставлена диагностическая информативность всех методов лучевой диагностики (табл. А-3): обзорной рентгенографии, КТ и МРТ, радионуклидных методов, ультразвуковой диагностики по основным анатомическим областям на основе рекомендаций по методам лучевой диагностики [28]. Анализ данных рекомендаций показал следующие особенности применения методов КТ и МРТ диагностики по анатомическим областям.

Головной мозг [28]

КТ без контрастного усиления является методом выбора при черепно-мозговой травме, подозрении на внутричерепное кровоизлияние, острых нарушениях мозгового кровообращения (особенно в первые часы инсульта), а также при отеке головного мозга и костных повреждениях основания черепа. Высокая доступность и оперативность выполнения делают КТ незаменимой в неотложной неврологической практике. Контрастное усиление (КУ) при КТ показано при подозрении на объемные образования, абсцессы, тромбоз венозных синусов, осложнения инфекционного характера, а также позволяет визуализировать сосуды головного мозга и выявлять аневризмы, стенозы и артериовенозные мальформации.

МРТ демонстрирует высокую чувствительность к ишемическим изменениям головного мозга. Метод является предпочтительным при подозрении на воспалительные заболевания (энцефалиты, менингиты), демиелинизирующие процессы (например, рассеянный склероз), опухоли головного мозга, эпилепсию, а также нейродегенеративные заболевания. Особую значимость МРТ приобретает при диагностике патологий задней черепной ямки, гипофиза, орбит, черепно-мозговых нервов и сосудистых мальформаций. Протоколы ангио- и венографии (MRA/MRV) позволяют визуализировать артериальные и венозные структуры без использования контрастного вещества.

Органы грудной клетки [28]

Наибольшую информативность среди методов лучевой диагностики демонстрирует компьютерная томография, низкодозная КТ (НДКТ), рекомендованная в качестве метода скрининга рака легкого у лиц из групп риска. КТ с КУ применяется при подозрении на опухолевое поражение плевры и средостения, а также при тромбоэмболии легочной артерии.

МРТ в визуализации органов грудной полости используется ограниченно - преимущественно при оценке структур средостения. Это обусловлено низкой плотностью протонов в воздухосодержащих тканях и высокой чувствительностью МРТ к артефактам от дыхательных движений.

Сердце и сосуды [28]

КТ является высокоэффективным методом при визуализации сосудистых структур. Она применяется для оценки степени стеноза коронарных артерий, выявления кальцинатов (coronary calcium scoring), анатомических особенностей аорты, легочной артерии и вен. КТ с КУ показана при подозрении на тромбоэмболию легочной артерии, расслаивающую аневризму, врожденные аномалии сосудов, а также для оценки постоперационных изменений.

МРТ сердца обеспечивает оценку морфофункционального состояния миокарда, включая его сократимость, наличие фиброза и отека. МРТ используется при диагностике миокардитов, различных форм кардиомиопатий, врожденных пороков сердца и ишемической болезни сердца. Применение МР-ангиографии позволяет получить информацию о сосудистой анатомии без использования контрастного вещества, что особенно важно при наличии противопоказаний к контрастированию.

Органы брюшной полости [28]

КТ с КУ остается методом выбора при острых болях в животе неясного генеза, подозрении на аппендицит, дивертикулит, кишечную непроходимость, ишемию кишечника, а также при оценке абсцессов и онкопатологии. КТ позволяет визуализировать не только органную патологию, но и сосудистые изменения, жидкость, газ, инородные тела.

МРТ в абдоминальной диагностике демонстрирует высокую эффективность в подострой и плановой диагностике, применяется при визуализации печени при хроническом гепатите, жировой инфильтрации, гемохроматозе, а также при дифференциации очаговых образований (гемангиом, ФНГ – фокально-нодулярной гиперплазии, аденом, ГЦК – гепатоцеллюлярной карциномы), как альтернатива КТ при противопоказаниях к йодсодержащим контрастам. Высокая чувствительность и специфичность метода МРТ показана при выявлении кистозных образований поджелудочной железы [45]. Специализированные протоколы – МР-холангиография и МР-энтерография – являются ценными

инструментами в диагностике патологии желчных протоков и воспалительных заболеваний кишечника.

Забрюшинное пространство – почки и надпочечники [28]

КТ без КУ является золотым стандартом при диагностике мочекаменной болезни, обеспечивая высокую чувствительность в выявлении камней и возможность оценки их динамики. Контрастная КТ (в частности, КТ-урография) незаменима при подозрении на опухоли, травмы, обструктивные изменения и аномалии развития. Она позволяет получить подробное изображение анатомии мочевых путей и их выделительной функции на всем протяжении. КТ также эффективно используется для оценки надпочечников при подозрении на объемные образования, включая аденомы, карциномы, феохромоцитомы и метастатическое поражение.

МРТ применяется в случае противопоказаний к КТ с контрастом, а также как дополнительный метод в сложных клинических ситуациях – при оценке кистозных образований, воспалительных заболеваний, опухолей, воспалительных изменений. МРТ обладает преимуществами в дифференциации липидсодержащих опухолей почек и надпочечников. Контрастная МР-урография позволяет визуализировать мочевые пути на всем протяжении, хотя проведение исследования требует большего времени по сравнению с КТ-урографией.

Органы малого таза – гинекология и урология [28]

КТ применяется преимущественно для оценки распространенности опухолевого процесса и травматических повреждений малого таза. В гинекологической практике ее использование ограничено, однако метод незаменим при подозрении на осложненные воспалительные процессы, при распространении злокачественных новообразований на забрюшинные структуры, а также в экстренных клинических ситуациях, например, таких, как разрыв кисты яичника при нестабильной гемодинамике.

МРТ применяется в случаях, когда требуется уточнение характера объемного образования, оценка его локального распространения и степени инвазии – при подозрении на эндометриоз, опухоли тела и шейки матки, а также

врожденные аномалии развития матки и влагалища. Метод незаменим при предоперационном планировании у пациенток с бесплодием, при оценке новообразований яичников и для дифференциации доброкачественных и злокачественных процессов. В урологии МРТ используется при диагностике рака предстательной железы, включая выполнение биопсии под комбинированным контролем МРТ и ультразвука.

Позвоночник [28]

КТ обладает высокой информативностью при визуализации костных элементов позвоночника и используется преимущественно в острых травматических ситуациях, включая высокоэнергетические повреждения, при подозрении на нестабильность сегментов, а также в рамках предоперационного планирования и диагностики деструктивных процессов, таких как туберкулезный спондилит. КТ позволяет с высокой точностью оценить состояние тел позвонков, дуг и межпозвонковых суставов.

МРТ является золотым стандартом при диагностике патологий спинного мозга, межпозвонковых дисков, связочного аппарата, а также при подозрении на опухолевые, воспалительные и инфекционные процессы, включая миелопатию, остеомиелит и эпидуральный абсцесс. МРТ применяется при дифференциальной диагностике хронических болей и компрессионно-ишемического поражения нервных корешков.

Мягкие ткани [28]

КТ имеет ограниченное применение при визуализации мягких тканей и используется преимущественно в случаях подозрения на кальцификацию, наличие плотных компонентов, костную инвазию или при невозможности проведения МРТ.

МРТ обладает максимальной контрастностью при визуализации мягкотканых структур при оценке распространенности новообразований, дифференциации доброкачественных и злокачественных процессов, а также при планировании хирургического лечения. Использование контрастного усиления в рамках МРТ позволяет визуализировать особенности кровоснабжения опухоли,

периневральное распространение, вовлечение сосудистых структур и инвазию в костные элементы.

Конечности [28]

КТ применяется при сложных или множественных переломах, особенно в мелких суставах (стопа, кисть), а также на этапе планирования остеосинтеза. Метод используется также при оценке сращения переломов и при пространственном 3D-моделировании в ортопедии.

МРТ обеспечивает точную визуализацию внутрисуставных структур – менисков, хрящевых поверхностей, связок, сухожилий и костной ткани. Метод является незаменимым при хронических болях, нестабильности суставов, спортивных травмах и в ревматологической практике. МРТ используется при остеомиелите, скрытых стресс-переломах, опухолях костей и для оценки активности воспалительного процесса в суставах.

При этом важно учитывать не только клинические рекомендации, но и характер нозологий, при диагностике которых в практике применяются и КТ, и МРТ исследования. В проанализированных материалах недостаточно сделан акцент на те области сканирования и применения контрастирования, при которых дозы облучения пациентов максимальны. Это тоже остается недостаточно изученной областью и требует дополнительного исследования.

При этом до настоящего времени не проводились оценки вклада основных классов заболеваний персонала, работающего с техногенными источниками излучения, в структуру нозологий, для которых выполняется КТ-исследования в центре лучевой диагностики, а также изучение доз облучения при этих классах нозологий у персонала дополнительно к его профессиональному облучению в производственных условиях.

1.9 Трудовые функции по описанию МРТ-исследований

В настоящее время в рамках государственной политики в сфере здравоохранения поставлена задача [118] в целях сохранения кадрового потенциала, повышения престижности и привлекательности профессий

осуществлять поэтапное совершенствование системы оценки труда работников с учетом достижения конкретных показателей качества и количества оказываемых услуг. Исследования по методологии нормирования труда проводятся для врачей разных специальностей [7, 59, 62]. Это актуально и для специальности врач-рентгенолог, в том числе для врачей-рентгенологов отделений МРТ.

Методика МРТ-диагностики сегодня занимает ключевое место среди лучевых методов визуализации и активно применяется при широком спектре патологий, что делает актуальным вопрос оценки трудовой функции на всех этапах. Анализ статистических данных за последние 4 года в клинике ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России свидетельствует об увеличении числа выполняемых МРТ-исследований в 2020-2024 гг. ежегодно на 39-46% [121], что соответствует общероссийским тенденциям модернизации диагностической инфраструктуры в медицинских организациях [20, 113]. Одновременно наблюдается сокращение времени проведения сканирования с 45-60 до 15-30 мин [27] вследствие использования современных томографов с напряженностью магнитного поля 1,5-3 Тесла и совершенствования МРТ-протоколов. Однако остается нерегламентированным вопрос нормирования времени, необходимого на подготовку врачебного заключения, в том числе с учетом сложности клинической задачи и протокола сканирования.

При перенаправлении потока пациента с КТ на МРТ резко возрастет нагрузка на врачей рентгенологов по описанию результатов исследований. Это требует проведения анализа существующей системы оценки трудовой функции врача-рентгенолога по описанию МРТ исследований и ее модификации. В действующих нормативных документах [64, 65, 71, 72, 130] отсутствуют унифицированные параметры, отражающие специфику трудовой функции врача-рентгенолога, в частности по описанию МРТ-исследований [113]. Это приводит к формальному подходу при оценке объема работы в целях нормирования и снижает мотивацию специалистов к интерпретации сложных диагностических случаев. Особенно остро проблема проявляется при переработке врачом-рентгенологом рабочего времени и при удаленной занятости. Требуются изменения

в системе оценки, в основе которой обычно используются только количество выполненных МРТ-описаний за месяц или за смену без учета их сложности, которая определяет реально трудовую функцию и время на МРТ-описание.

Методика разработки норм времени и нагрузки медицинского персонала [27] распространяется исключительно на врачей клинических специальностей, что ограничивает возможность ее применения для нормирования труда врачей-рентгенологов, учитывая специфику процессов интерпретации МРТ-изображений. В целом, вопрос расчета объективных показателей для оценки трудового вклада врачей-специалистов, в том числе врачей-рентгенологов, в интересах нормирования их труда остается недостаточно проработанным. Необходимо обосновать методы количественной оценки трудовой функции по интерпретации результатов МРТ-исследований врачами-рентгенологами на основе учета сложности выполняемых диагностических описаний и заключений. Это особенно актуально при предстоящем увеличении МРТ-исследований как метода визуализации патологии, при котором отсутствует воздействие ИИИ на пациента.

1.10 Оценка экономической эффективности от снижения дозы облучения пациентов

В современных условиях развития лучевой диагностики вопросы радиационной безопасности пациентов приобретают не только медицинское, но и экономическое значение. Реализация принципа оптимизации в радиационной защите предполагает выбор таких диагностических подходов, которые обеспечивают минимально возможную дозовую нагрузку при сохранении необходимой диагностической информативности, что в свою очередь оказывает влияние на экономические показатели системы здравоохранения.

Согласно данным государственного доклада [66], в Российской Федерации наблюдается снижение годовой коллективной дозы медицинского облучения населения со 130 тыс. чел.-Зв в 2002-2003 гг. до 70-72 тыс. чел.-Зв в 2014-2015 гг., несмотря на рост общего числа рентгенорадиологических исследований. В среднем за указанный период снижение коллективной дозы составляло около

5 тыс. чел.-Зв в год, что эквивалентно предотвращению экономического ущерба не менее 1,5 млрд рублей ежегодно. Исходя из указанных данных, экономический эквивалент снижения дозовой нагрузки составляет порядка 300-310 тыс. рублей на 1 чел.-Зв, или около 300-310 рублей на 1 чел./мЗв. Таким образом, даже незначительное снижение индивидуальной дозы облучения при массовом применении диагностических процедур приводит к существенному экономическому эффекту на популяционном уровне.

Следует отметить, что такой экономический эффект может быть достигнут за счет рационального выбора (обоснования) методов лучевой диагностики, в частности, при замене компьютерной томографии на магнитно-резонансную томографию в клинических ситуациях, где диагностическая информативность методов сопоставима. Несмотря на более высокую стоимость МРТ по сравнению с КТ [128], снижение радиационных рисков и, как следствие, потенциальных затрат, связанных с лечением радиационно-индуцированных заболеваний и с сокращением продолжительности жизни, формирует положительный экономический баланс.

Методологической основой оценки экономической эффективности мероприятий по радиационной защите является подход, при котором коллективная эффективная доза рассматривается как интегральный показатель популяционного риска. В соответствии с НРБ 99/2009, облучение в 1 чел.-Зв приводит к потенциальной потере приблизительно 1 чел.-года жизни населения, а денежный эквивалент данной потери устанавливается на уровне не менее одного годового душевого национального дохода [63].

С учетом данных Всемирного банка [8] валовый национальный доход на душу населения в Российской Федерации увеличился с 711 тыс. рублей в 2020 до 1,457 млн рублей в 2025 гг., эти значения могут использоваться в качестве ориентировочного денежного эквивалента потери 1 чел.-года жизни населения при оценке ущерба от радиационного воздействия. Это обеспечивает возможность сопоставления затрат на внедрение мероприятий по снижению дозы облучения с потенциальными экономическими потерями [96, 97].

Вместе с тем, при использовании показателя коллективной дозы необходимо учитывать ограничения данного подхода, включая неоднородность распределения доз, возрастно-половые характеристики облучаемой популяции и временной фактор реализации стохастических эффектов, что подчеркивается в рекомендациях МКРЗ-103 [104] и в публикациях ряда авторов [9, 10, 117].

Заключение по главе I

В условиях значительного роста доли компьютерной томографии в структуре медицинских диагностических процедур, оценка и снижение при лучевой диагностике дозы облучения пациентов, особенно из числа персонала, работающего с техногенными ИИИ, занимает важное место в общей структуре мероприятий по минимизации радиационных рисков и сохранению здоровья персонала. Решение данной проблемы направлено на предотвращение экономического ущерба государству, что эквивалентно экономическому эффекту от внедрения результатов разработки данного направления в медицинских организациях ФМБА России и в систему здравоохранения Российской Федерации в целом. Для этого необходимо спланированное в данном исследовании научное обоснование нового алгоритма снижения радиационных рисков при лучевой диагностике у персонала, работающего с техногенными ИИИ, путем расширения применения альтернативных методов лучевой диагностики, не сопровождающихся воздействием на человека ионизирующего излучения и позволяющих снизить или исключить дозы облучения пациентов и радиационные риски от КТ.

ГЛАВА II. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Общая характеристика материалов исследования

В ходе проведенного исследования были проанализированы дозы облучения в производственных условиях и при КТ-исследованиях у 658 пациентов из числа персонала, поступивших для диагностических обследований в Центр лучевой диагностики (ЦЛД) ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России в 2020-2024 гг. При изучении динамики объема лучевой диагностики при КТ и структуры нозологий оценивалось ежегодное количество обследованных пациентов и количество диагностических процедур. За 2020-2025 годы, по данным медицинской статистики, всего обследовано 137 188 пациентов, из них 86 479 пациентов (135 664 процедур) при КТ и 50 639 пациентов (50 639 исследований) при МРТ.

Кроме этого, были оценены дозы облучения при КТ-исследованиях разных анатомических областей тела у 9 182 пациентов клиники в 2024 г. Проведена экспертная оценка сопоставимости результатов КТ- и МРТ-исследований в 2024-2026 гг. у 106 пациентов (из них 54 мужчин и 52 женщины) – всего 692 исследования по всем анализируемым органам сочетанной анатомической области.

Проведено сравнение стандартных доз облучения пациентов при КТ основных анатомических областей тела за 2024 год, рассчитанных по методу 1 – по выборке из 4 854 КТ-исследований пациентов с массой тела от 40 до 160 кг с вычислением медиан [25% и 75% квантилей]; по методу 2 – по выборке из 1 203 отобранных «стандартных» пациентов с массой тела 70 ± 5 кг; по методу 3 – по выборке из 4 234 КТ-исследований пациентов с массой тела от 40 до 160 кг методом линейной аппроксимации всего набора данных об индивидуальных эффективных дозах облучения пациентов с разной массой тела и оценки дозы облучения для «стандартного» пациента массой 70 кг по регрессионному анализу по моделям линейной аппроксимации для каждой анатомической области. Общие

сведения о количестве исследований и распределение их по основным направлениям представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Распределение обследованных лиц по этапам исследования

№ п/п	Направления (задачи) исследования	Подгруппы исследований	Кол-во лиц/иссле дований	Исследуемые показатели
1.	Проанализировать дозы облучения в производственных условиях работников, поступивших в ЦЛД в 2020-2024 гг.	Всего из них проходили: КТ СКУ КТ БКУ	1 151 648 503	Индивидуальная доза (ИД) профессионального облучения работника
2.1	Изучить динамику объема лучевой диагностики при КТ и МРТ за 2020-2025 гг. в ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России	Всего пациентов, из них при КТ: пациентов процедур при МРТ: пациентов процедур	137 188 86 479 135 664 50 639 50 639	Количество обследованных пациентов Количество пациентов и КТ-процедур Количество пациентов и МРТ-исследований
2.2.	Сформировать базу данных и оценить дозы медицинского облучения при диагностических обследованиях на компьютерных томографах	Всего, из них: Голова Шея ОГК Сердце и сосуды ОБП+ЗП+ОМТ ОМТ Позвоночник Кости и мягкие ткани ОГК+ОБП+ОМТ	9 182 1 288 38 1 626 386 1 160 18 324 334 4008	Средняя ЭД облучения (мЗв), Медиана ЭД облучения (мЗв), DLP (мГр·см), CTDI (мГр), количество фаз исследования Эквивалентная доза (мЗв) коэффициент E_{DLP} (мЗв·мГр ⁻¹ ·см ⁻¹), область исследования, повторность

Продолжение таблицы 2.1

№ п/п	Направления (задачи) исследования	Подгруппы исследований	Кол-во лиц/иссле дований	Исследуемые показатели
2.3.	Оценить стандартные дозы облучения пациентов при КТ основных анатомических областей тела за 2024 год	Всего, из них Метод 1 Метод 2 Метод 3	4 854 4 854 1 203 4 234	Дозы облучения при КТ основных анатомической областей Медиана [25 th , 75 th] по общей выборке пациентов Средние±m и медиана [25 th , 75 th] у отобранных из общей выборки «стандартных» пациентов с массой тела 70±5 кг Дозы для пациентов с массой тела 70±5 кг, установленные по моделям линейной аппроксимации
3.	Изучить основные нозологии у пациентов из числа персонала, направляемого на КТ в ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России в 2020-2024 гг.	Всего, из них: КТ СКУ КТ БКУ	1 151 648 503	Число случаев и структура нозологий (%) по годам, определение нозологий, при которых наиболее часто назначаются КТ и МРТ

Продолжение таблицы 2.1

№ п/п	Направления (задачи) исследования	Подгруппы исследований	Кол-во лиц/иссле дований	Исследуемые показатели
4.	Проанализировать и сравнить диагностические возможности КТ и МРТ при основных нозологиях в многопрофильном лечебном учреждении ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России за 2020-2024 гг. и выбрать релевантные патологии для возможности снижения дозы медицинского облучения при сохранении высокого качества визуализации	Всего пациентов Выполнено КТ-исследований патологических изменений в органах (тканях) всего, из них: Печень Желчные протоки Поджелуд. железа Селезенка Надпочечники Почки Клетчатка брюшной полости	106 692 188 126 65 34 65 166 48	Анализ методических рекомендаций по диагностическим возможностям и показаниям к использованию методов лучевой диагностики при основных нозологиях; определение нозологий, при которых значительно преобладает частота использования КТ над МРТ; экспертная оценка диагностических возможностей МРТ-визуализации по сравнению с КТ и их взаимозаменяемости.

2.1.1 Характеристика персонала, работающего с техногенными источниками ионизирующего излучения, направленного на КТ-исследования в 2020-2024 гг.

Проанализированы профессиональные дозы облучения персонала в производственных условиях – 658 человек 23-65-летнего возраста (496 мужчин, 162 женщины) поступивших в 2020-2024 гг. в многопрофильную клинику ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России для обследования и лечения.

В таблице 2.2 представлены общие сведения о работниках, проходивших КТ-исследования в 2020-2024 гг.

Таблица 2.2 – Общие сведения о работниках, направленных на КТ-исследование в 2020-2024 гг.

Показатели	Работники 2020-2024 гг.	
	КТ БКУ	КТ СКУ
Общее кол-во КТ-исследований	1151	
Из них количество / доля (%) КТ-исследований	648 / 56,3%	503 / 43,7%
Количество / доля (%) КТ-исследований у мужчин	478 / 57%	361 / 43%
Количество / доля (%) КТ-исследований у женщин	170 / 54%	142 / 46%
Общее число обследованных лиц	658	
Из них число (доля,%) мужчин / число (доля,%) женщин	496 (75,4%) / 162 (24,6%)	
Возраст всего, $M \pm m$, лет	54,7 $\pm$ 0,53	
Возраст мужчин, $M \pm m$, лет	54,8 $\pm$ 0,65	57,2 $\pm$ 0,65
Возраст женщин, $M \pm m$, лет	49,3 $\pm$ 1,04	54,0 $\pm$ 0,79
Масса тела всего, $M \pm m$, кг	82,0 $\pm$ 1,16	
Масса тела мужчин, $M \pm m$, кг	86,2 $\pm$ 0,71	84,8 $\pm$ 0,87
Масса тела женщин, $M \pm m$, кг	69,1 $\pm$ 1,1	73,3 $\pm$ 1,24

Как видно из таблицы 2.2, средний возраст женщин был ниже в обеих группах на 5,5 и 3,2 года, и средняя масса тела у мужчин и женщин имела значительные различия – при КТ БКУ и КТ СКУ, соответственно, на 17,1 и 11,5 кг. Видно, что количество исследований у женщин из числа персонала, работающего с ИИИ, было проведено меньше, чем у мужчин при КТ БКУ и КТ СКУ, соответственно, в 2,8 и 2,5 раза. Анализировались подгруппы по возрастам 20-24, 40-44, 45-49 и 70-74 года. У данного контингента проанализированы дозы и

радиационные риски при КТ-исследованиях. При изучении структуры заболеваний (классы по МКБ-10 [57]) пациенты подразделялись на группы по возрасту 20-44 и более 45 лет.

2.1.2 Характеристика пациентов, проходивших КТ-исследования в 2024 г.

Для сопоставительного анализа доз облучения при КТ-исследованиях сравнивались показатели персонала, работающего с техногенными источниками ионизирующего излучения, направленного на КТ-исследования в 2020-2024 гг. и пациентов в 2024 г. Общая характеристика пациентов приведена в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Общие сведения о работниках и пациентах, обследованных на КТ-сканерах в 2024 г.

Показатели	Пациенты 2024	
	КТ БКУ	КТ СКУ
Общее кол-во КТ-исследований	9182	
Из них количество / доля (%) КТ-исследований	4314 / 47%	4868 / 53%
Количество / доля (%) КТ-исследований у мужчин	2047 / 51,5%	1927 / 48,5%
Количество / доля (%) КТ-исследований у женщин	2267 / 43,5%	2941 / 56,5%
Общее число обследованных лиц	5728	
Из них число и доля (%) мужчин / число и доля (%) женщин	2441 (42,6%) / 3287 (57,4%)	
Возраст всего, $M \pm m$, лет	58,9 $\pm$ 0,21	
Возраст мужчин, $M \pm m$, лет	56,5 $\pm$ 0,38	60,9 $\pm$ 0,32
Возраст женщин, $M \pm m$, лет	57,9 $\pm$ 0,36	60,2 $\pm$ 0,25
Масса тела всего, $M \pm m$, кг	78,0 $\pm$ 0,31	
Масса тела мужчин, $M \pm m$, кг	86,9 $\pm$ 0,61	83,5 $\pm$ 0,4
Масса тела женщин, $M \pm m$, кг	72,0 $\pm$ 0,35	72,5 $\pm$ 0,4

Как видно из таблицы 2.3, у мужчин и женщин средний возраст был сопоставим, а средняя масса тела у мужчин и женщин имела значительные различия – при КТ БКУ и КТ СКУ, соответственно, на 14,9 кг и 11 кг. Количество пациентов в группе КТ БКУ в зависимости от пола не имело существенных отличий, при КТ СКУ количество женщин преобладало в 1,5 раза.

2.1.3 Характеристика пациентов, у которых проводили экспертную оценку результатов КТ- и МРТ-исследований в 2024-2026 гг.

Проанализированы результаты КТ- и МРТ-исследований 107 пациентов (из них 56 мужчин и 51 женщина) в возрасте 21-82 лет из медицинской информационной системы (МИС Медиалог) Центра лучевой диагностики ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России. Учитывая, что часть КТ-исследований включала нативные и контрастные процедуры сканирования, общее число проанализированных исследований при экспертной оценке степени визуализации патологии в отдельных органах составило 692 (из них 346 органов при КТ-исследованиях и те же 346 органов при МРТ-исследованиях). В число этих органов входили печень, желчные протоки и желчный пузырь, селезенка, надпочечники, почки, поджелудочная железа и клетчатка брюшной полости (табл. 2.4).

Таблица 2.4 – Распределение органов при КТ- и МРТ-исследованиях, проанализированных экспертами

Орган (ткань)	Количество органов, проанализированных экспертами					Количество сочетаний парных КТ- и МРТ-исследований				
	КТ		МРТ		Всего	КТ БКУ и МРТ БКУ	КТ СКУ и МРТ СКУ	КТ БКУ и МРТ СКУ	КТ СКУ и МРТ БКУ	Всего
	БКУ	СКУ	БКУ	СКУ						
Печень	36	57	58	37	188	35	36	24	57	152
Желчные протоки и желчный пузырь	26	40	43	17	126	27	18	12	42	99
Поджелудочная железа	13	18	21	13	65	13	19	8	12	52
Селезенка	7	11	11	5	34	7	11	4	5	27

Продолжение таблицы 2.4

Орган (ткань)	Количество органов, проанализированных экспертами					Количество сочетаний парных КТ- и МРТ-исследований				
	КТ		МРТ		Всего	КТ БКУ и МРТ БКУ	КТ СКУ и МРТ СКУ	КТ БКУ и МРТ СКУ	КТ СКУ и МРТ БКУ	Всего
	БКУ	СКУ	БКУ	СКУ						
Надпочечник	14	19	22	10	65	14	19	6	9	48
Почки	38	43	52	33	166	37	28	25	42	132
Клетчатка б.п.	11	13	17	7	48	11	5	5	14	35
Всего	145	201	224	122	692	144	136	84	181	545

2.2 Методы оценки доз облучения и радиационных рисков у персонала, работающего с источниками ионизирующих излучений

2.2.1 Оценка доз облучения в производственных условиях

Для анализа доз облучения персонала в производственных условиях использованы данные индивидуального дозиметрического контроля (ИДК) годовых индивидуальных эффективных доз из системы учета доз облучения персонала радиационных объектов – годовых форм федерального государственного статистического наблюдения № 1-ДОЗ «Сведения о дозах облучения лиц из персонала в условиях нормальной эксплуатации техногенных источников ионизирующих излучений», утвержденных Приказом Федеральной службы государственной статистики от 16 октября 2013 г. № 411 [119].

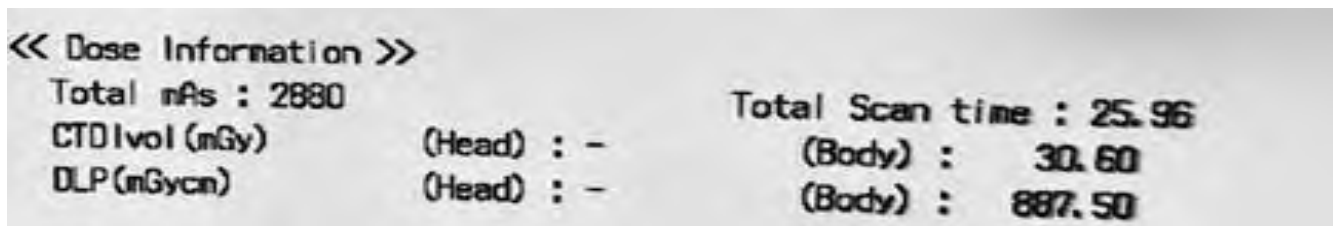
При регистрации доз у персонала в производственных условиях использовались индивидуальные дозиметры термолюминесцентные (ТЛД), фотобумажные (пленочные) и электронные (прямопоказывающие). Они обеспечивают контроль суммарной эквивалентной дозы фотонного, рентгеновского, гамма- и бета-излучений.

2.2.2 Оценка доз облучения при компьютерной томографии

Все КТ-исследования были распределены согласно форме N 30, утвержденной Приказом Росстата от 25 декабря 2023 г. N 681 (ред. от 03.02.2025),

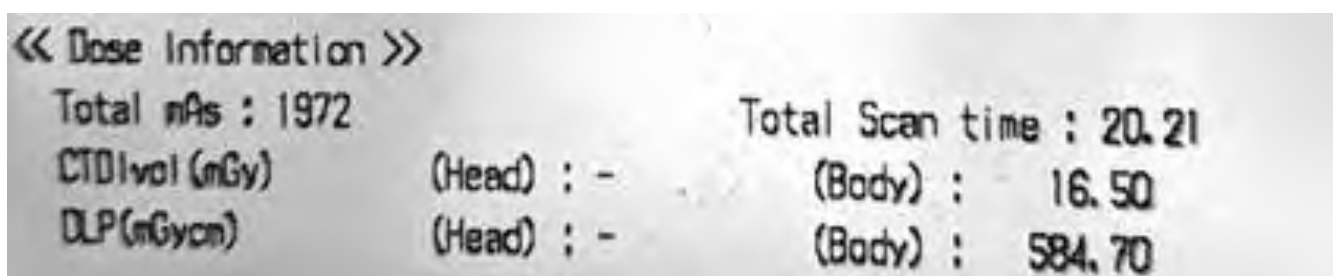
в соответствии с анатомическими областями: голова, шея, органы грудной клетки (ОГК), сердце и сосуды, органы брюшной полости (ОБП), забрюшинного пространства (ЗБП), органы малого таза (ОМТ), позвоночник и спинной мозг, кости и мягкие ткани (МТ) и молочные железы (МЖ) [58, 74, 120].

В качестве основных показателей при оценке дозы облучения пациентов использовали CTDIvol (мГр) и DLP (мГр·см), которые после каждого КТ-исследования выводились на консоль КТ-сканера (рис. 2.1).



<< Dose Information >>			
Total mAs : 2880		Total Scan time : 25.96	
CTDIvol (mGy)	(Head) : -	(Body) :	30.60
DLP (mGycm)	(Head) : -	(Body) :	887.50

а



<< Dose Information >>			
Total mAs : 1972		Total Scan time : 20.21	
CTDIvol (mGy)	(Head) : -	(Body) :	16.50
DLP (mGycm)	(Head) : -	(Body) :	584.70

б

Рисунок 2.1 – Отчеты о значениях поглощенных доз CTDIvol и DLP на консоли КТ-сканера при КТ-1 (а) и КТ-2 (б).

Типовые значения CTDIvol для областей сканирования, которые выводятся на консоль КТ-сканера, устанавливаются не реже одного раза в 2 года в соответствии с СанПиН 2.6.1.1192-03 [1] на основании метрологических измерений на штатных цилиндрических акриловых фантомах (рис. 1.5) (для головы диаметром 16 см, для туловища диаметром 32 см) шириной не менее 14 см с отверстиями (гнездами) в центре и в четырех периферических точках на 0°, 90°, 180° и 270° на расстоянии 1 см от края фантома. При этом используются детекторы излучения, которые размещаются в отверстиях (гнездах) фантома [60] и средства измерения поглощенной дозы облучения в одном томографическом срезе (CTDIvol), рекомендованные производителем КТ-сканера.

В соответствии с МУК 2.6.7.3652-20 для контроля доз облучения пациентов на основании значения DLP рассчитывалась индивидуальная эффективная доза (Е, мЗв), в соответствии с утвержденной методикой [36] по формуле (2.1):

$$E = \sum DLP_i \cdot e^i_{DLP}, \text{ мЗв}, \quad (2.1)$$

где e^i_{DLP} – дозовый коэффициент для i -той анатомической области, мЗв/(мГр·см).

2.2.3. Оценка доз облучения методом фантомной дозиметрии

Гетерогенный антропоморфный фантом RANDO

Фантомная дозиметрия проведена с использованием гетерогенного антропоморфного фантома RANDO (ART Phantom, Alderson Radiation Therapy, Radiology Support Devices, США) [134] и детекторов ДТГ-4 от термолюминесцентных дозиметров (ТЛД) DTU-1.

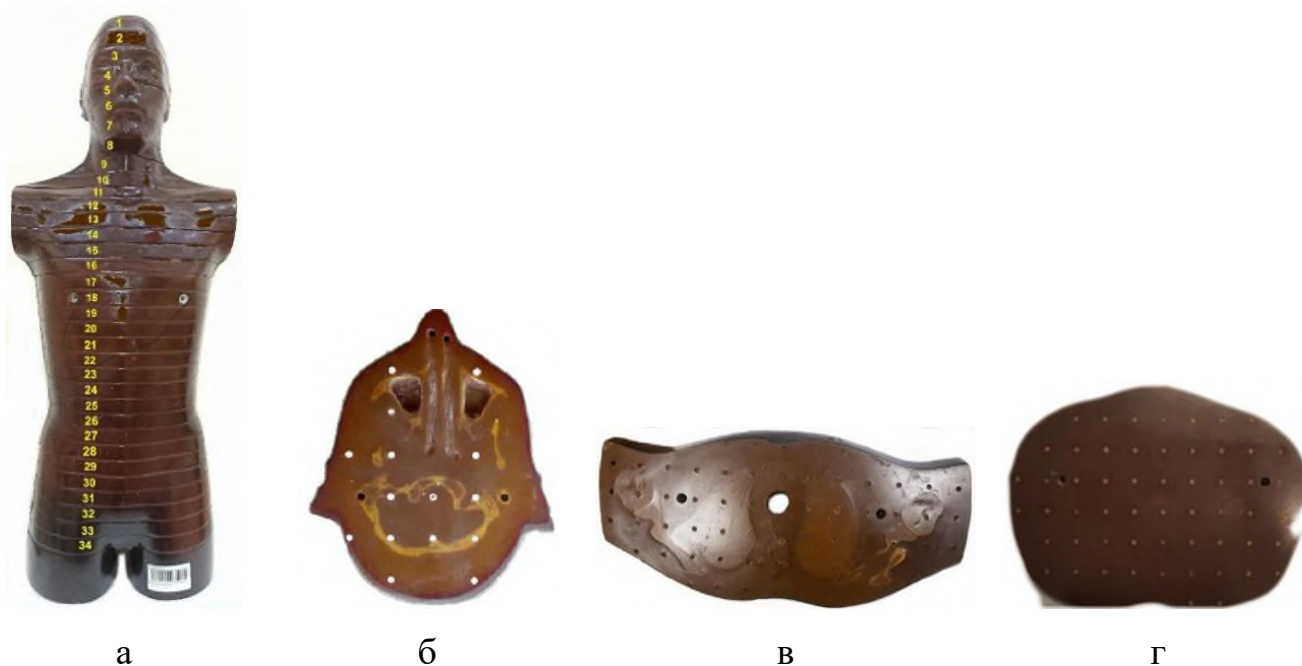


Рисунок 2.2 – Гетерогенный, антропоморфный фантом мужской типа:

а – фантом в собранном виде; слои фантома на уровнях; б – голова;

в – верхняя треть легких; г – уровень малого таза.

Используемый фантом (рис. 2.2), моделирует взрослого мужчину ростом 175 см и массой 73,5 кг. Фантом выполнен из тканеэквивалентных материалов, имитирующих плотность и рентгеновские характеристики мягких тканей, костей

и легких, с учетом стандартов ICRU-44 (International Commission on Radiation Units and Measurements / Международная комиссия по радиационным единицам и измерениям) [169, 170]. Фантом [186] состоит из 35 горизонтальных слоев, каждый слой толщиной 2,5 см содержит гнезда для установки детекторов.

Термолюминесцентные дозиметры и их калибровка

В гнезда слоев фантома устанавливались детекторы ДТГ-4 на основе кристаллического фтористого лития (LiF), активированного Mg, Ti. Они предназначены для регистрации индивидуального эквивалента дозы фотонного (рентгеновского и гамма) излучения, в том числе в органах и тканях в диапазоне от 20 мкЗв до 10 Зв при энергии излучения от 15 до 18 000 кэВ, и являются основной составной частью термолюминесцентных дозиметров (ТЛД) DTU-1. Для измерений использовали 95 детекторов общей массой $4,0688 \pm 0,0001$ г, которые были равномерно распределены по 6 анатомическим областям: голова, шея, органы грудной клетки (ОГК), органы брюшной полости и забрюшинного пространства (ОБП и ЗП), органы малого таза (ОМТ). В парных органах детекторы устанавливали в правой и левой половинах фантома в равных количествах.

Дозиметрические измерения проводились на термолюминесцентном комплексе «ДВГ-02ТМ» (рис. 2.3) [133], который проходит регулярные поверки с оценкой метрологических характеристик.



Рисунок 2.3 – Комплекс термолюминесцентный «Доза-ТЛД»

Калибровку детекторов выполняли на эталонных установках ООО НПО «Спектр» в поле изотопного источника гамма-излучения ^{137}Cs с учетом рассеяния излучения от водного фантома; погрешность оценки коэффициента калибровки составляла 10% ($P=95\%$). Для определения поправочного коэффициента, учитывающего энергетическую зависимость и отличие чувствительности ТЛД детекторов в поле изотопного источника ^{137}Cs (с энергией 661,7 кэВ) по сравнению с рентгеновским излучением КТ-сканера Toshiba Aquilion 64 при напряжении на трубке 120 кВ (средняя энергия 60-80 кэВ), было проведено четыре сеанса облучения прямоугольного водного фантома в поле КТ-сканера Toshiba Aquilion 64: два сеанса облучения при КТ-сканировании с ТЛД детекторами и два сеанса с использованием универсального дозиметра ДКС-101 с ионизационной камерой БМК-06 (бесконтактная многофункциональная камера с рабочим объемом 0,6 см³) [11, 16]. При этих четырех сеансах параметры КТ-протоколов были идентичны последующим экспериментальным КТ-сканированиям на тканеэквивалентном фантоме. Общий бюджет неопределенности результата оценки поглощенной дозы не превышал 10%.

Расположение детекторов ДТГ-4 в слоях фантома

Детекторы были размещены в тканеэквивалентном антропоморфном фантоме (табл. 2.5, рис. 2.4) в зонах расположения органов и тканей человека, перечисленных в рекомендациях НРБ-99/2009 [63] и ICRP-103 [104]. Их размещение внутри фантома позволяло учитывать реальные условия облучения при КТ-сканировании, включая рассеянное излучение в органах и тканях.

Таблица 2.5 – Размещение ТЛД детекторов и взвешивающие коэффициенты тканей для расчета дозы облучения органов и тканей

№	Орган / ткань	Номера слоев фантома	Количество детекторов	Взвешивающий коэффициент ткани	
				НРБ-99/2009	ICRP-103
1	Гонады (яичники и семенники)	26-29, 34	6	0,2	0,08

Продолжение таблицы 2.5

№	Орган / ткань	Номера слоев фантома	Количество детекторов	Взвешивающий коэффициент ткани	
				НРБ-99/2009	ICRP-103
2	Красный костный мозг	14-16, 28-30	7 ^{a)}	0,12	0,12
3	Толстый кишечник	21-26	9	0,12	0,12
4	Легкое	11-18	11	0,12	0,12
5	Желудок	19-20	6	0,12	0,12
6	Мочевой пузырь	28-30	3	0,05	0,04
7	Печень	19-23	3	0,05	0,04
8	Пищевод	12-16	3	0,05	0,04
9	Щитовидная железа	8-9	4	0,05	0,04
10	Кожа груди, живота и таза	12-34	24 ^{b)}	0,01	0,01
11	Клетки костной поверхности	14-16, 28-30	7 ^{a)}	0,01	0,01
12	Остальное ^{c)}	1-5, 16-18, 31-33	19	0,05	0,12
13	Всего	1-35	95/102 ^{d)}	1,0	1,0

Примечания: ^{a)} – для расчетов использованы показания трех детекторов из области ОГК и четырех из области ОБП и ОМТ;

^{b)} – для расчетов использованы показания 8-ми детекторов из области ОГК и 16 детекторов из области ОБП и ОМТ;

^{c)} – в «Остальное» входили согласно ICRP-103 – надпочечники, экстраторакальный отдел органов дыхания, желчный пузырь, сердце, почки, лимфоузлы, мышцы, слизистая рта, поджелудочная железа, простата, тонкий кишечник, селезенка, тимус, матка/шейка матки; согласно НРБ-99/2009 – надпочечники, головной мозг, экстраторакальный отдел органов дыхания, тонкий кишечник, почки, мышечная ткань, поджелудочная железа, селезенка, тимус и матка;

^{d)} – количество детекторов, с учетом того, что их показания были использованы дважды для оценки дозы разных тканей.

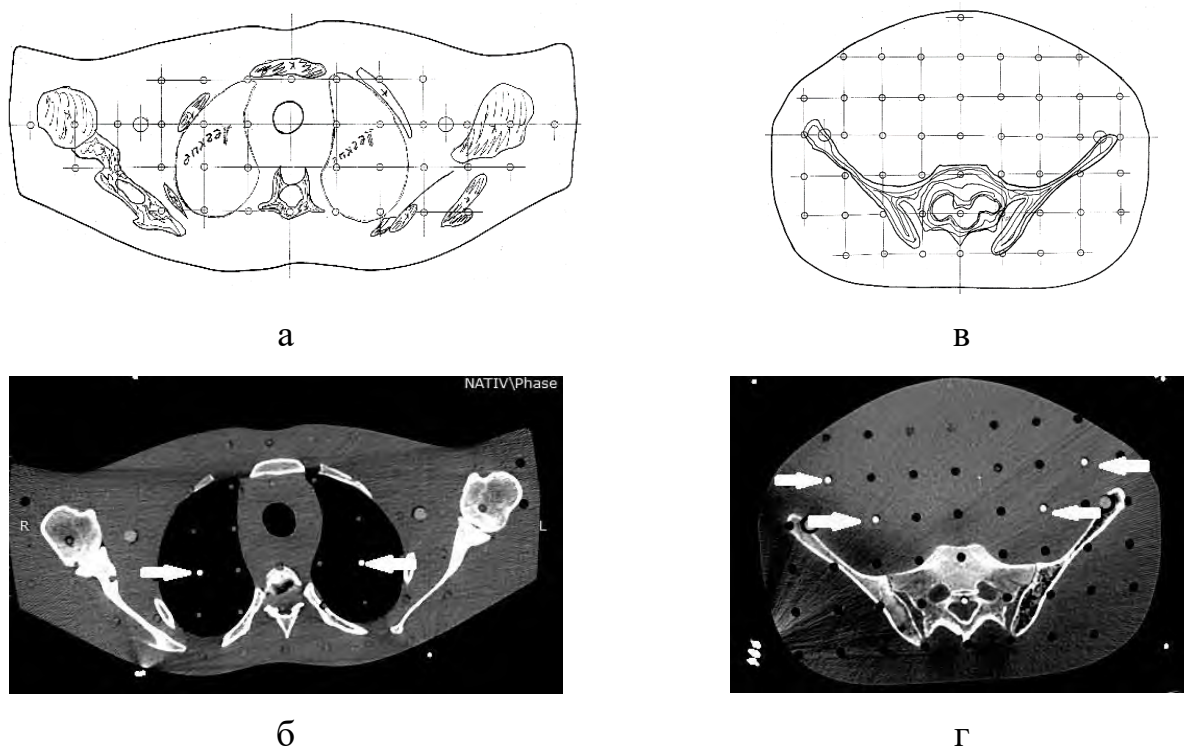


Рисунок 2.4 – Пример расположения детекторов в слоях и на КТ-изображениях фантома: а – схема 11-го слоя фантома (верхушка легких); б – КТ-изображение на уровне 11-го слоя фантома (стрелками указаны детекторы); в – схема 27-го слоя фантома (на уровне сиделищных костей); г – КТ-изображение на уровне 27-го слоя фантома (стрелками указаны детекторы в проекции гонад (яичников)).

Условия облучения фантома и оценка доз

Количество светового излучения (светосумма), испущенного термолюминесцентным детектором при его нагревании в процессе считывания показаний, прямо пропорционально значению поглощенной дозы ионизирующего излучения. После каждого КТ-исследования ТЛД-детекторы извлекали из фантома и на комплексе «ДВГ-02ТМ» измеряли этот показатель для каждого детектора. Затем его переводили в поглощенную дозу (мГр) и по ней рассчитывали эквивалентную дозу (взвешивающий коэффициент рентгеновского излучения $W_R=1,0$). В последующем были определены эффективные дозы (E , мЗв) как суммы вклада доз органов и тканей, вычисленных с использованием взвешивающих коэффициентов ткани (W_T) в соответствии с НРБ-99/2009 или с рекомендациями ICRP-103 (табл. 2.5).

Всего было проведено 2 экспериментальных КТ-сканирования (рис. 2.5 а, б, в, г) сочетанных областей тканеэквивалентного фантома.

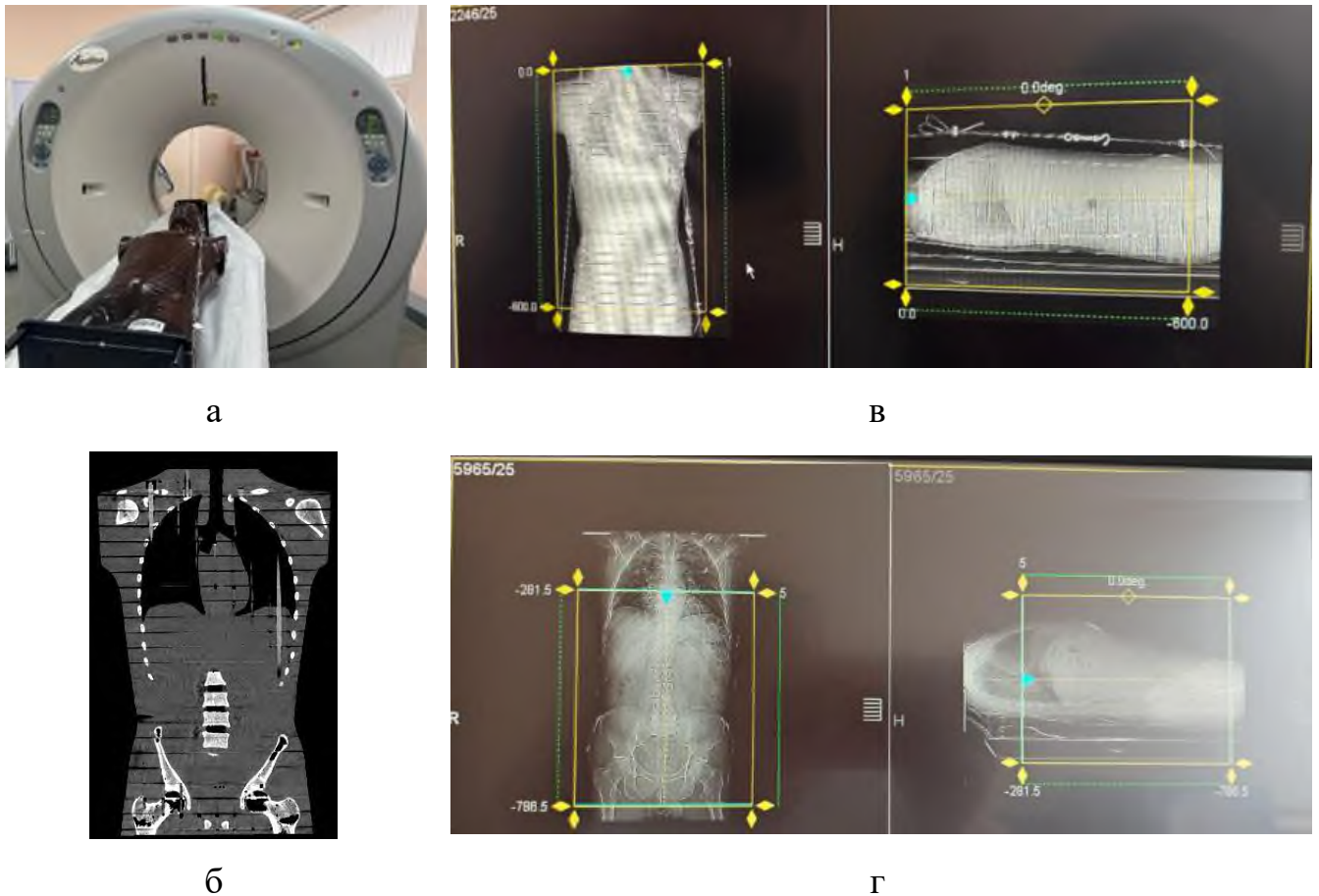


Рисунок 2.5 – Методика выполнения КТ-1 и КТ-2: а – размещение фантома на столе КТ-сканера непосредственно перед началом процедуры; б – коронарная проекция облученного фантома; примеры сканограмм фронтальной и сагиттальной проекций зон облучения при КТ-1 (в) и при КТ-2 (г).

Первое экспериментальное КТ-сканирование (КТ-1) было проведено от уровня нижнего края щитовидного хряща до седалищных бугров и включало анатомические области ОГК, ОБП и ЗП, ОМТ (рис. 2.5 в). Второе экспериментальное КТ-сканирование (КТ-2) было проведено от уровня верхнего края реберной дуги до седалищных бугров и включало те же органы, что и при КТ-1 за исключение ОГК (рис. 2.5 г).

В последующем эффективные дозы облучения, рассчитанные на основании проведенной фантомной дозиметрии, сопоставляли с эффективными дозами, рассчитанными по значениям DLP на консоли КТ-сканера.

2.2.4 Определение стандартной дозы облучения на анатомическую область

Установленные в медицинской организации эффективные дозы облучения пациентов в соответствии с МР 2.6.1.0296-22 [79] должны сопоставляться с национальными РДУ. Для этого рассчитываются стандартные дозы (СД) облучения пациентов при КТ основных анатомических областей. В проведенном исследовании выполнены расчеты и сопоставление стандартной дозы пациентов за 2024 год при использовании трех статистических методов:

- метод 1 – выборка из 4 854 КТ-исследований пациентов с массой тела от 40 до 160 кг – вычисляли медианы [25% и 75% квантили] эффективной дозы облучения по основным анатомическим областям тела ($Me [25^{th}, 75^{th}]$, мЗв);
- метод 2 – выборка из 1 203 «стандартных» пациентов [168, 169] с массой тела 70 ± 5 кг – вычисляли медианы [25% и 75% квантили] эффективной дозы облучения по основным анатомическим областям тела ($Me [25^{th}, 75^{th}]$, мЗв) [105];
- метод 3 – выборка из 4 234 КТ-исследований пациентов с массой тела от 40 до 160 кг – рассчитывали коэффициенты регрессии для моделей линейной аппроксимации для каждой из наиболее часто исследуемых в нашем лечебном учреждении областей (голова; ОГК; ОБП и ЗБП; ОГК, ОБП, ЗБП и ОМТ) методом линейной аппроксимации набора данных об индивидуальных эффективных дозах облучения пациентов с разной массой тела, затем для каждой анатомической области по соответствующей модели линейной аппроксимации определяли СД для пациента массой 70 кг. Вычисления проводили по уравнению (2.2):

$$СД_n = a_n + b_n \cdot X, \quad (2.2)$$

где $СД_n$ – стандартная доза облучения (мЗв) пациента массой тела 70 кг при КТ-исследовании анатомической области **n**;

a_n , b_n – коэффициенты уравнения регрессии для моделей линейной аппроксимации, рассчитанные для анатомических областей **n**;

X – масса тела «стандартного» пациента 70 кг.

2.2.5 Методика оценки радиационных рисков

Радиационный риск оценивали с использованием коэффициентов (табл. А-1) для групп по полу, возрасту и области сканирования (голова, ОГК и ОБП) на 100 000 человек на 1 мЗв [91]. Для смежной области ОГК и ОБП и ЗБП и малого таза коэффициент радиационного риска принят как для области ОГК, в связи с тем, что он имеет наибольшее значение в совокупности областей данной зоны. Градации радиационного риска устанавливали согласно МР 2.6.1.0215-20 [91] (табл. А-2).

По шести автоматизированным программам (рис. А-1-А-6) был проведен расчет эффективных доз облучения и радиационных рисков при КТ головы, органов грудной клетки (ОГК), органов брюшной полости (ОБП) и головы. При этом использовали одни и те же входные параметры: пациенты обоего пола, показатели телосложения (вводились для среднего пациента из когорты обследуемых в ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России: мужчины – рост 175 см, вес 80 кг; женщины – рост 165 см, вес 70 кг, возраст 40 лет) и параметры протокола КТ. В качестве величины DLP при введении исходных данных использованы типичные значения для рутинных исследований в Центре лучевой диагностики ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России на КТ-сканере Toshiba Aquilion 64 (для области «голова» – 1 071 мГр·см, ОГК – 275 мГр·см, ОБП – 557 мГр·см).

2.3 Характеристика сканеров, применяемых для лучевой диагностики и проведенных исследований

2.3.1 Сканеры

КТ-исследования всем пациентам, в том числе из числа персонала, работающего с техногенными ИИИ, выполнялась на трех томографах с использованием параметров протоколов, которые применяются в типичной клинической практике учреждения (табл. 2.7), коллимация и питч выставлялись в зависимости от области сканирования. Использовалась автоматическая настройка силы тока (мА) в рентгеновской трубке, которая зависит от толщины и плотности тканей области сканирования.

Таблица 2.7 – Характеристика КТ-томографов и параметры использованных протоколов

Параметры	Значения параметров для КТ-сканеров		
	Toshiba Aquilion	Philips Ingenuity	Canon Aquilion One
Количество рядов детекторов	64	128	320
Коллимация	автоматическая	автоматическая	автоматическая
Питч	0,641-1,5		
Время ротации трубки, с	0,5	0,5	0,5
Напряжение, кВ	120	120	120
Толщина среза, мм	1	1	1
Сила тока на трубке, мАс	Automatic Exposure Control system (AEC) (SURE Exposure)	автоматическая модуляция	автоматическая модуляция

Оба экспериментальных сканирования (КТ-1 и КТ-2) при фантомной дозиметрии были выполнены на 64-срезовом КТ-сканере Toshiba Aquilion 64 с использованием параметров КТ, которые применяются в типичной клинической практике для выбранных областей сканирования.

МРТ-исследования выполнялись на четырех МРТ-сканерах: Siemens Magnetom Solo (напряженность магнитного поля 1,5 T) и GE Signa Architect (напряженность магнитного поля 3 T). Использовали режимы сканирования T1, T2, DWI/ADC, STIR и T1 FS Dixon. Основная информация по МРТ-сканерам и параметрам протоколов представлена в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Характеристика МРТ-сканеров и использованных протоколов

Параметры	МРТ сканеры			
	Siemens Magnetom Symphony	Siemens Magnetom Espree	Siemens Magnetom Solo	GE Signa Architect
Напряженность магнитного поля, T	1,5	1,5	1,5	3
Год установки	2003	2008	2023	2022
Параметры протоколов	T1, T2, DWI/ADC, FLAIR, SWI (SWAN), PD, STIR, TIRM			

2.3.2 Проведенные исследования

В рамках работы проводился анализ данных медицинской статистики по КТ- и МРТ-исследованиям и процедурам, проведенным в ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России в период 2020-2025 гг.

В таблице 2.9 представлены количественные данные по проанализированным КТ-исследованиям за 2020-2025 гг. При этом под КТ-исследованием подразумевается полный цикл обследования определенного органа (части тела) пациента, который в зависимости от клинической задачи может включать одну процедуру КТ-сканирования (однофазное КТ - ОФ КТ) или при применении внутривенного контрастирования (многофазное КТ - МФ КТ) – от 2-х до 4-х процедур – нативная, артериальная, венозная и отсроченная фазы [74].

Таблица 2.9 – Количество процедур и обследованных пациентов при КТ исследованиях за 2020-2025 гг.

Показатели / годы	2020	2021	2022	2023	2024	2025	Всего
Количество процедур	13 806	18 573	20 209	24 022	27 739	31 315	135 664
Количество обследованных пациентов	9 688	15 966	11 434	12 513	17 367	19 511	86 479

МРТ-исследование одной анатомической области соответствует одной процедуре [74], общее количество МРТ-исследований соответствует общему количеству пациентов (табл. 2.10.).

Таблица 2.10 – Количество МРТ-исследований и обследованных пациентов за 2020-2025 гг.

Показатели / годы	2020	2021	2022	2023	2024	2025	всего
Количество исследований	5 589	7 667	8 082	8 604	9 551	11 146	50 639
Количество обследованных пациентов	5 589	7 667	8 082	8 604	9 551	11 146	50 639

2.4 Оценка нозологий у пациентов из числа персонала, направляемых на КТ-исследования, и методика экспертной оценки результатов КТ- и МРТ-исследований

2.4.1 Оценка нозологий у пациентов из числа персонала, направляемых на КТ-исследования

Исследование структуры заболеваемости пациентов из числа работников выполнено по заключениям, с которыми они направлялись в ЦЛД для лучевой диагностики. Для этого из архива статистической отчетности МИС были установлены классы заболеваний МКБ-10 (табл. А-5), при которых было выполнено 1 151 КТ-исследование. Оценивали долю (%) каждого класса заболеваний в общем их количестве у этих лиц за период с 2020 по 2024 годы, при этом анализ проводили также в зависимости от анатомической области, пола и возраста работников, а также от выполнения КТ-исследования с контрастом и без контраста. Эти показатели для каждого класса заболеваний выведены на диаграммы структуры заболеваемости отдельных половозрастных групп. Для каждой из нозологий были оценены средние эффективные дозы облучения пациентов при КТ-исследованиях и доля сканируемых анатомических областей, выполнено ранжирование нозологий и анатомических областей в зависимости от величины дозы облучения пациентов.

2.4.2 Экспертная оценка диагностических возможностей КТ и МРТ

Был выполнен анализ отечественных методических рекомендаций [28] и сопоставление диагностических возможностей КТ и МРТ для основных анатомических областей тела. Оценка визуализации при КТ и МРТ в клинических примерах проводилась в соответствии со стандартными подходами [21, 41, 88, 93, 99, 102, 111, 112, 160].

Для анализа и сопоставления информативности результатов парных (у одного пациента) 346 КТ и 346 МРТ за 2024-2026 гг. были привлечены 8 экспертов из числа врачей-рентгенологов: 4 врача для экспертизы КТ-исследований с опытом работы 3-14 лет и 4 врача для экспертизы МРТ-

исследований с опытом работы 2-20 лет. Исследования отбирались надлежащего качества в период не более 30 дней между исследованиями, без значимых изменений со стороны пациента в виде оперативного вмешательства, изменения плана лечения и резкого клинического ухудшения.

Четырем экспертам был предоставлен набор 2D-изображений по результатам КТ-исследований, другим четырем экспертам – набор 2D-изображений по результатам МРТ-исследований. Изображения оценивались на мониторе с использованием программы PACS (RADIANT).

Эксперты оценивали общее качество изображений по двухбалльной шкале в бланке-опроснике (табл. А-4). Оценка «1 балл» означала наличие, по мнению эксперта, изменений; оценка «2 балла» – отсутствие этих изменений [148, 154, 182]. Проведена оценка характера образования (очага) [99] (кистозное, солидное, жировое, наличие неоднородного субстрата), его размера (до 10 мм или 10 мм и более), количества патологических очагов, для желчных путей оценивали также уровень поражения и толщину стенки.

2.5 Методика расчета трудовой функции врача-рентгенолога и экономической эффективности от реализации разработанных методических рекомендаций

2.5.1 Расчет трудовой функции врача-рентгенолога по описанию результатов МРТ-исследований

Исследование выполнено с использованием расчетно-аналитического метода для врачей-рентгенологов МРТ-отделения Центра лучевой диагностики ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России. Рассматривалась трудовая функция А/01.8, входящая в состав профессионального стандарта врача-рентгенолога, которая включает в себя интерпретацию результатов МРТ-исследований.

При разработке методов количественной оценки трудовой функции по интерпретации результатов МРТ-исследований врачами-рентгенологами основывались на среднем количестве МРТ-описаний врачом отделения за

полугодие, месяц и смену. Выполнены расчеты средней нормы объема работы по описанию результатов МРТ-исследований для врача-рентгенолога за месяц и за смену по показателям работы отделения в 2025 году (за 6 месяцев с марта по август включительно). Среднее количество смен в месяц составляло 11, продолжительность одной рабочей смены – 13 часов. МРТ-исследования за анализируемый период выполнялись на томографах с напряженностью магнитного поля МРТ-аппаратов Siemens Magnetom Solo – 1,5 Т и GE Signa Architect – 3 Т. В обработку включены все виды МРТ-диагностики, проводимые в отделении, включающие МРТ без контрастного усиления и МРТ с контрастным усилением. При расчетах использована МИС ФМБЦ им. А.И. Бурназяна.

При разработке методик оценки трудовой функции врача-рентгенолога были использованы два подхода:

- 1) на основе общего количества выполненных врачом-рентгенологом описаний результатов МРТ-исследований без учета их сложности;
- 2) на основе общего количества выполненных врачом-рентгенологом описаний результатов МРТ-исследований с учетом их «коэффициентов сложности».

2.5.2 Расчет экономической эффективности для одного исследования с заменой КТ на МРТ

При расчетах годового экономического эффекта от снижения дозы облучения для персонала, работающего с ИИИ, исходили из следующих положений. Для обоснования расходов на радиационную защиту при реализации принципа оптимизации принимается, что облучение в коллективной эффективной дозе в 1 чел.-Зв приводит к потенциальному ущербу, равному потере примерно 1 чел.-года жизни населения [63]. Величина денежного эквивалента потери 1 чел.-года жизни устанавливается отдельными документами федерального уровня в размере не менее 1 годового душевого национального дохода [63, 67, 161]. На основе такого подхода формулируется задача поиска оптимального [96, 97] уровня защиты и проводится обоснование расходов на радиационную защиту.

Экономический эффект от снижения дозы облучения пациента из числа персонала, работающего с ИИИ, на 1 чел/мЗв (W , руб.) за 1 год рассчитывали по формуле (2.3):

$$W = 1 \text{ Зв} \cdot \text{ДНД} \cdot \text{Д}_{\text{разн}} / 1000, \quad (2.3)$$

где W – экономический эффект от снижения дозы облучения 1 пациента за 1 год, руб.;

ДНД – годовой душевой национальный доход за анализируемый год, руб.;

$\text{Д}_{\text{разн}}$ – уменьшение дозы облучения 1 пациента – разность между дозой при использовании для лучевой диагностики только КТ и дозой без использования при лучевой диагностике КТ или с уменьшением числа процедур КТ в результате замены КТ на МРТ, мЗв.

Экономический эффект от снижения дозы облучения персонала, работающего с ИИИ, в результате замены КТ на МРТ у n персонала за 1 год рассчитывали по формуле (2.4):

$$Z = \sum W_1 \cdot n, \quad (2.4)$$

где Z – экономический эффект в результате замены КТ на МРТ у n пациентов из числа персонала в год, руб.;

W – экономический эффект от снижения дозы облучения у каждого пациента из числа персонала, руб.;

n – количество пациентов из числа персонала, у которого доза была снижена на $\text{Д}_{\text{разн}}$.

При расчете экономической эффективности от снижения доз облучения пациентов с заменой КТ на МРТ учитывали разницу в стоимости тарифов (табл. 2.11). Для этого из общей суммы экономического эффекта (руб.) по замене КТ на МРТ у пациентов из числа работников вычиталась разница между затратами (руб.) на проведение и описание МРТ и затратами на проведение и описание КТ

Таблица 2.11 – Стоимость КТ и МРТ исследований по тарифам в г. Москва на оплату медицинской помощи, оказываемой стационарно и амбулаторно в условиях в рамках Территориальной программы ОМС [128]

Условия проведения (описания)	Стоимость одного исследования, руб.			
	КТ		МРТ	
	без КУ	с КУ	без КУ	с КУ
Амбулаторно	1 357,73	6 244,73	1 707,11	9 366,54
Стационарно	1 357,73	5 836,20	1 707,11	8 753,78
Удаленно	797,56	797,56	797,56	797,56

По формуле (2.5) рассчитывали уровень снижения годовой коллективной дозы облучения персонала за 1 год:

$$D_{\text{сниж}} \text{ за } N \text{ лет} = D_2 - D_1 / N \quad (2.5)$$

где $D_{\text{сниж}}$ – уровень снижения годовой коллективной дозы облучения персонала за 1 год, мЗв;

D_2 – годовая коллективная доза в i (предыдущем) году, мЗв;

D_1 – годовая коллективной доза в i (последующем) году, мЗв;

N – количество лет разницы между D_1 и D_2 .

2.6 Методы статистического анализа

Для оценки вида распределения параметров для выборок численностью более 30 наблюдений использовали критерий Колмогорова-Смирнова, для малых групп (менее 30 наблюдений) – критерий Шапиро-Уилка. При нормальном распределении вычисляли средние арифметические величины для каждого параметра и среднюю ошибку средней арифметической ($M \pm m$); значимость различий приводили по критерию достоверности Стьюдента при $p \leq 0,05$. Для показателей с распределением, отличающимся от нормального, рассчитывали

медиану, 25% и 75% квартили (Me [25th, 75th]), для оценки достоверности различий в этих группах использовали критерии Манна-Уитни и χ^2 при $p \leq 0,05$.

При расчетах и описании заболеваемости, распределения показателей по полу, возрасту, области сканирования и дозе облучения за исследование вычислялись доли (%) их значений в общей структуре. Были рассчитаны коэффициенты уравнений регрессии для моделей линейной аппроксимации при оценке зависимостей дозы облучения при КТ основных анатомических областей от массы тела пациентов с целью последующего вычисления по данным уравнениям регрессии стандартной дозы облучения для пациента массой 70 кг.

При статистической обработке результатов оценок экспертов по визуализации патологии при КТ и МРТ были рассчитаны коэффициенты (κ) и уровни согласованности между экспертами по шкале Fleiss: слабая – $\kappa \leq 0,20$; удовлетворительная – $0,21 \leq \kappa \leq 0,40$; умеренная – $0,41 \leq \kappa \leq 0,60$; существенная – $0,61 \leq \kappa \leq 0,80$; почти полная – $\kappa > 0,80$. Сходимость результатов оценки КТ и МРТ вычислялась по коэффициенту Коэна: отсутствует – 0; незначительная – 0-0,20; умеренная – 0,21-0,40; значительная – 0,41-0,60; существенная – 0,61-0,80; почти полная и полная – 0,81-1,00. Для коэффициента Коэна вычислялся 95%-й доверительный интервал. Точность коэффициента Коэна (SE) оценивали по уровням: $\leq 0,05$ – высокая; 0,06-0,10 – хорошая; 0,11-0,20 – умеренная; $\geq 0,21$ – низкая. Для статистических расчетов использованы программы Microsoft Excel пакета Office 2016 и STATISTICA v.10.0 [135].

ГЛАВА III. ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ И РАДИАЦИОННЫЕ РИСКИ У ПЕРСОНАЛА, РАБОТАЮЩЕГО С ИСТОЧНИКАМИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ, В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ И ПРИ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ В 2020-2024 ГГ.

3.1 Оценка доз облучения в производственных условиях

Анализ профессиональных доз облучения 658 работников, направленных в Центр лучевой диагностики для проведения КТ (рис. 3.1), показал, что средние значения годовых доз с 2020 г. к 2024 г. увеличились незначительно (с 0,6-1,2 мЗв до 0,74-1,75 мЗв). При этом дозы облучения у мужчин 20-44 лет варьировали от года к году в сравнении с дозами у мужчин 45 лет и старше, а у женщин 20-44 лет были в основном выше ($p < 0,05$), чем у женщин 45 лет и старше. Как видно из рисунка 3.1, дозы облучения работников в производственных условиях во всех группах по полу и возрасту были ниже нормативных значений [63].

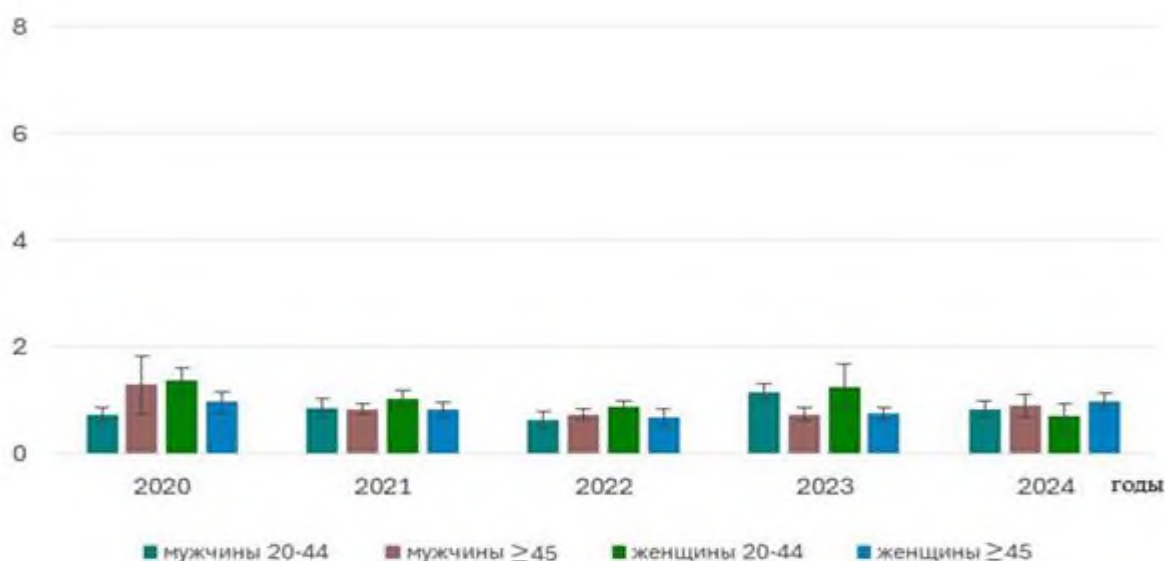


Рисунок 3.1 – Средние годовые дозы профессионального облучения персонала, проходившего КТ-исследования в 2020-2024 гг. в зависимости от пола и возраста, $M \pm m$, мЗв; по оси абсцисс – календарный год, по оси ординат – доза профессионального облучения, мЗв.

При таких уровнях профессионального облучения за период трудовой деятельности в течение 50 лет персонал может в среднем получить около 50-70 мЗв, что значительно меньше нормативных значений (1000 мЗв за 50 лет).

Согласно рекомендациям Международной комиссии по радиационной защите, при уровнях облучения, не превышающих установленные пределы, специальные медицинские обследования и лечение не требуются. Достаточным является анализ причин формирования доз и контроль условий труда. Проведение специальной дозиметрии показано лишь при значительном (более 100 мЗв) превышении предельных уровней доз [179].

Медицинское наблюдение за персоналом включает предварительные и периодические медицинские осмотры с документированием результатов [73]. В соответствии с формой федерального статистического наблюдения № 1-ДОЗ [119] ведется учет индивидуальных доз облучения персонала и их долговременное хранение в федеральном банке данных по индивидуальным дозам облучения персонала организаций (ФБД ДОП).

Важно подчеркнуть, что суммарная лучевая нагрузка работников включает дозы облучения не только в профессиональных условиях, но и при прохождении медицинских диагностических процедур. В отличие от профессионального облучения медицинское облучение не подлежит нормированию, и его уровни существенно превышают установленные НРБ 99/2009 [63] пределы облучения в год населения (1 мЗв) и среднегодовые дозы облучения персонала: при КТ без КУ – в 3,5-20,4 раз, а при КТ с КУ – в 7,9-27,5 раза (табл. 3.1).

В связи с этим представляется необходимым проведение анализа эффективных доз при прохождении КТ-исследований этими работниками, что позволило бы объективно оценить вклад медицинского облучения в суммарную дозовую нагрузку персонала.

Таблица 3.1 – Средние дозы облучения персонала (мужчин и женщин) в год в процессе профессиональной деятельности и при КТ-исследованиях в ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России за пятилетний период с 2020 по 2024 гг.

Область сканирования, пол и возраст, лет	Средняя доза облучения в год одного работника, прошедшего КТ, $M \pm m$, мЗв							
	Прошедшие КТ без КУ				Прошедшие КТ с КУ			
	N	$E_{\text{проф}}$	$E_{\text{КТ БКУ}}$	$E_{\text{сумм}}$	N	$E_{\text{проф}}$	$E_{\text{КТ СКУ}}$	$E_{\text{сумм}}$
1. Голова всего, из них:	159	0,91±0,12	2,07±0,71	2,98	12	0,74±0,3	3,64±1,21	4,38
Мужчины 20-44	455	1,07±0,14	2,13±0,71	3,2	4	1,07±1,14	3,0±0,68	4,07
Мужчины ≥45	71	0,89±0,09	2,15±0,69	3,04	7	0,89±0,09	4,14±1,27	5,03
Женщины 20-44	20	1,05±0,53	1,79±0,62	2,84	1	1,05±0,53*	3,39	4,44
Женщины ≥45	23	1,43±0,92	1,99±0,77	3,42	1	1,43±0,92*	2,6	4,03
2. Шея всего, из них:	6	0,87±0,36	2,35±0,41	3,22	9	0,93±0,28	8,39±0,99	9,32
Мужчины 20-44	1	0,96±0,15	1,2	2,16	3	0,96±0,15	11,63±0,9	12,59
Мужчины ≥45	4	0,92±0,4	3,05±1	3,97	4	0,92±0,4	7,68±2,07	8,6
Женщины 20-44	1	0,74±0,07	0,7	1,44	1	0,74±0,07*	3,4	4,14
Женщины ≥45	0		-		1	0,78	8,5	9,28
3. ОГК всего, из них:	329	0,96±0,52	3,34±1,11	4,3	8	0,59±0,4	8,23±1,06	8,82
Мужчины 20-44	56	1,24±0,3	3,25±1,19	4,49	1	1,24±0,3*	12,2	13,44
Мужчины ≥45	183	0,81±0,17	3,44±1,4	4,25	4	0,81±0,17	7,58±1,93	8,39
Женщины 20-44	34	0,88±0,48	3,13±1,1	4,01	2	0,88±0,48	9,05±1,82	9,93
Женщины ≥45	56	1,27±0,25	3,22±1,04	4,49	1	1,27±0,25*	5,2	6,47
4. Сердце и сосуды всего, из них:	6	0,24±0,08	2,2±0,44	2,44	30	0,96±1,45	7,61	
Мужчины 20-44	0	-	-		2	2,98±0,05	4,3±0,6	7,28
Мужчины ≥45	4	0,93±0,57	1,93±0,99	2,86	23	0,93±0,57	8,44±4,3	9,37
Женщины 20-44	0	-	-		0	-	-	
Женщины ≥45	2	0,19±0,1	1,0±0,1	1,19	5	0,19±0,1	5,14±2,96	5,33
5. ОБП и ЗБП и таза всего, из них:	45	0,56±0,1	10,08	10,64	111	1,06±1,93	25,23	26,29
Мужчины 20-44	10	1,92±0,81	12,72±5,31	14,64	15	1,92±0,81	23,53±10,67	25,45
Мужчины ≥45	22	1,09±0,49	9,36±5,22	10,45	68	1,09±0,49	29,57±14,35	30,66
Женщины 20-44	8	0,47±0,33	10,06±6,14	10,53	4	0,47±0,33	19,43±14,97	19,90
Женщины ≥45	5	0,78±0,59	7,98±1,75	8,76	24	0,78±0,59	14,62±7,9	15,4

Продолжение таблицы 3.1

Область сканирования, пол и возраст, лет	Средняя доза облучения в год одного работника, прошедшего КТ, $M \pm m$, мЗв							
	Прошедшие КТ без КУ				Прошедшие КТ с КУ			
	N	$E_{\text{проф}}$	$E_{\text{КТ БКУ}}$	$E_{\text{сумм}}$	N	$E_{\text{проф}}$	$E_{\text{КТ СКУ}}$	$E_{\text{сумм}}$
6. ОМТ всего, из них:	3	0,9±0,31	4,63	5,53	1	0,99±0,51	12,2	13,19
Мужчины 20-44	0	-	-	-	0	-	-	-
Мужчины ≥45	3	0,9±0,31	4,63±1,56	5,53	0	-	-	-
Женщины 20-44	0	-	-	-	0	-	-	-
Женщины ≥45	0	-	-	-	1	0,99±0,51	12,2	13,19
7. Позвоночник и спинной мозг всего, из них:	23	0,87±0,1	4,77	5,64		-	-	-
Мужчины 20-44	3	0,7±0,05	5,13±3,41	5,83	0	-	-	-
Мужчины ≥45	15	0,89±0,1	5,55±3,3	6,44	0	-	-	-
Женщины 20-44	1	0,9	1,6	2,5	0	-	-	-
Женщины ≥45	4	0,64±0,31	2,38±2,62	3,02	0	-	-	-
8. Кости и мягкие ткани всего, из них:	38	0,76±0,6	2,49	3,25	-	-	-	-
Мужчины 20-44	7	0,79±0,12	2,07±1,08	2,86	0	-	-	-
Мужчины ≥45	19	0,54±0,34	3,62±3,39	4,16	0	-	-	-
Женщины 20-44	1	0,9	0,3	1,2	0	-	-	-
Женщины ≥45	11	0,93±0,36	1,39±0,94	2,32	0	-	-	-
9. ОГК, ОБП и ЗБП и таза всего, из них:	40	0,52±0,4	10,83	11,35	332	0,87±0,41	23,91	24,78
Мужчины 20-44	8	0,79±0,24	8,83±3,87	9,62	39	0,79±0,24	27,61±10,71	28,4
Мужчины ≥45	29	0,93±0,54	10,87±5,15	11,8	191	0,93±0,54	24,85±10,89	25,78
Женщины 20-44	1	0,74±0,5	13,2	13,94	19	0,74±0,5	14,94±9,96	15,68
Женщины ≥45	2	0,74±0,6	13,0±1,27	13,74	84	0,74±0,6	21,42±10,76	22,16

Примечания: N – количество исследований;

$E_{\text{КТ БКУ}}$ – средняя доза облучения при КТ исследованиях без контрастного усиления;

$E_{\text{КТ СКУ}}$ – средняя доза облучения при КТ исследованиях с контрастным усилением;

$E_{\text{проф}}$ – средняя доза облучения в условиях профессиональной деятельности;

$E_{\text{сумм}}$ – средняя суммарная доза облучения при КТ исследованиях и в условиях профессиональной деятельности. $E_{\text{КТ КУ}}$ за одно исследование в 2024 г.

* – из группы при КТ исследованиях без контрастного усиления.

3.2 Оценка доз облучения при компьютерной томографии

3.2.1 Эффективные дозы облучения по анатомическим областям

В ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России за 2020-2024 годы у 658 работников, занятых на производствах с источниками ионизирующих излучений, было выполнено всего 1 151 КТ-исследование.

Результаты оценки эффективных доз облучения персонала и пациентов за одно КТ-исследование по анатомическим областям по всем КТ-сканерам представлены в таблице 3.2. Как видно, при КТ от 2020 к 2024 г. дозы облучения изменялись незначительно, при КТ БК дозы составляли от 1,0 до 13,2 мЗв, при КТ КУ дозы были больше и составляли от 2,8 до 29,4 мЗв.

Учитывая, что дозы облучения при КТ-исследованиях большинства областей тела пропорциональны массе тела пациента [53, 54] и принимая во внимание превышение массы тела мужчин по сравнению с женщинами в обеих возрастных группах (табл. 3.2), были проанализированы медианы доз облучения персонала при КТ-исследованиях в ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России за 2020-2024 гг. в этих выборках.

Можно отметить следующее:

1. Установлена зависимость дозы облучения от анатомической области и пропорциональность протяженности области КТ-сканирования как без КУ, так и с КУ: голова – 1,6-5,35 мЗв, ОГК – 2,9-11,9 мЗв, ОБП, ЗБП и таза – 7,0-26,3 мЗв, ОГК, ОБП, ЗБП и таза – 6,6-24,7 мЗв.
2. Дозы облучения при КТ без КУ до 2,5 раза меньше ($p < 0,05$), чем дозы при КТ с контрастным усилением, что объясняется пропорциональным увеличением числа фаз сканирования.
3. Среднегодовые дозы в течение 5-летнего периода (с 2020 по 2024 гг) в соответствующих группах по областям и по наличию контрастного усиления не имеют значительных отличий ($p > 0,05$), так как протоколы КТ-исследований в отделении за этот период не менялись.

Таблица 3.2 – Оценка эффективной дозы облучения персонала и пациентов (мЗв) за одно КТ-исследование по анатомическим областям по всем КТ-сканерам (Me[25th и 75th]) в 2020-2024 гг.

Анатомические области*	КТ без контрастного усиления						КТ с контрастным усилением					
	2020**	2021**	2022**	2023**	2024**	2024***	2020**	2021**	2022**	2023**	2024**	2024***
1. Голова	2,2 [1,2;3,0]	2,2 [1,2;2,8]	1,85 [1,5;2,6]	1,9 [1,5;2,4]	2,3 [1,6;2,6]	1,6 [1,4;2,3]	3,2 [3,2;4,0]	2,8 [2,5;3,0]	3,5 [2,2;4,4]	-	5,35 [3,9;6,8]	3,3 [2,5;4,4]
2. Шея	-	4,4 [4,4;4,4]	2,9 [1,5;2,6]	1,0 [0,7;1,2]	-	1,95 [1,0;4,0]	-	11,7 [10,6;12,8]	11 [1,5;2,6]	5,9 [3,4;8,5]	4,5 [2,5;4,5]	6,36 [4,7;10,6]
3. ОГК	3,2 [3,0;3,5]	3 [2,4;4,1]	2,8 [2,3;3,6]	2,9 [2,2;3,9]	3,2 [2,3;4,6]	3,3 [2,2;5,2]	-	-	6,5 [3,7;6,5]	11,9 [5,2;12,2]	5,1 [5,1;5,1]	10,7 [6,9;14,5]
4. Сердце и сосуды	-	-	-	7,1 [7,1;7,1]	1,2 [0,9;1,2]	4,0 [2,2;5,0]	7,4 [7,4;7,4]	9,1 [9,0;9,1]	4,9 [3,6;10,7]	10,1 [5,9;13,1]	3,1 [2,0;3,7]	8,0 [5,3;12,7]
5. ОБП и ЗП и таза	7,0 [5,0;9,1]	7,3 [5,0;8,8]	10,9 [6,8;13,0]	7,5 [5,2;10,0]	10,9 [6,4;14,8]	7,8 [5,4;12,8]	20 [10,0;26,9]	26,3 [10,7;37,9]	20,35 [12,6;27,4]	29,4 [19,1;36,5]	23,7 [19,3;36,0]	21,7 [15,5;32,0]
6. Органы малого таза	-	-	6,2 [6,2;6,2]	2,5 [2,5;2,5]	5,2 [5,2;5,2]	5,1 [4,0;8,3]	-	-	-	12,2 [12,2;12,2]	-	17,8 [14,4;20,7]
7. Позвоночник и спинной мозг	1,1 [0,5;1,6]	-	6,9 [1,5;7,2]	4,8 [2,0;6,8]	7,8 [1,6;7,8]	7,0 [4,1;10,1]	-	-	-	-	-	11,25 [5,3;17,2]
8. Кости и мягкие ткани	1,0 [0,5;2,5]	1,2 [0,3;1,9]	2,8 [0,3;3,0]	2,0 [0,6;2,4]	2,8 [1,2;4,5]	2,2 [0,4;4,3]	-	-	-	-	-	6,9 [3,1;10,7]
9. ОГК, ОБП и ЗП, и таза	13,2 [9,0;14,2]	11,4 [6,2;14,5]	6,6 [5,4;8,2]	10,8 [7,7;14,5]	8,5 [7,1;17,8]	10,3 [7,0;16,7]	18,2 [10,0;28,0]	24,7 [15,8;31,8]	24,0 [14,5;30,8]	24,6 [16,3;32,6]	21 [14,9;27,9]	23,00 [15,2;28,6]
Всего КТ исследований	119	141	124	134	131	4340	56	78	114	128	125	4879

Примечания: * – анатомические области представлены согласно [74];

** – средние дозы за одно КТ-исследование по выборке пациентов из числа персонала за каждый год с 2020 по 2024 гг в центре лучевой диагностики ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России;

*** – средние дозы за одно КТ-исследование по общей выборке 9 182 КТ-исследований в 2024 г. в центре лучевой диагностики ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России

4. Полученные значения доз медицинского диагностического облучения пациентов из числа персонала, работающего с ИИИ, не превышают Российские РДУ [60] и близки к РДУ других стран (табл. 1.1) [155, 159, 184, 185, 189, 191].

5. Значение доз облучения при КТ-исследованиях одинаковых областей сканирования у пациентов из числа персонала и у остальных пациентов в клинике не отличаются ($p > 0,05$).

3.2.2 Дозы на органы и ткани по результатам фантомной дозиметрии

По результатам дозиметрических измерений, выполненных на тканезквивалентном фантоме (табл. 3.3), к органам и тканям с наибольшим вкладом в эффективную дозу облучения можно отнести: гонады, красный костный мозг, толстый кишечник, легкое и желудок, дозы облучения которых составляли от общей дозы при КТ-1 – 75,9% при оценке по НРБ 99/2009 и 72,1% при оценке по ICRP-103; при КТ-2 – соответственно 76,2% и 71,8%. На вторую по величинам доз облучения группу (мочевой пузырь, печень и пищевод) от общей дозы облучения при КТ-1 приходилось 16,5 % при оценке по НРБ 99/2009 и 15,0% при оценке по ICRP-103, при КТ-2 – соответственно, 19,9 % и 19,4 %. На третью группу (кожа груди, живота и таза, клетки костной поверхности и «остальное») от общей дозы облучения при КТ-1 приходилось 5,6% при оценке по НРБ 99/2009 и 11,1% при оценке по ICRP-103; при КТ-2 – соответственно 3,8% и 8,7%.

Сравнение доз облучения органов и тканей между двумя экспериментальными КТ-исследованиями (табл. 3.3) показало увеличение вклада облучения красного костного мозга и легких в эффективную дозу облучения при КТ-1 (сочетанная зона сканирования с захватом ОГК) по сравнению с КТ-2 (сочетанная зона сканирования без захвата ОГК): доза облучения увеличилась в красном костном мозге с $9,0 \pm 1,6$ мЗв при КТ-2 до $20,7 \pm 1,4$ мЗв при КТ-1, в легких – с $5,6 \pm 1,2$ мЗв при КТ-2 до $15,8 \pm 1,7$ мЗв при КТ-1. Для остальных органов и тканей (гонады, толстый кишечник, желудок, мочевой пузырь и др.), расположенных в одинаковых для КТ-1 и КТ-2 зонах сканирования, значения эквивалентных доз и их вклад в эффективную дозу при КТ-1 и КТ-2 близки.

Таблица 3.3 – Оценка эквивалентных доз облучения органов и тканей и их вклада в эффективную дозу по результатам фантомной дозиметрии при экспериментальных исследованиях КТ-1 и КТ-2

№	Органы/ткани	Эквивалентная доза ($M \pm m$), мЗв		Дозы облучения органов и тканей ($M \pm m$), мЗв с расчетами по взвешивающим коэффициентам ткани по НРБ-99/2009 и по ICRP-103			
				НРБ-99/2009		ICRP-103	
		КТ-1	КТ-2	КТ-1	КТ-2	КТ-1	КТ-2
1	Гонады (яичники и семенники)	18 $\pm$ 3,5	17,6 $\pm$ 1,4	3,6 $\pm$ 0,7	3,5 $\pm$ 0,3	1,44 $\pm$ 0,3	1,41 $\pm$ 0,08
2	Красный костный мозг	20,7 $\pm$ 1,4	9,0 $\pm$ 1,6	2,5 $\pm$ 0,2	1,1 $\pm$ 0,16	2,5 $\pm$ 0,16	1,1 $\pm$ 0,2
3	Толстый кишечник	16,6 $\pm$ 0,4	15,8 $\pm$ 0,9	2,0 $\pm$ 0,08	1,9 $\pm$ 0,1	1,99 $\pm$ 0,08	1,89 $\pm$ 0,1
4	Легкое	15,8 $\pm$ 1,7	5,6 $\pm$ 1,2	1,9 $\pm$ 0,16	0,7 $\pm$ 0,2	1,89 $\pm$ 0,16	0,67 $\pm$ 0,2
5	Желудок	17,8 $\pm$ 0,6	17,0 $\pm$ 0,6	2,1 $\pm$ 0,08	2,0 $\pm$ 0,1	2,1 $\pm$ 0,1	2,0 $\pm$ 0,1
6	Мочевой пузырь	19,8 $\pm$ 1,3	17,3 $\pm$ 0,5	0,99 $\pm$ 0,08	0,87 $\pm$ 0,02	0,8 $\pm$ 0,08	0,7 $\pm$ 0,02
7	Печень	19,8 $\pm$ 0,6	16,4 $\pm$ 0,9	0,99 $\pm$ 0,03	0,82 $\pm$ 0,08	0,8 $\pm$ 0,03	0,7 $\pm$ 0,04
8	Пищевод	15,4 $\pm$ 1,8	14,3 $\pm$ 31	0,8 $\pm$ 0,1	0,7 $\pm$ 0,3	0,62 $\pm$ 0,19	0,57 $\pm$ 0,36
9	Щитовидная железа	5,8 $\pm$ 1,0	0,3 $\pm$ 0,1	0,3 $\pm$ 0,08	0,02 $\pm$ 0,02	0,23 $\pm$ 0,1	0,01 $\pm$ 0,01
10	Кожа груди, живота и таза	18,7 $\pm$ 1,7	14,4 $\pm$ 1,4	0,19 $\pm$ 0,02	0,14 $\pm$ 0,01	0,19 $\pm$ 0,02	0,14 $\pm$ 0,01
11	Клетки костной поверхности	20,7 $\pm$ 1,4	8,9 $\pm$ 1,6	0,21 $\pm$ 0,03	0,09 $\pm$ 0,02	0,21 $\pm$ 0,03	0,09 $\pm$ 0,01
12	Остальное	9,3 $\pm$ 3,2	5,4 $\pm$ 1,8	0,5 $\pm$ 0,2	0,3 $\pm$ 0,1	1,1 $\pm$ 0,4	0,7 $\pm$ 0,2
13	Всего			16,08	12,14	13,87	9,98

Сравнение вклада в эффективную дозу органных и тканевых доз, рассчитанных с учетом различий взвешивающих коэффициентов тканей по НРБ-99/2009 и по рекомендациям ICRP-103, показало, что для гонад доза по НРБ-99/2009 составила 3,5-3,6 мЗв, а по ICRP-103 – 1,41-1,44 мЗв. Это объясняется тем, что в НРБ-99/2009 взвешивающий коэффициент ткани для гонад существенно выше (0,20), чем в ICRP-103 (0,08). Для других органов и тканей (красный костный мозг, толстый кишечник, легкие, желудок, кожа и клетки костной поверхности) дозы, рассчитанные по НРБ-99/2009 и ICRP-103, как при КТ-1, так и при КТ-2 совпадают между собой или близки.

Результаты дозиметрических измерений при КТ-1 и КТ-2 показали, что уменьшение протяженности зоны облучения фантома при КТ-2 по сравнению с КТ-1 приводит к статистически значимому снижению эквивалентной дозы облучения для органов, которые не попадали или частично попадали в область сканирования (щитовидная железа, легкие, красный костный мозг, клетки костной поверхности). В то же время при обоих вариантах КТ для органов, находившихся в пределах сочетанной области облучения (желудок, печень, мочевого пузыря и толстый кишечник), различия между эквивалентными дозами были не велики (в среднем не более $\pm 11,2\%$) и статистически не значимы.

В повседневной практике врачи-рентгенологи для оценки эффективной дозы (E) при КТ любой анатомической области используют значение DLP на консоли КТ-сканера. Данный показатель доступен врачу-рентгенологу сразу после каждого КТ-исследования, и используется при сопоставлении дозы облучения пациента с референтными диагностическими уровнями согласно МР 2.6.1.0296-22 и З.А. Лантух с соавтор. [79, 100]. Это делает показатель DLP удобным оперативным инструментом для оптимизации протоколов КТ-сканирований, а также для ретроспективной оценки доз облучения пациентов.

Результаты сравнения эффективной дозы, рассчитанной на основе значений DLP на консоли КТ-сканера (E 1), с данными, полученными при фантомной дозиметрии (E 2-при КТ-1, E 3-при КТ-2), представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Сопоставление доз при КТ-1 и КТ-2, рассчитанных по значениям DLP на консоли КТ-сканера и по результатам фантомной дозиметрии

КТ-исследование	Расчеты E 1 ^{a)} по DLP на консоли КТ-сканера				Расчеты E 2 и E 3 при фантомной дозиметрии, мЗв		Разность ^{d)} E 2 и E3 с расчетом E1 по DLP на консоли, мЗв		e_{DLP}^i по результатам фантомной дозиметрии, мЗв/(мГр·см)	
	CTDIvol (мГр)	DLP, мГр·см	e_{DLP}^i мЗв/(мГр·см) МУ 2.6.1.2944-11	E 1 ^{a)} , мЗв	E 2 ^{b)} НРБ-99/2009	E 3 ^{c)} ICRP-103	E 2-E 1	E 3-E 1	НРБ 99/2009	ICRP-103
КТ-1	30,6	887,5	0,014	12,4	16,08	13,87	+3,68	+1,47	0,018	0,016
КТ-2	16,5	584,7	0,015	8,8	12,14	9,98	+3,34	+1,18	0,021	0,017

Примечания: ^{a)} E 1 – эффективная доза рассчитана по данным на консоли КТ-сканера с использованием взвешивающих коэффициентов для анатомических областей из МУ 2.6.1.2944-11;

^{b)} E 2 – эффективная доза рассчитана на основании фантомной дозиметрии с использованием взвешивающих коэффициентов ткани из НРБ 99/2009;

^{c)} E 3 – эффективная доза рассчитана на основании фантомной дозиметрии с использованием взвешивающих коэффициентов ткани из ICRP-103;

^{d)} разность между значениями эффективных доз в абсолютных единицах.

При этом следует учесть, что DLP с консоли отражает поглощенную дозу облучения не отдельных органов и тканей, а всей сканируемой анатомической области. Для расчета E 1 взвешивающие коэффициенты для анатомических областей приведены в МУ 2.6.1.2944-11 (в редакции МУ 2.6.1.3584-19). При фантомной дозиметрии эффективная доза облучения рассчитывалась как сумма доз облучения органов и тканей с учетом взвешивающих коэффициентов для этих конкретных органов и тканей по НРБ-99/2009 (E 2) и по ICRP-103 (E 3).

Как видно из таблицы 3.4, эффективные дозы, рассчитанные по результатам фантомных измерений, превышают значения, полученные исходя из DLP на консоли КТ-сканера: при КТ-1 по НРБ 99/2009 – в 1,30 раза и по ICRP-103 – в 1,12 раза, при КТ-2 по НРБ 99/2009 – в 1,38 раза и по ICRP-103 – в 1,13 раз (с учетом отличий во взвешивающих коэффициентах ткани по НРБ 99/2009 и по ICRP-103). То есть превышения E при выполненных фантомных измерениях по сравнению с

оценками E по DLP на консоли при КТ-1 и КТ-2 были сходны и составляли при использовании взвешивающих коэффициентов ткани из НРБ 99/2009 – 30-38%, а из ICRP-103 – от 12 до 13%.

Различия доз при фантомной дозиметрии и вычисленных по DLP на консоли может быть связано с тем, что DLP рассчитывается на основе CTDIvol, а CTDIvol оценивается при периодической калибровке КТ-сканеров на стандартных (цилиндрических) фантомах диаметрами 32 см и 16 см. Однако пациенты значительно отличаются от таких фантомов по размеру и форме, в связи с этим значения поглощенной дозы на томографический срез (CTDIvol) не отражают среднюю поглощенную дозу для большинства пациентов. Как указано в ICRU Report No. 87 [170], при длине фантома 10 см исключается оценка доз от хвостов рассеяния излучения, и поэтому недооценивается поглощенная доза для типичных длин сканирования тела от 25 см и более, хотя фактическая доза будет увеличиваться в зависимости от длины сканирования. Для более точного измерения требуется фантом длиной почти 45 см, что позволит лучше учитывать пространственное распределение облучения [170].

Кроме оценок эффективных доз облучения при КТ исследованиях, выполненные фантомные измерения позволили определить дозовые коэффициенты (e_{DLP}^i мЗв/(мГр·см) на области сканирования для корректного пересчета поглощенной дозы (DLP) в эффективную для конкретного КТ сканера и протокола КТ. При использовании методики, описанной в ГОСТ 27451-87 и ICRU Report No. 87 [11, 170], для КТ-сканера Toshiba Aquilion 64 для величин взвешивающих коэффициентов ткани из НРБ 99/2009 и ICRP-103, соответственно, они составили: при КТ-1 – 0,018 и 0,016, при КТ-2 – 0,021 и 0,017. Оказалось, что полученные значения превышают дозовые коэффициенты, которые приводятся в методических указаниях МУ 2.6.1.2944-11 (приведенные в МУ 2.6.1.2944-11 значения дозовых коэффициентов составляют 0,014 мЗв/(мГр·см) для КТ-1 и 0,015 мЗв/(мГр·см) для КТ-2).

В нашем исследовании применялись прямые измерения дозы с помощью детекторов ТЛД, установленных в тканеэквивалентном фантоме, приближенном к

телосложению взрослого пациента и к цилиндрическому фантому шириной 45 см. Такой подход позволил учесть реальные условия КТ-сканирования, включая рассеянное излучение, и продемонстрировал более высокие значения доз по сравнению со значениями, рассчитанными по DLP на консоли КТ-сканера. Ограничением метода прямой дозиметрии остается возможный разброс показаний ТЛД. Для уменьшения этого разброса необходимо увеличение числа детекторов в каждом органе. CTDIvol и DLP являются универсальными критериальными параметрами для сопоставления доз облучения от разных КТ-сканеров, но для более точной оценки индивидуальной дозовой нагрузки на пациента важно периодически уточнять её на основе дозиметрических измерений [90, 104, 136, 145], в том числе на тканеэквивалентном фантоме.

Таким образом, в ходе выполненного исследования установлено, что эффективная доза облучения по результатам измерений на тканеэквивалентном фантоме RANDO с использованием ТЛД-детекторов превышала дозу, рассчитанную по значениям DLP на консоли КТ-сканера в 1,12-1,13 раза при использовании взвешивающих коэффициентов ткани по ICRP-103 и в 1,30-1,38 раза при использовании взвешивающих коэффициентов ткани по НРБ-99/2009. Это может быть связано с особенностями оценки CTDIvol на стандартных фантомах диаметрами 16 и 32 см и толщиной 10 см, используемых при калибровке доз облучения КТ-сканеров, по сравнению с тканеэквивалентным фантомом RANDO, который по своим размерам более соответствует телу реального пациента.

В исследовании M. Sohrabi с соавт. [185] была выявлена сходная проблема: консольные показатели могли занижать фактическую дозу до 70%, либо завышать её почти в два раза при среднем расхождении в 10-20 % [78]. Важность учёта таких расхождений особенно актуальна при повторных КТ сочетанных областей тела, при которых дозы облучения органов могут достигать до 100-200 мГр [193].

Зависимость результатов расчетов доз облучения органов и тканей при фантомной дозиметрии от величин взвешивающих коэффициентов тканей по НРБ-99/2009 и по ICRP-103 подчеркивает важность единообразия использования

этих коэффициентов для корректного сравнения результатов между разными КТ-исследованиями.

По результатам выполненной прямой дозиметрии органы и ткани по уровням доз облучения при КТ сочетанных анатомических областей тела можно разделить на 3 группы в зависимости от вклада в эффективную дозу облучения: 1) гонады, красный костный мозг, толстый кишечник, легкое, желудок – вклад 71,8-76,2%; 2) мочевой пузырь, печень и пищевод – вклад 15,0-19,9%; 3) кожа груди, живота и таза, клетки костной поверхности, «остальное» – вклад 3,8-11,1%.

Проведенные измерения позволили уточнить для КТ-сканера Toshiba Aquilion 64 дозовые коэффициенты (e_{DLP}^i мЗв/(мГр·см)) на изученные сочетанные области сканирования. Они составили при использовании взвешивающих коэффициентов тканей по НРБ-99/2009 и по ICRP-103: при КТ-1 – 0,018 и 0,016 соответственно; при КТ-2 – 0,021 и 0,017 соответственно, в то время как в методических указаниях МУ 2.6.1.2944-11 дозовые коэффициенты равны 0,014 для КТ-1 и 0,015 для КТ-2.

Уточненные в ходе фантомной дозиметрии дозовые коэффициенты e_{DLP}^i мЗв/(мГр·см) для двух исследованных сочетанных анатомических областей (КТ-1 – ОГК, ОБП и ЗП, ОМТ и КТ-2 – ОБП и ЗП, ОМТ) могут быть использованы при переоценке накопленных доз облучения за предшествующие годы при обследованиях на данном КТ-сканере персонала, работающего с источниками ИИ. Это позволит скорректировать коллективные оценки уровней риска отдаленных последствий облучения при КТ и, при необходимости, спланировать ограничительные меры по радиационному воздействию на пациентов при последующем облучении с медицинскими целями в ходе использования методов лучевой диагностики.

3.2.3 Сопоставление методик расчета стандартных доз

В таблице 3.5 сопоставлены стандартные дозы облучения (Me [25th, 75th], мЗв), рассчитанные по методу 1 (по всей выборке – 4 854 КТ-исследования) и по методу 2 (в группе пациентов с массой тела 70 ± 5 кг – 1 203 КТ-исследования) за

одно КТ-исследование по всем анатомическим областям на КТ-томографе Canon Aquilion One 320 в 2024 г.

Таблица 3.5 – Стандартные дозы облучения пациентов (Me [25th, 75th], мЗв) в группе по всей выборке (метод 1) и в группе пациентов с массой тела 70 ± 5 кг (метод 2) за одно КТ-исследование по анатомическим областям в 2024 г. (на КТ-томографе Canon Aquilion One 320)

Анатомические области	Показатели	КТ без КУ		КТ с КУ	
		метод 1	метод 2	метод 1	метод 2
1. Голова	СД	1,6 [1,4;2,3]	1,5 [1,4;2,0]	3,3 [2,5;4,4]	3,85 [2,8;4,4]
	M $\pm$ m	79,2 $\pm$ 1,47	70	77,5 $\pm$ 1,78	70
	N	563	130	89	18
2. Шея	СД	1,95 [1,0;4,0]	2,0	6,36 [4,7;10,6]	10,6 [8,6;10,6]
	M $\pm$ m	85,0 $\pm$ 9,14	70	75,0 $\pm$ 4,64	70
	N	5	1	13	3
3. Органы грудной клетки	СД	3,3 [2,2;5,2]	2,0 [1,7;3,3]	10,7 [6,9;14,5]	8,8 [5,3;11,4]
	M $\pm$ m	76,6 $\pm$ 0,8	70	79,8 $\pm$ 3,09	70
	N	591	139	62	17
4. Сердце и сосуды	СД	4,0 [2,2;5,0]	1,7 [1,1;2,7]	8,0 [5,3;12,7]	3,9 [3,1;6,9]
	M $\pm$ m	84,8 $\pm$ 1,9	70	83,9 $\pm$ 1,25	70
	N	76	17	267	65
5. ОБП и ЗБП	СД	7,8 [5,4;12,8]	5,05 [4,3;6,2]	21,7 [15,5;32,0]	18,8 [15,0;24,0]
	M $\pm$ m	78,9 $\pm$ 1,17	70	77,1 $\pm$ 0,93	70
	N	280	58	431	103
7. Позвоночник и спинной мозг	СД	7,0 [4,1;10,1]	5,3 [4,8;7,2]	11,25	-
	M $\pm$ m	78,4 $\pm$ 1,4	70	60	-
	N	144	37	1	-

Продолжение таблицы 3.5

Анатомические области	Показатели	КТ без КУ		КТ с КУ	
		метод 1	метод 2	метод 1	метод 2
8. Кости, суставы и мягкие ткани конечностей	СД	2,2 [0,4;4,3]	2,65 [1,0;3,7]	-	-
	M±m	79,3±1,72	70	-	-
	N	103	24	-	-
9. ОГК, ОБП, ЗБП и таза	СД	10,3 [7,0;16,7]	6,3 [5,7;7,3]	23,0 [15,2;28,6]	17,6 [12,9;23,2]
	M±m	77,8±1,56	70	75,7±0,34	70
	N	162	38	2065	551
Всего	N	1932	445	2922	758

Примечания: СД – стандартная доза облучения (Me [25th, 75th], мЗв;

метод 1 – оценка по всей выборке пациентов (4 854 КТ-исследования);

метод 2 – оценка по отобранной выборке пациентов с массой тела 70±5 кг (1 203 КТ-исследования);

M – среднее арифметическое значение массы тела пациентов;

m – стандартная ошибка среднего арифметического значения;

N – количество пациентов в группе.

Для большинства анатомических областей (ОГК, ОБП, смежные области) стандартная доза, рассчитанная по методу 1 (пациенты из всей выборки, средняя масса тела от 75 до 85 кг) была выше, чем по методу 2 (отобранные из всей выборки пациенты с массой 70±5 кг), различия между медианами стандартной дозы были статистически значимыми ($p < 0,05$). Это может быть связано с тем, что в общей выборке средняя масса тела пациентов в 1,1-1,2 раза превышала стандартную (70 кг). Для областей «Голова», «Шея и Кости», «Суставы и мягкие ткани конечностей» зависимости дозы облучения от массы тела не выявлено.

С использованием статистического метода 3 были выполнены расчеты стандартных доз облучения пациентов, которым выполнялись КТ-исследования для ОГК и сочетанной области ОГК+ОБП+ЗБП и ОМТ. Полученные модели линейной аппроксимации зависимости дозы облучения от массы тела пациентов для этих анатомических областей при КТ без КУ и КТ с КУ представлены на рисунке 3.2.

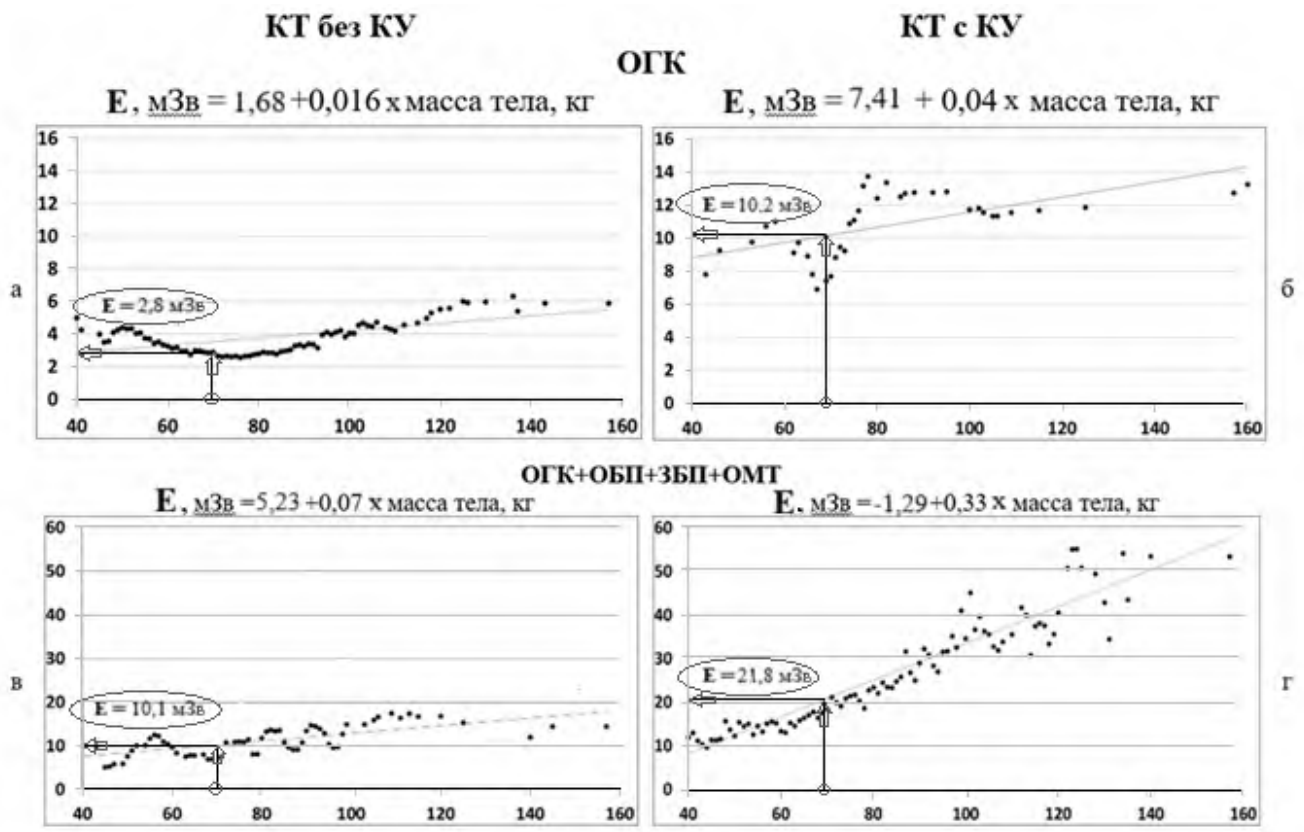


Рисунок 3.2 – Модели линейной аппроксимации для зависимости эффективной дозы облучения (E , мЗв) от массы тела пациента при КТ ОГК (а, б) и КТ ОГК+ОБП+ЗБП+ОМТ (в, г), без КУ (а, в), с КУ (б, г) на КТ-томографе Canon Aquilion One 320 в 2024 г;

по оси абсцисс – масса тела пациента (кг),

по оси ординат – эффективная доза (мЗв) за одно КТ-исследование.

В таблице 3.6 представлены результаты, полученные при использовании трех методов статистической оценки СД облучения пациентов за одно КТ-исследование по основным анатомическим областям. Как видно, при использовании метода 1 и метода 3 значения СД близки. Это обусловлено численным преобладанием в 1 и 3 группах пациентов с массой тела выше 70 кг по сравнению с группой, в которой проводили оценку по методу 2. Как показано на рисунке 3.3, в общей выборке (метод 1) преобладали пациенты с массой тела от 75 до 85 кг. В связи с этим медиана доз облучения, рассчитанная по методу 1, приближается к значениям, рассчитанным по методу 3 (по модели линейной аппроксимации).

Таблица 3.6 – Сравнение методов оценки стандартной дозы облучения пациентов за одно КТ-исследование по анатомическим областям на КТ-томографе Canon Aquilion One 320

Анатомические области	Показатели	КТ без контрастного усиления			КТ с контрастным усилением			
		Метод 1 (Медиана по всей выборке)*	Метод 2 (Медиана по выборке 70±5 кг)**	Метод 3 (по всей выборке по модели аппроксимации для 70 кг)***	Среднее кол-во фаз сканирования	Метод 1 (Медиана по всей выборке)*	Метод 2 (Медиана по выборке 70±5 кг)**	Метод 3 (по всей выборке по модели аппроксимации для 70 кг)***
1. Голова	СД	1,6 [1,4;2,3]	1,5 [1,4;2,0]	1,81	2,1	3,3 [2,5;4,4]	3,85 [2,8;4,4]	3,4
	M±m	79,2±1,47	70	79,2±1,47		77,5±1,78	70	77,5±1,78
	N	563	130	563		89	18	89
3. ОГК	СД	3,3 [2,2;5,2]	2,0 [1,7;3,3]	3,99	2,3	10,7 [6,9;14,5]	8,8 [5,3;11,4]	9,55
	M±m	76,6±0,8	70	76,6±0,8		79,8±3,09	70	79,8±3,09
	N	591	139	591		62	17	62
5. ОБП и ЗБП	СД	7,8 [5,4;12,8]	5,05 [4,3;6,2]	6,38	3,7	21,7 [15,5;32,0]	18,8 [15,0;24,0]	20,11
	M±m	78,9±1,17	70	78,9±1,17		77,1±0,93	70	77,1±0,93
	N	280	58	280		431	103	431
9. ОГК, ОБП и ЗБП	СД	10,3 [7,0;16,7]	6,3 [5,7;7,3]	9,34	2,8	23,0 [15,2;28,6]	17,6 [12,9;23,2]	18,24
	M±m	77,8±1,56	70	77,8±1,56		75,7±0,34	70	75,7±0,34
	N	162	38	162		2056	551	2056

Примечания: *метод 1 – оценка стандартной дозы облучения пациентов Me [25th, 75th], мЗв по всей выборке пациентов для данной анатомической области;

**метод 2 – оценка стандартной дозы облучения пациентов Me [25th, 75th], мЗв по выборке пациентов массой 70±5 кг для данной анатомической области;

***метод 3 – оценка стандартной дозы облучения пациентов, мЗв по всей выборке пациентов данной анатомической области, вычисленной по модели линейной аппроксимации $СД=a+bX$, где СД – стандартная доза, мЗв, рассчитанная методом линейной аппроксимации для пациента массой 70 кг;

M – среднее арифметическое значение массы тела пациентов;

m – стандартная ошибка среднего арифметического значения.

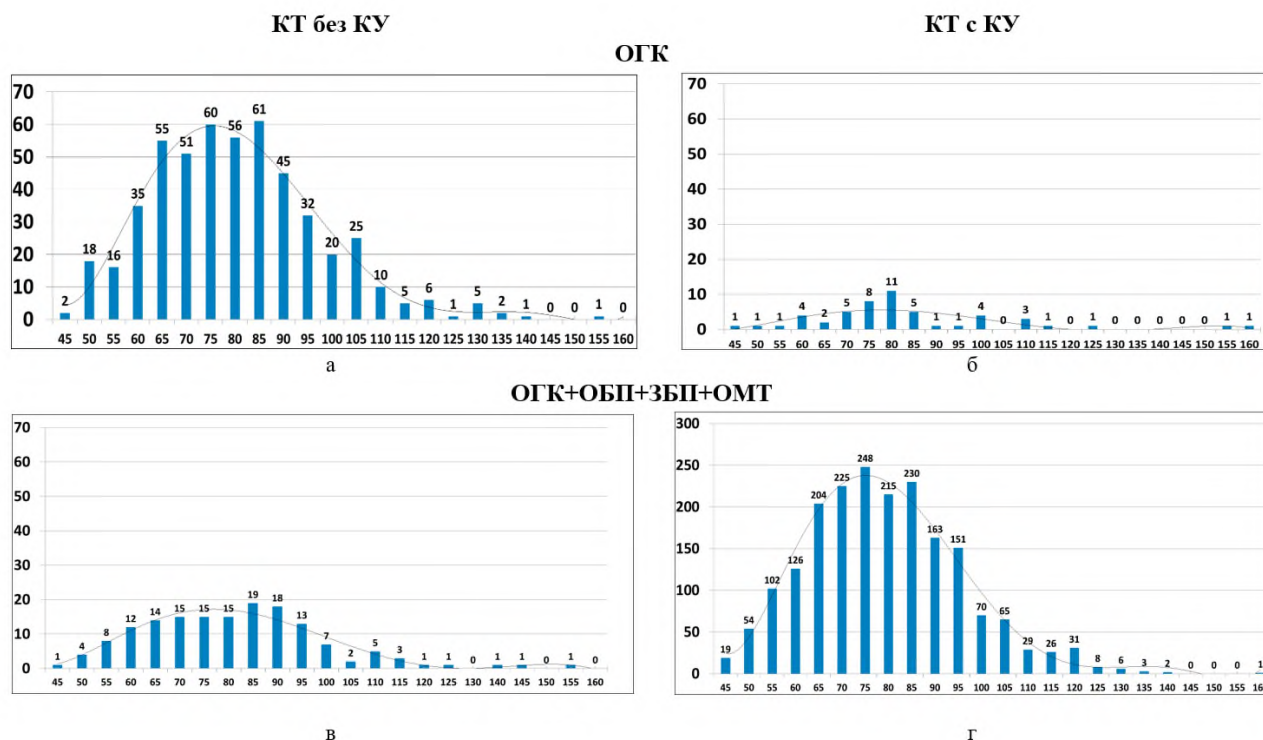


Рисунок 3.3 – Распределение пациентов с разной массой тела и линия тренда этого распределения при КТ ОГК (а, б) и КТ ОГК+ОБП+ЗБП+ОМТ (в, г), /без КУ (а, в), с КУ (б, г) на КТ-томографе Canon Aquilion One 320 в 2024 г.; по оси абсцисс – масса тела пациентов (кг), по оси ординат – количество пациентов.

Следует отметить, что при сравнении статистических методов 2 и 3, при которых в отличие от метода 1, для оценки СД используется критерий «стандартного» пациента, установлено, что результаты оценок по методу 2 (с отбором пациентов с массой тела 70 ± 5 кг) в 1,1-1,5 раза ниже, чем по методу 3 (с расчетом по модели линейной аппроксимации для пациента массой тела 70 кг). Так, значения СД при использовании 2 и 3 методов для наиболее протяженных смежных областей составили: при КТ без КУ для области 9 (ОГК, ОБП, ОМТ и таза) – 6,3 мЗв (2 метод) и 9,34 мЗв (3 метод); при КТ с КУ для области 5 (ОБП и ЗБП) – 18,8 мЗв (2 метод) и 20,11 мЗв (3 метод).

В связи с этим при сравнениях СД в разных выборках пациентов целесообразно использовать один и тот же статистический метод: по отобранным пациентам с массой тела 70 ± 5 кг, если имеется не менее 20 пациентов с массой

тела 70 ± 5 кг (метод 2), в противном случае – по всей выборке из не менее 50 пациентов (метод 1). Оценка СД с использованием метода линейной аппроксимации зависимости дозы от массы тела (метод 3) выполнена по аналогии с оценкой СД в рентгенологических исследованиях общего назначения [101], но в методических рекомендациях по оценке СД при КТ [79] этот метод не указан.

При анализе данных таблицы 3.5, касающихся КТ с контрастным усилением, следует обратить внимание на следующий момент. В повседневной практике при первичных КТ используют 3-4 фазы, а при повторных сканированиях в целях снижения лучевой нагрузки на пациента иногда используют 2-3 фазы. В связи с этим даже при более протяженной анатомической области сканирования 9 (органы грудной клетки, брюшной полости и забрюшинного пространства, и таза) при среднем количестве фаз 2,8 доза облучения была несколько меньше (17,6-18,24 мЗв), чем при КТ менее протяженной анатомической области 5 (органы брюшной полости и забрюшинного пространства) (18,8-20,11 мЗв), так как для области 5 среднее количество фаз сканирования было больше и составляло 3,7. Это подтверждает положение о том, что оценку доз при КТ с контрастированием важно проводить за одну фазу, так как это позволяет устранить влияние вариабельности протоколов. Однако, к сожалению, в нашем лечебном учреждении до настоящего времени для КТ с КУ сохранялся дозовый отчет только за полное исследование.

Известно, что дозы облучения пациентов при КТ одной и той же области крайне вариабельны, это затрудняет их корректное сопоставление. Так, в обзорном исследовании I. Garba с соавт. [150] была отмечена 2-3-кратная разница в значениях DRLs «Diagnostic Reference Levels in Medical Imaging» (РДУ) между исследованиями для одной и той же процедуры.

В связи с этим для сравнения доз облучения пациентов в разных медицинских организациях широко используется стандартная доза. Однако при ее расчетах могут применяться разные статистические методы. Так, в ICRP Publication 135 [166] указано, что РДУ должны быть стандартизованы, т.е. приведены, насколько это возможно, для «пациента стандартного размера» для

каждого рассматриваемого типа КТ-исследования и анатомической области в типичном режиме работы данного рентгеновского аппарата с типичным протоколом его выполнения.

В соответствии с Методическими рекомендациями МР 2.6.1.0296-22 [79] при расчете СД для рентгенорадиологического исследования и/или процедуры оценивается среднее значение выбранной дозовой характеристики для выборки пациентов при проведении рентгенорадиологического исследования и/или процедуры в типовом режиме работы аппарата для рентгеновской или радионуклидной диагностики с типовым протоколом его выполнения. При этом для определения СД пациентов для каждого рентгенорадиологического исследования сбор данных проводится по 20 «стандартным» пациентам по каждой возрастной группе. При отсутствии сведений об антропометрических параметрах пациентов в анкеты заносят параметры проведения исследований для 50 пациентов без учета их массы тела и роста. При этом указано, что при оценке СД приоритетным параметром является масса тела пациента.

Рассмотренные нами статистические методы 1 и 2 соответствуют рекомендованным [79], однако в наших выборках не учитывались рост и размеры торса, так как в реальной клинической практике это трудно выполнимо в связи с тем, что эти параметры не заносятся в информационную базу отделений лучевой диагностики.

Следует отметить, что в части ситуаций для расчета СД достаточно методов 1 и 2. Однако, если строго руководствоваться МР 2.6.1.0296-22 [79], то в одних ситуациях для расчета СД при КТ применим метод 1 (когда количество КТ-исследований по каждой анализируемой анатомической области 50 и более), в других ситуациях применим метод 2 (когда есть возможность для КТ анализируемой анатомической области отобрать «стандартных» пациентов с массой тела $70 \text{ кг} \pm 10\%$ (64-78 кг)). Но остается непонятным, как считать СД в часто встречаемых, особенно в небольших ЛПУ, ситуациях, когда по каждой анализируемой анатомической области количество КТ-исследований менее 50, а количество КТ-исследований пациентов с массой тела $70 \text{ кг} \pm 10\%$ (64-78 кг) менее

20. В этом случае, по нашему мнению, было бы возможно применять метод 3, приведенный в МР 2.6.1.0066-12 [101], но только для рентгенологических исследований общего назначения. Вычисление СД с использованием в качестве статистического критерия метода линейной аппроксимации (метод 3) было с успехом апробировано в нашей работе [47].

Как установлено в данном исследовании, результаты оценки СД по методу 3 близки к средним значениям по общей выборке (метод 1), поэтому метод 3, по нашему мнению, при больших выборках (более 50 пациентов) может дублировать метод 1, так как чем больше в выборке пациентов с массой тела выше 70 кг, тем СД больше приближается к средней дозе по этой выборке.

Следует уточнить, что при малых выборках КТ-исследований при расчетах СД будут увеличиваться неопределенности (погрешности) в расчетах СД при всех трех использованных статистических методах. В связи с этим, представляется необходимым проведение дополнительных исследований по сопоставлению результатов статистической оценки СД с использованием 1, 2 и 3 методов применительно к малым выборкам, учитывая увеличение погрешности оценок при уменьшении количества КТ-исследований в выборке.

Оценка РДУ по стране чаще проводится при рентгенографических исследованиях. В исследовании П. С. Дружининой с соавт. [94] был обобщен опыт формирования региональных РДУ для КТ-исследований преимущественно в шести регионах России (города Москва, Санкт-Петербург, Димитровград, Озерск, а также области Белгородская и Ленинградская). По этим данным значения РДУ в величинах DLP и эффективной дозы для однофазных КТ-исследований или одной фазы многофазных КТ-исследований в 2020 г. составили: голова – 1 200 мГр·см (2 мЗв), органы грудной клетки – 500 мГр·см (6 мЗв), органы брюшной полости – 800 мГр·см (11 мЗв), органы малого таза – 900 мГр·см (13 мЗв). Вычисленные в нашем исследовании СД по статистическим методам 1, 2 и 3 при КТ основных анатомических зон для КТ-томографа Canon Aquilion One 320 в ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России в 2024 г. ниже этих значений и

значений по МУК 2.6.7.3652-20 [60]: для головы – в 1,1-1,3 раза, для ОГК – в 1,5-3 раза, для ОБП – в 1,4-2,2 раза.

Установленные в нашем исследовании стандартные дозы облучения пациентов при КТ разных областей тела близки к европейским [159] и могут быть использованы в последующем для расчета РДУ при КТ-исследованиях в медицинских учреждениях ФМБА России.

Таким образом, в настоящем исследовании представлены и проанализированы три подхода к оценке СД при КТ-исследованиях. Результаты свидетельствуют о том, что корректность оценки и сопоставления СД зависит от единообразия методических подходов к их расчетам. При использовании одного и того же статистического метода такую оценку можно считать корректной и это будет в полной мере соответствовать задачам контроля за условиями облучения пациентов и при необходимости оптимизации этих условий.

В связи с этим в практическом аспекте при проведении внутреннего контроля доз в медицинской организации врачам-рентгенологам при оценке СД наиболее оптимально использовать статистические методы расчетов по выборке из не менее 20 пациентов со стандартной массой тела, как указано в МР 2.6.1.0296-22 [79]. Расчеты СД в разные годы или на разных КТ-томографах следует проводить по одному и тому же статистическому методу. Эти положения применяются в ЦЛД ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России при регулярной оценке СД и сопоставлении их с РДУ для всех исследуемых анатомических областей в целях постоянного контроля за дозами облучения пациентов.

3.3 Расчет радиационных рисков

На основании установленных доз облучения в процессе профессиональной деятельности и при КТ-исследованиях в ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России за 2020-2024 гг. (табл. 3.1) и коэффициентов пожизненного риска смерти на 1 мЗв (Табл. А-1) [91] были выполнены расчеты средних значений рисков отдаленных последствий для мужчин и женщин в зависимости от возраста (табл. 3.7) по основным анатомическим областям.

Таблица 3.7 – Средние значения рисков отдаленных последствий для персонала от доз облучения при профессиональной деятельности и при КТ-исследованиях в ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России за 2020-2024 гг.

Область КТ-сканирования *	Возраст, лет	Вид КТ-сканирования	Риск отдаленных последствий от облучения, случаев на 100 000 человек**					
			Мужчины			Женщины		
			На 1 мЗв	От дозы профессионального облучения	От суммарной дозы	На 1 мЗв	От дозы профессионального облучения	От суммарной дозы
1. Голова	20-24	КТ без КУ	7,9	8,5 / ОН	25,3 / Н	9,5	10,0 / ОН	27,0 / Н
		КТ с КУ			32,2 / Н			42,2 Н
	40-44	КТ без КУ	5,3	5,7 / ОН	17,0 / Н	6,9	7,2 / ОН	19,6 / Н
		КТ с КУ			21,6 / Н			30,6 Н
	45-49	КТ без КУ	4,6	4,1 / ОН	14,0 / Н	5,5	7,9 / ОН	18,8 / Н
		КТ с КУ			23,3 / Н			22,2 / Н
	70-74	КТ без КУ	1,6	1,4 / ОН	4,9 / ОН	1,1	1,6 / ОН	3,8 / ОН
		КТ с КУ			8,0 / ОН			4,4 / ОН
3. Органы грудной клетки	20-24	КТ без КУ	4,0	5,0 / ОН	18,0 / Н	8,1	7,1 / ОН	32,5 / Н
		КТ с КУ			53,8 / Н			80,4 / Н
	40-44	КТ без КУ	3,3	4,1 / ОН	14,8 / Н	5,7	5,0 / ОН	22,9 / Н
		КТ с КУ			44,4 / Н			56,6 / Н
	45-49	КТ без КУ	2,9	2,3 / ОН	12,3 / Н	4,9	6,2 / ОН	22,0 / Н
		КТ с КУ			24,3 / Н			31,7 / Н
	70-74	КТ без КУ	0,95	0,8 / М	4,0 / ОН	1,3	1,7 / ОН	58,4 / Н
		КТ с КУ			8,0 / ОН			84,1 / Н
5. ОБП и ЗБП и таза	20-24	КТ без КУ	3,9	7,5 / ОН	57,1 / Н	5,6	2,6 / ОН	59,0 / Н
		КТ с КУ			-			111,4 / У
	40-44	КТ без КУ	2,2	4,2 / ОН	32,2 / Н	3,2	1,5 / ОН	33,7 / Н
		КТ с КУ			-			63,7 / Н
	45-49	КТ без КУ	1,9	2,1 / ОН	19,9 / Н	2,6	2,0 / ОН	22,8 / Н
		КТ с КУ			-			40,0 / Н
	70-74	КТ без КУ	4,0	4,4 / ОН	41,8 / Н	4,6	3,6 / ОН	40,3 / Н
		КТ с КУ			-			70,8 Н

Продолжение таблицы 3.7

Область КТ-сканирования *	Возраст, лет	Вид КТ-сканирования	Риск отдаленных последствий от облучения, случаев на 100 000 человек**					
			Мужчины			Женщины		
			На 1 мЗв	От дозы профессионального облучения	От суммарной дозы	На 1 мЗв	От дозы профессионального облучения	От суммарной дозы
9. Органы грудной клетки, брюшной полости и ЗБП и таза	20-24	КТ без КУ	4,0	3,2 / ОН	38,5 / Н	8,1	6,0 / ОН	112,9 / У
		КТ с КУ			113,6 / У			127,0 / У
	40-44	КТ без КУ	3,3	2,6 / ОН	31,7 / Н	5,7	4,2 / ОН	79,5 / Н
		КТ с КУ			93,7 / Н			89,4 / Н
	45-49	КТ без КУ	2,9	2,7 / ОН	34,2 / Н	4,9	3,6 / ОН	67,3 / Н
		КТ с КУ			74,8 / Н			108,6 / У
	70-74	КТ без КУ	0,95	0,9 / М	11,2 / Н	1,3	1,0 / М	17,9 / Н
		КТ с КУ			24,5 / Н			28,8 / Н

Примечания: * – для анатомических областей «6. Органы малого таза» и «7. Кости и мягкие ткани» расчет не проводился из-за малочисленности КТ-исследований этих областей;

** – градации уровней риска [91] (см. табл. А-2): М – минимальный; ОН – очень низкий; Н – низкий; У – умеренный.

Как видно из таблицы 3.7, для большинства персонала, прошедшего КТ без КУ, радиационный риск оставался на «очень низком» и «низком» уровнях. Риски отдаленных последствий были выше, возрастая с «очень низкого» и «низкого» до «умеренного», у следующих категорий персонала:

- у лиц, проходивших КТ-исследования с КУ по сравнению с лицами, которые исследовались при КТ без КУ; при КТ с КУ риск отдаленных последствий возрастал с «очень низкого» (1-10 случаев на 100 000 чел.) до «умеренного» уровня (100-300 случаев на 100 000 чел.) при исследованиях ОБП, ОГК и ЗБП;
- у работников-женщин по сравнению с мужчинами по многим областям, особенно для сочетанной области исследования ОГК, ОБП, ЗБП и таза;
- у работников-женщин 20-24 и 45-49 лет и мужчин 20-24 лет при КТ с КУ.

У пожилых работников (старше 70 лет) значения радиационного риска были на минимальном уровне.

Наибольшее увеличение значений и градаций рисков отдаленных последствий отмечается (табл. 3.7) при КТ органов брюшной полости и при сочетаниях КТ органов грудной клетки, брюшной полости и забрюшинного пространства, и таза – с «очень низкого» риска (1-10 случаев на 10^5) до «низкого» (>10-100 случаев на 10^5), а при КТ-исследованиях с контрастированием – с «очень низкого» риска до «умеренного» (>100-300 случаев на 10^5).

За последние годы в отечественные нормативные и методические документы последовательно внедряется современная международная методология радиационной защиты при медицинском облучении, основой которой являются принципы обоснования назначения диагностических и лечебных процедур с применением ионизирующего излучения и оптимизация их проведения и разработка референтных диагностических уровней (РДУ). Однако даже при соблюдении РДУ (табл. 1.1) радиационный риск для персонала с учетом суммарной дозы облучения при профессиональной деятельности и при КТ-исследованиях значительно выше (рис. 3.4), чем пределы, установленные для профессиональной деятельности, особенно при сочетании КТ с КУ анатомических областей органы грудной клетки, брюшной полости, ЗБП и таза. Как видно, риск увеличивается с уровня «очень низкий» до уровней «низкий» и даже «умеренный», причем в большей мере у лиц женского пола по сравнению с мужчинами, а также в молодом возрасте (20-24 года), особенно при КТ с КУ (рис. 3.4 в). Установленное увеличение радиационных рисков обуславливает необходимость поиска методов снижения лучевой нагрузки на персонал при медицинских диагностических исследованиях органов брюшной полости и сочетаний органов – грудной клетки, брюшной полости и забрюшинного пространства, и таза, особенно у женщин до 24 лет при КТ без КУ и у женщин и мужчин до 49 лет при КТ с КУ.

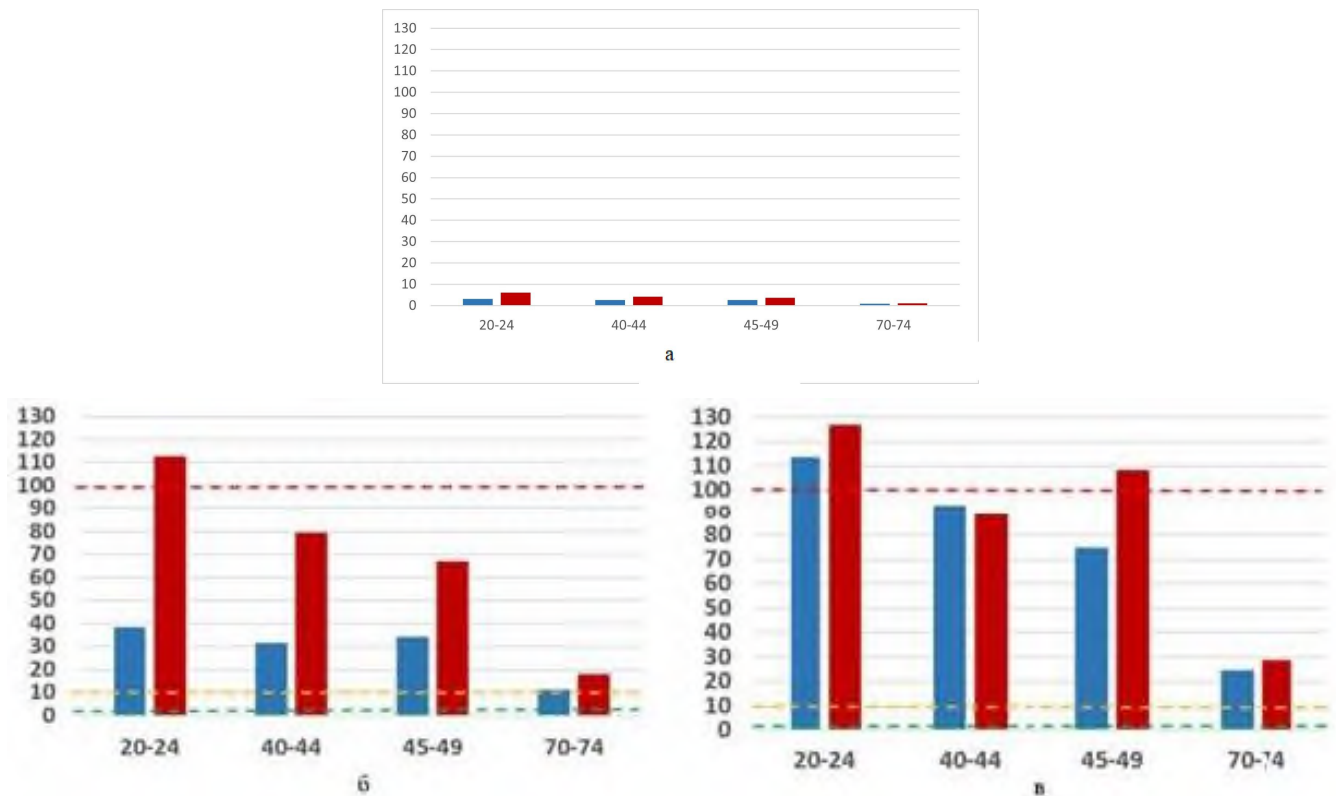


Рисунок 3.4 – Риск отдаленных последствий для персонала от доз облучения при профессиональной деятельности (а), при суммарной дозе облучения от профессиональной деятельности и при КТ-исследованиях области органы грудной клетки, брюшной полости и ЗБП и таза без КУ (б) и с КУ (в) в зависимости от пола и возраста; по оси абсцисс – возраст (годы), по оси ординат – риск отдаленных последствий (случаев на 10^5 человек);

пунктиром показаны границы градаций уровней рисков, случаев на 10^5 человек (табл. А-2): >1-10 – «очень низкий», >10-100 – «низкий», >100-300 – «умеренный».

■ Мужчины ■ Женщины

Установленное значительное превышение доз облучения работников при прохождении диагностических КТ-исследований над дозами при профессиональной деятельности требует разработки методов снижения лучевой нагрузки при медицинских исследованиях для предотвращения отдаленных эффектов от такого рода воздействий, преимущественно при сочетанном сканировании анатомических областей: у женщин молодого (20-24 года) возраста при КТ без контрастного усиления; при КТ с контрастным усилением у женщин от 20 до 49 лет и у мужчин от 20 до 24 лет. КТ-исследование обладает

диагностическими преимуществами при большом спектре патологий, однако применение этого исследования должно быть строго обосновано [28].

В настоящее время очень актуально совершенствование методов оценки рисков и направлений их снижения при многократных КТ [33]. Так авторы нового исследования [193] обращают внимание на то, что несколько миллионов пациентов по всему миру ежегодно получают кумулятивные дозы облучения в три знака до запятой в мГр на орган или в три знака до запятой в мЗв суммарной эффективной дозы. При этом один из каждых 125 пациентов облучается в эффективной дозе ≥ 50 мЗв при однократном проведении КТ-исследования, а трое из каждых 10 000 пациентов, проходящих КТ, получают суммарную эффективную дозу ≥ 100 мЗв за один день. По их оценкам, ежегодно к этим нескольким миллионам лиц, облучаемых в таких дозах, прибавляется почти полмиллиона пациентов в возрасте до 60 лет с заболеваниями, которые существенно не сокращают продолжительность жизни. В связи с этой беспрецедентной, по мнению авторов [193], ситуацией («an unprecedented era») они призывают прислушаться к призыву Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ) разработать решения для обеспечения более безопасной визуализации патологии у пациентов.

Введение дополнительных мер радиационного контроля и регулярная оценка дозовой нагрузки при медицинских диагностических исследованиях с применением ИИИ позволят повысить уровень радиационной безопасности персонала и населения в целом, снизив риск долгосрочных неблагоприятных эффектов.

Заключение по главе 3

В материалах главы 3 показано, что уровни профессионального облучения персонала, работающего с источниками ионизирующего излучения, в 2020-2024 гг. были существенно ниже установленных нормативных пределов и составляли 0,6-1,75 мЗв в год, а суммарные значения за пятилетний период составляли 3,7-6,15 мЗв. Это свидетельствует о высоком уровне защиты

персонала на радиационных производствах. При сохранении таких условий труда доза, прогнозируемая за весь период профессиональной деятельности, будет значительно ниже установленного предела – 1 000 мЗв за 50 лет.

Вместе с тем вклад медицинского облучения при компьютерной томографии в суммарную дозу облучения персонала является существенно более значимым, чем вклад профессионального облучения. Дозы при КТ, особенно при многофазных исследованиях с контрастным усилением и при КТ сочетанных анатомических областей, превышали профессиональные дозы в 3-15 раз [18], что приводило в отдельных половозрастных группах к увеличению уровней радиационного риска в соответствии с градациями [91] с «очень низкого» до «низкого» и «умеренного».

Результаты фантомной дозиметрии продемонстрировали, что расчет эффективной дозы по показателю поглощенной дозы DLP на консоли КТ-сканера может занижать реальную дозовую нагрузку на пациента на 12-38%, что имеет принципиальное значение при оценке радиационного риска у работников, проходящих повторные диагностические исследования.

В условиях возрастающего использования ионизирующего излучения при медицинской диагностике, а также неприменения принципа нормирования при медицинском облучении пациентов важно ориентироваться на РДУ, которые не являются нормативом, но рассматриваются как рекомендуемые референтные значения. Во всех медицинских организациях РДУ не должны превышать, и это важно регулярно контролировать при внутреннем контроле качества проведения этих процедур в рентгеновском отделении центра лучевой диагностики. Сопоставление доз облучения при КТ в конкретной медицинской организации с национальными РДУ проводится по значениям СД для каждой анатомической области в этой организации. Методики расчета СД отличаются при различной статистической представительности КТ-исследований [2, 79].

В нашем исследовании было показано, что нередко при малочисленности групп пациентов нет возможности отобрать 20 и более пациентов с массой тела $70 \text{ кг} \pm 10\%$ (64-78 кг), тем более в настоящее время при современной тенденции у

населения страны к увеличению средней массы тела до 75-85 кг. В других ситуациях общее число пациентов менее 50, что не позволяет использовать для вычисления СД среднее значение дозы в этой группе. В этих случаях методика 3 (основанная на рассчитанных моделях линейной аппроксимации дозы в зависимости от массы тела пациентов для каждой анатомической области) позволяет получить оценку СД, приближающуюся к «стандартному» пациенту с массой тела $70 \text{ кг} \pm 10\%$ (64-78 кг), с опорой на выборки менее 50 КТ-исследований для каждой анатомической области.

Вычисление СД по методу 3 при малочисленных выборках позволяет сопоставлять результаты оценки СД с аналогичными литературными данными и с рекомендациями МКРЗ, в которых часто приводится эффективная доза облучения для «стандартного» пациента массой $70 \pm 3 \text{ кг}$.

Таким образом, суммарная дозовая нагрузка персонала формируется не столько за счет облучения в условиях профессиональной деятельности, сколько в результате медицинских диагностических процедур, особенно при КТ-исследованиях. Это определяет необходимость не только количественной оценки доз при КТ и контроля за непревышением их уровней по отношению к национальным РДУ, но и активного использования принципов радиационной защиты «оптимизации» и «обоснования». Для этого необходимо провести анализ нозологий, при которых работникам наиболее часто назначаются КТ-исследования, и оценить возможности уменьшения их доли в применяемых методах лучевой диагностики (КТ и МРТ). Учитывая диагностические возможности метода МРТ, необходимо изучить структуру заболеваний персонала, направляемого на КТ-диагностику, и определить классы заболеваний, а также анатомические области сканирования с максимальными уровнями облучения пациентов, при которых исключение лучевой диагностики с использованием ионизирующего излучения наиболее обосновано и не приведет к снижению выявляемости патологии.

ГЛАВА IV. КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КТ- И МРТ-ИССЛЕДОВАНИЙ И СТРУКТУРА ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ ПАЦИЕНТОВ ИЗ ЧИСЛА ПЕРСОНАЛА В 2020-2025 ГГ.

4.1 Анализ общего количества выполненных КТ- и МРТ-исследований и доз облучения пациентов из числа персонала при КТ по основным классам заболеваний

В Центре лучевой диагностики ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России за 2020-2025 годы всего было обследовано 137 188 пациентов. Им выполнили 135 664 КТ и 50 639 МРТ процедур. В результате анализа установлено увеличение общего количества КТ процедур с 2020 по 2025 г. с 13 806 до 31 315 (рис. 4.1) или в 2,27 раза, то есть в 2025 г. относительно 2020 г. прирост составил 17 509 КТ-процедур (126,8%).

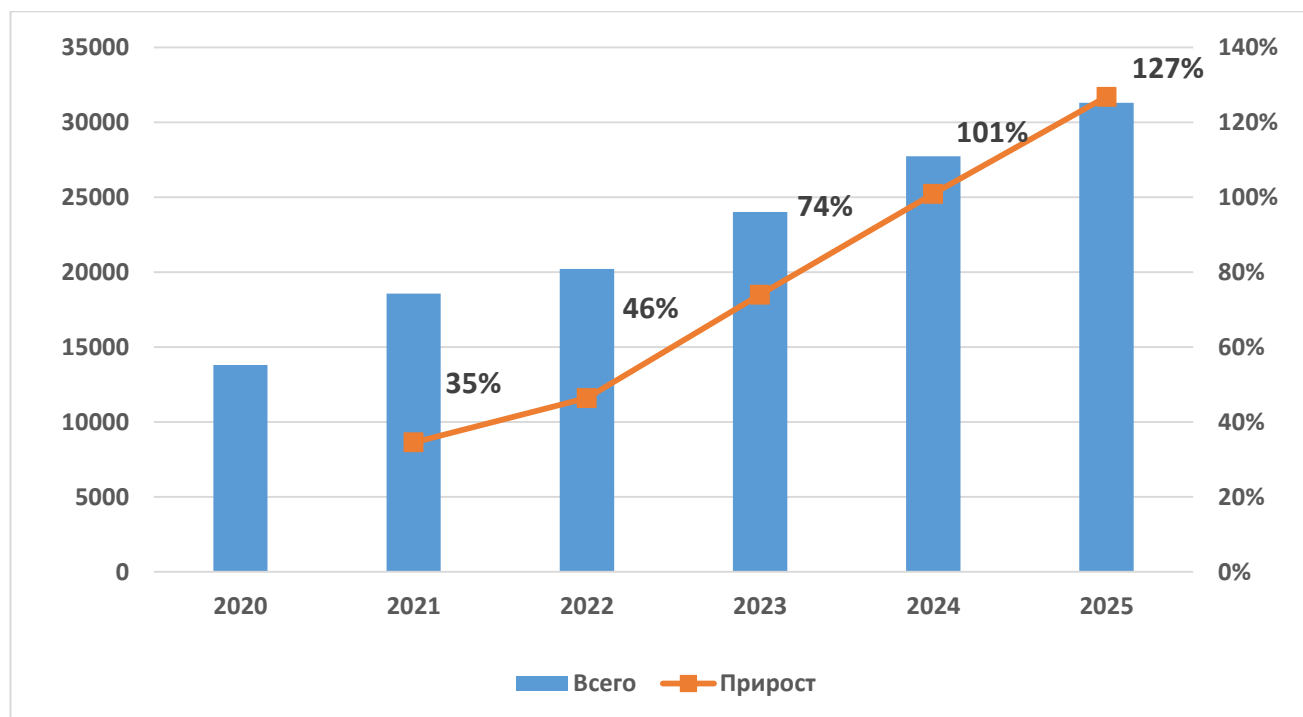


Рисунок 4.1 – Динамика общего количества КТ процедур в 2020-2025 гг. и их прирост в 2025 г. относительно 2020 г, по оси абсцисс – календарный год, по левой оси ординат – количество КТ-процедур, по правой оси ординат – прирост (%) по отношению к 2020 г.

При анализе количества МРТ-исследований было установлено ежегодное увеличение с 5 589 в 2020 г. до 11 146 в 2025 г.; прирост в 2025 г. относительно 2020 г. составил 102% (рис. 4.2).

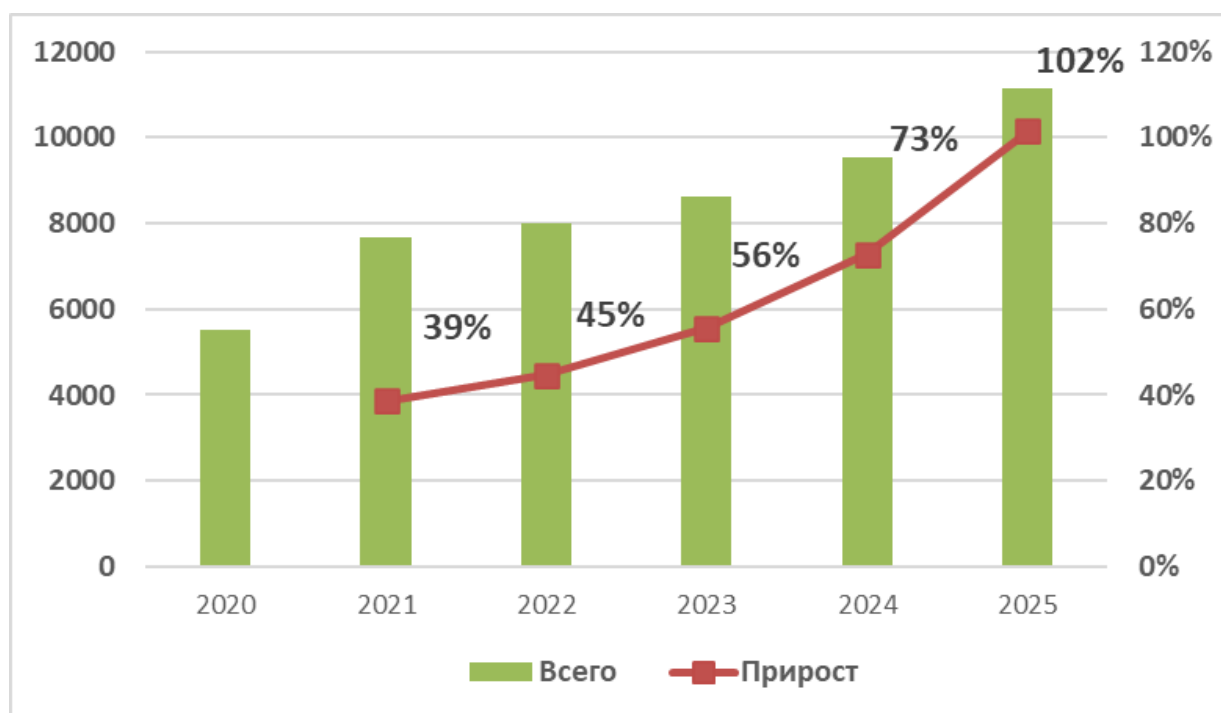


Рисунок 4.2 – Динамика количества МРТ-исследований в 2020-2025 гг., по оси абсцисс – календарный год, по левой оси ординат – количество МРТ-процедур, по правой оси ординат – прирост (%) по отношению к 2020 г.

Результаты оценки средних эффективных доз облучения за одно КТ-исследование пациентов из числа персонала, направляемых в 2020-2024 гг. в центр лучевой диагностики ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, в таблице 4.1 систематизированы по основным классам МКБ и по анатомическим областям. Суммарные дозы облучения работников, проходивших КТ без КУ, были минимальны (от 3,3 до 3,52 мЗв) при классах заболеваний: травмы, отравления и некоторые другие последствия воздействия внешних причин (S00-T99) и болезни нервной системы (G00-G99); и максимальны (от 5,71 до 7,43 мЗв) при классах заболеваний: новообразования (C00-D48) и болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм (D50-D89). При выполнении КТ с КУ средние дозы облучения работников от этих диагностических процедур были в несколько раз больше, чем при КТ без КУ. Максимальными (от 32,66 до 35,6 мЗв) они были у прошедших КТ

с КУ при болезнях органов дыхания (J00-J99), травмах, отравлениях и некоторых других последствий воздействия внешних причин (S00-T99).

При болезнях нервной системы (G00-G99) и болезнях системы кровообращения (I00-I99) дозы облучения при КТ с КУ составили от 8,67 до 19,54 мЗв.

Как видно из таблицы Б.1, дозы облучения персонала в процессе профессиональной деятельности в 2020-2024 гг. были значительно ниже ($p < 0,05$), чем дозы облучения при КТ-исследованиях, и не превышали в среднем 2,41 мЗв в год. Основной вклад в суммарную годовую дозу облучения (медицинскую и в профессиональных условиях) работников, проходивших КТ-исследования при лечении в клинике, вносили дозы от этих диагностических процедур.

4.2 Структура заболеваемости пациентов из числа персонала, которые проходили КТ-исследования

У пациентов из числа работников при 1 151 КТ-исследовании выявлены следующие классы заболеваний по МКБ-10 (табл. 4.2). Классы VII, VIII, а также XVIII, XXI были объединены в одну группу из-за относительно малого количества наблюдений. Класс XXII был отнесен к классу X, так как ставился первоначально, а при повторном обращении все диагнозы из класса XXII были отнесены к болезням органов дыхания и переведены в класс X. В статистический анализ не были включены класс XII (болезни кожи и подкожной клетчатки, L00-L99), так как этот диагноз был установлен только одному пациенту, а также не выявленные ни у одного работника классы: I – некоторые инфекционные и паразитарные болезни (A00-B99), V – психические расстройства и расстройства поведения (F00-F99), XVI – отдельные состояния, возникающие в перинатальном периоде, XV – беременность, роды и послеродовой период (O00-O99), XVI – отдельные состояния, возникающие в перинатальном периоде (P00-P96), XVII – врожденные аномалии [пороки развития], деформации и хромосомные нарушения (Q00-Q99), XX (V01-Y98) – внешние причины заболеваемости и смертности.

Таблица 4.2 – Классы заболеваний по МКБ-10 работников, направленных на КТ-исследование в центр лучевой диагностики ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России в 2020-2024 гг.

№ п/п	Класс МКБ	Рубрики МКБ	Название нозологий
1	II	C00-D48	Новообразования
2	III	D50-D89	Болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм
3	IV	E00-E90	Болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ
4	VI	G00-G99	Болезни нервной системы
5	VII, VIII	H00-H95	Болезни глаза и его придаточного аппарата Болезни уха и сосцевидного отростка
6	IX	I00-I99	Болезни системы кровообращения
7	X, XXII	J00-J99, U80-U85	Болезни органов дыхания Временные обозначения диагнозов неясной этиологии или для использования в чрезвычайных ситуациях
8	XI	K00-K93	Болезни органов пищеварения
9	XIII	M00-M99	Болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани
10	XIV	N00-N99	Болезни мочеполовой системы
11	XVIII, XXI	R00-R99, Z00-Z99	Симптомы, признаки и отклонения от нормы, выявленные при клинических и лабораторных исследованиях, не классифицированные в других рубриках Факторы, влияющие на состояние здоровья населения и обращения в учреждения здравоохранения
12	XIX	S00-T98	Травмы, отравления и некоторые другие последствия воздействия внешних причин

Как показывает анализ общей структуры заболеваний этих пациентов, направляемых на КТ-исследования, при КТ без КУ (рис. 4.3 а) максимальным был вклад: болезней органов дыхания (J00-J99) – 41,4%; новообразований (C00-D48) – 13,1%; болезней системы кровообращения (I00-I99) – 10%; болезней крови, кроветворных органов, а также отдельных нарушений, вовлекающих иммунный механизм (D50-D89) – 6,8%. При КТ с КУ (рис. 4.3 б) в 3,7 раза увеличился по сравнению с КТ без КУ и был максимальным вклад новообразований (C00-D48) –

48,3%; в 1,4-2,5 раза стали больше доли болезней системы кровообращения (I00-I99) – 14,1% и болезней крови, кроветворных органов и отдельных нарушений, вовлекающих иммунный механизм (D50-D89) – 14,1%, а также болезней органов пищеварения (K00-K93) – 11,1%.

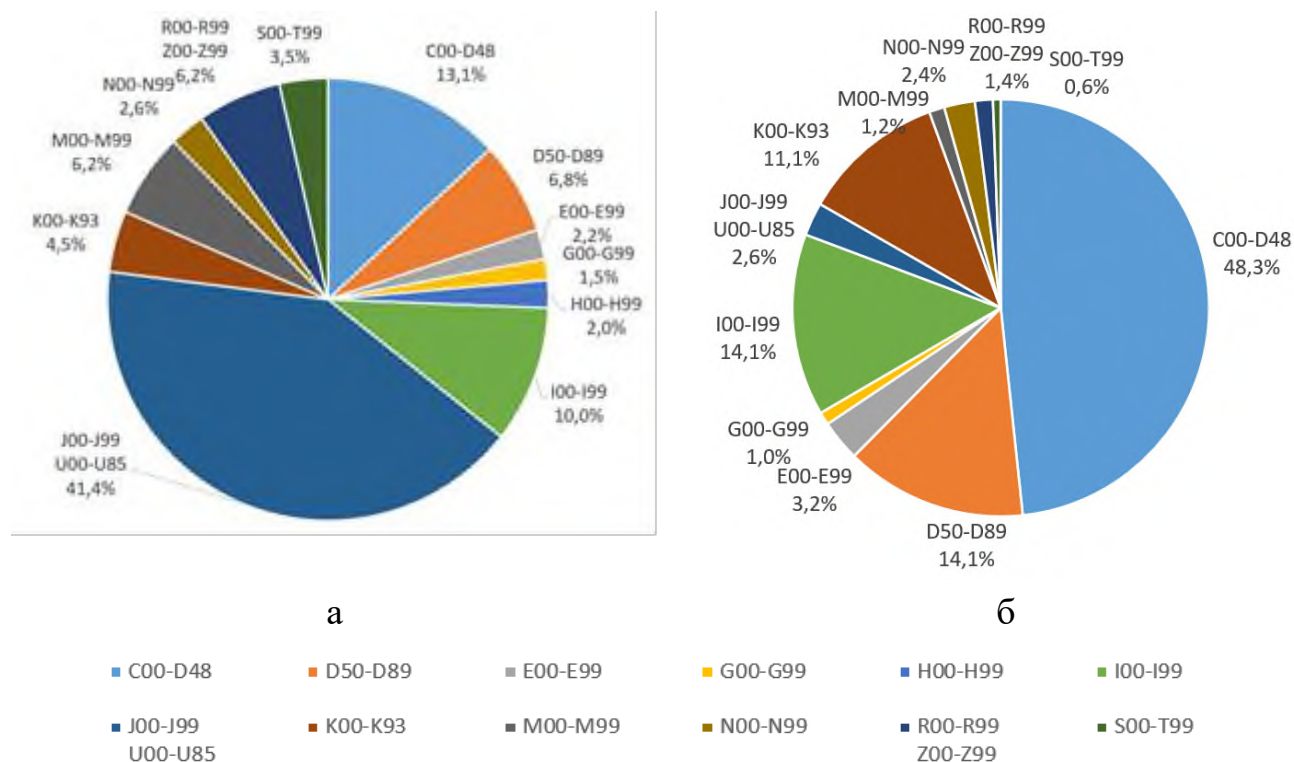


Рисунок 4.3 – Структура заболеваний (%) лиц из числа персонала, направляемых на КТ-исследования без контрастного усиления (а) и с контрастным усилением (б) в 2020-2024 годах. Условные обозначения: классы заболеваний по МКБ-10.

Была проанализирована структура заболеваемости работников мужчин и женщин в зависимости от возраста (до 45 лет и 45 лет и старше), проходивших КТ-исследования в 2020-2024 годах (рис. 4.4). При КТ без КУ у всех работников независимо от пола и возраста ведущими заболеваниями были болезни органов дыхания (J00-J99) – от 37,4 до 49,3%. На 2 и 3 местах у мужчин до 45 лет были симптомы, признаки и отклонения от нормы, выявленные при клинических и лабораторных исследованиях (R00-R99) – 12,3% и болезни органов пищеварения (K00-K93) – 6,9%; у мужчин 45 лет и старше значительно (в 3,6 и 3,2 раза, соответственно) превышали частоту у мужчин до 45 лет ($p < 0,05$) и занимали 2 и 3 места новообразования (C0-D48) – 19,5% и болезни системы кровообращения (I00-I99) – 14,9%.

При КТ без КУ на 2-4 местах у женщин до 45 лет были: болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм (D50-D89) – 10,4%; болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани (M00-M99) – 7,5%; болезни нервной системы (G00-G99) – 6%. У женщин 45 лет и старше превысили частоту у женщин до 45 лет и заняли 2-4 места: симптомы, признаки и отклонения от нормы, выявленные при клинических и лабораторных исследованиях (R00-R99) – 10,7% (увеличение в 1,8 раз); травмы, отравления и некоторые другие последствия воздействия внешних причин (S00-T98) – 7,8% (увеличение в 2,6 раза); новообразования (C00-D48) – 7,8% (увеличение в 2,6 раза).

При КТ с КУ у всех работников независимо от пола и возраста ведущими заболеваниями были новообразования (C00-D48) – от 29,7 до 76,9%. При КТ с КУ у мужчин на 2-4 местах как в группе до 45 лет, так и 45 и старше с небольшими колебаниями по доле соответственно этим возрастным группам были: болезни системы кровообращения (I00-I99) – 18,5 и 14,1%; болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм (D50-D89) – 17,2 и 13,5%; болезни органов пищеварения (K00-K93) – 18,8 и 11,8%.

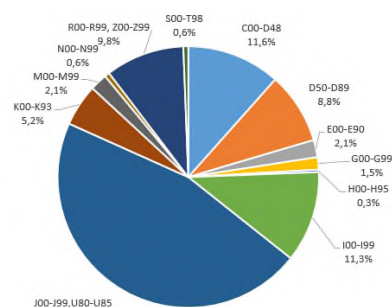
При КТ с КУ у женщин распределение по долям в обеих группах до и после 45 лет было очень близко; 2 место занимали болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм (D50-D89) – 11,5 и 14,7%. По остальным классам заболеваний назначения КТ как с контрастным усилением, так и без происходило в достаточно равной степени 3,8-6,9%. Обращает на себя внимание, что у женщин до 45 лет в целом меньше спектр заболеваний, по которым им было назначено выполнение КТ с КУ.

Проведенный анализ частоты назначений КТ-исследований анатомических областей в зависимости от классов заболеваний в 2020-2024 гг. (рис. 4.5.) показал следующее.

Анатомические
зоны

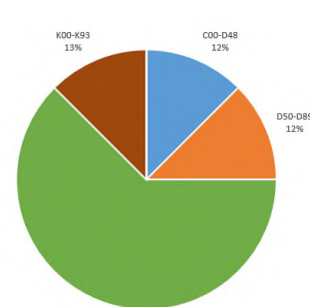
3. ОГК

КТ без КУ



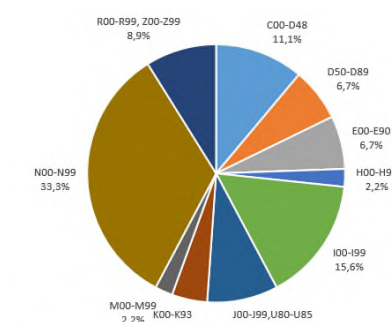
а

КТ с КУ

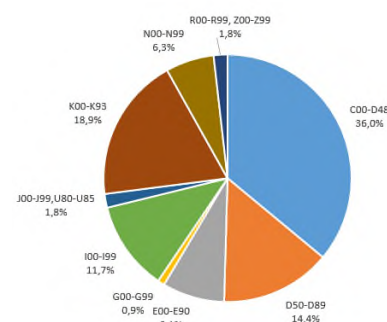


б

5. ОБП и ЗБП и
таза

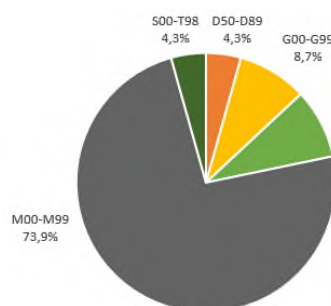


в



г

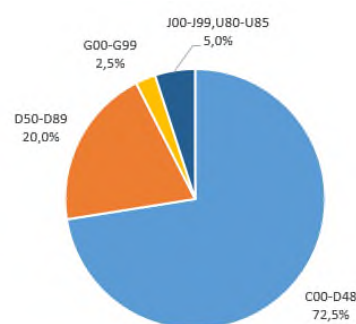
7. Позвоночник
и спинной мозг



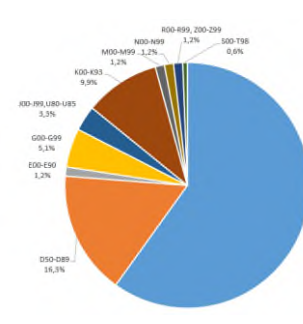
д

Нет исследований

9. ОГК, ОБП и
ЗБП и таза



е



ж



Рисунок 4.5 – Структура назначений КТ исследований без КУ и с КУ анатомических областей с максимальной дозой облучения пациента в зависимости от классов заболеваний в 2020-2024 гг.

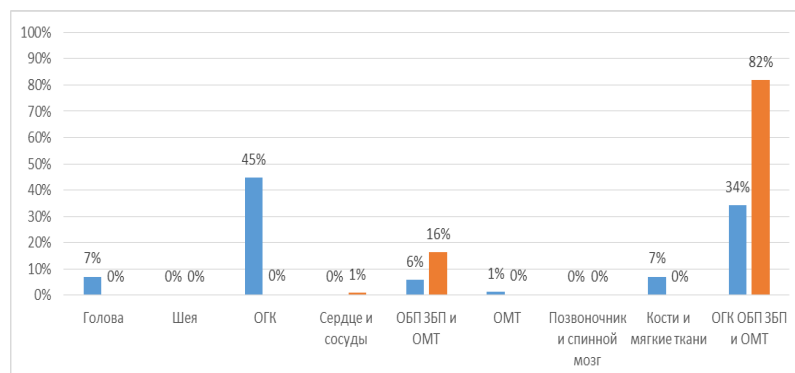
Наиболее часто пациенты назначались на КТ анатомических областей:

- ОГК без КУ (рис. 4.5 а) при болезнях класса X Болезни органов дыхания (J00-J99) – 46% и класса II Новообразования (C00-D48) – 11,6%; с КУ (рис. 4.5 б) при болезнях класса XI Болезни органов пищеварения (K00-K93) – 63%;
- ОБП, ЗБП и таза без КУ (рис. 4.5 в) при болезнях класса XIV Болезни мочеполовой системы (N00-N99) – 33,3% и класса IX Болезни системы кровообращения (I00-I99) – 15,6%; с КУ при болезнях класса II Новообразования (C00-D48) – 36,0% и без КУ (рис. 4.5 г) при болезнях XI Болезни органов пищеварения (K00-K93) – 18,9%;
- позвоночника и спинного мозга без КУ (рис. 4.5 д) при болезнях класса XIII Болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани (M00-M99) – 73,9%; КТ с КУ данной зоны не проводились в исследуемый период;
- ОГК, ОБП и ЗБП и таза как без КУ (рис. 4.5 е), так и с КУ (рис. 4.5 ж) класса II Новообразования (C00-D48) – 72,5 и 59,9% соответственно.

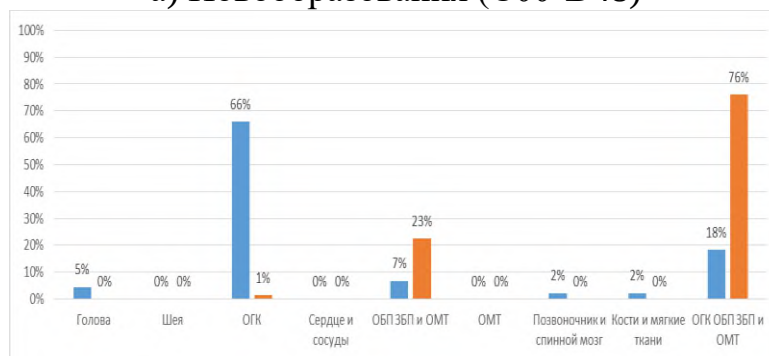
Для Классов II (C00-D48), III (D50-D89), IX (I00-I99) и X (J00-J99), для которых был установлен наибольший вклад в структуру заболеваемости работников, направляемых на КТ-исследования, была определена частота основных областей сканирования при КТ без КУ и при КТ с КУ (рис. 4.6). Как видно, при диагностике новообразований (C00-D48), болезней крови (D50-D89) и болезней органов дыхания (J00-J99) максимальная доля КТ без КУ приходится на область ОГК (от 45 до 66%), а при КТ с КУ – на комбинированную область ОГК, ОБП, ЗБП, ОМТ и таз (от 76 до 85%) (рис. 4.6 а, б, г).

При болезнях системы кровообращения (I00-I99) (рис. 4.6 в) при КТ без КУ: 18% исследований приходилось на голову, 57% – на ОГК; при КТ с КУ: 32% исследований приходилось на сердце и сосуды, 24% – на ОГК, ОБП, ЗБП, ОМТ и таз, 18% – на ОБП, ЗБП и ОМТ.

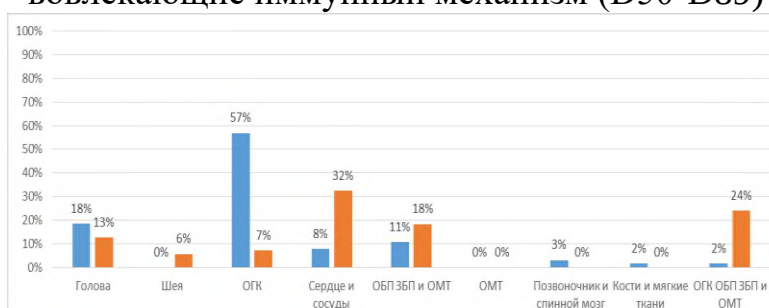
При болезнях органов дыхания (J00-J99) (рис. 4.6 г) 53% КТ без КУ приходилось на ОГК и 44% – на голову, что обусловлено необходимостью сканирования придаточных пазух носа, так как в класс (J00-J99) включены пациенты с заболеваниями органов верхних дыхательных путей – синуситы, полип носа, тонзиллит и др. (J00-J06 и J30-J39), которые составили соответственно 44% от всех заболеваний данного класса.



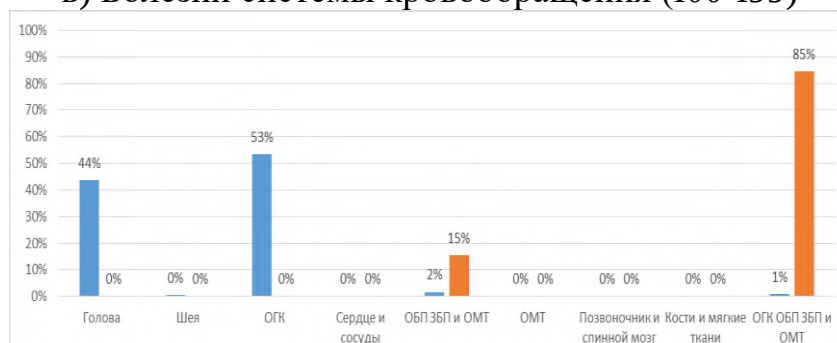
а) Новообразования (C00-D48)



б) Болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм (D50-D89)



в) Болезни системы кровообращения (I00-I99)



г) Болезни органов дыхания (J00-J99)

Рисунок 4.6 – Доля областей тела при КТ-диагностике заболеваний (а, б, в, г), которые внесли наибольший вклад в их общую структуру за 2020-2024 гг.; по оси абсцисс – анатомические области, по оси ординат – доля областей тела в общем количестве выполненных КТ, %.

■ – КТ без КУ, ■ – КТ с КУ.

При болезнях органов дыхания (J00-J99) выполнялись КТ с КУ сочетанной области ОГК, ОБП, ЗБП и ОМТ (85%) и ОБП, ЗБП и ОМТ (15%). Это связано с тем, что 12 работников, имеющих основной диагноз «Болезни органов дыхания (J00-J99)», имели ряд сопутствующих заболеваний (табл. Б.2), требующих назначения КТ-исследований этих областей. У одного из пациентов с этим классом МКБ при адекватно назначенном лечении сохранялась повышенная температура, что потребовало поиска другого очага инфекции, с этой целью было выполнено КТ с КУ сочетанной области ОГК, ОБП, ЗБП и ОМТ.

За последние годы в отечественные нормативные и методические документы последовательно внедряется современная международная методология радиационной защиты при медицинском облучении, основой которой являются принципы обоснования назначения диагностических и лечебных процедур с применением ионизирующего излучения и оптимизация их проведения и защиты пациента. Как показывают результаты ранжирования, при КТ без КУ максимальные дозы облучения – 3,92-10,54 мЗв (табл. 4.4, ранги 1-6) – пациенты получают при: болезнях мочеполовой системы – класс XIV (N00-N99); новообразованиях – класс II (C00-D48); болезнях эндокринной системы, расстройствах питания и нарушениях обмена веществ – класс IV (E00-E99); болезнях крови, кроветворных органов и отдельных нарушениях, вовлекающих иммунный механизм – класс III (D50-D89); болезнях костно-мышечной системы и соединительной ткани – класс XIII (M00-M99), а также болезнях системы кровообращения – класс IX (I00-I99).

При КТ с КУ максимальные дозы облучения – 25,75-34,33 мЗв (табл. 4.4, ранги 1-6) – пациенты получают при: травмах, отравлениях и некоторых других последствиях воздействия внешних причин – класс XIX (S00-T99); болезнях органов дыхания – класс X (J00-J99); факторах, влияющих на состояние здоровья и обращения в учреждения здравоохранения – класс XXI (Z00-Z99); болезнях мочеполовой системы – класс XIV (N00-N99); болезнях крови, кроветворных органов и отдельных нарушениях, вовлекающих иммунный механизм – класс III (D50-D89), а также болезнях органов пищеварения – класс XI (K00-K93).

Таблица 4.4 – Ранжирование классов заболеваний по МКБ пациентов из числа работников по величине дозы облучения при проведении КТ

Ранг	КТ без КУ		КТ с КУ	
	Класс МКБ	Доза облучения, $M \pm m$, мЗв	Класс МКБ	Доза облучения, $M \pm m$, мЗв
1	Класс XIV. (N00-N99) Болезни мочеполовой системы	10,54±1,37	Класс XIX. (S00-T99) Травмы, отравления и другие последствия воздействия внешних причин	34,33±12,4
2	Класс II. (C00-D48) Новообразования	6,72±0,53	Класс X. (J00-J99) Болезни органов дыхания	31,6±2,79
3	Класс IV. (E00-E99) Болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ	4,84±0,51	Класс XXI. (Z00-Z99) Факторы, влияющие на состояние здоровья и обращения в учреждения здравоохранения	27,48±4,72
4	Класс III. (D50-D89) Болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм	4,6±0,55	Класс XIV. (N00-N99) Болезни мочеполовой системы	26,85±3,33
5	Класс XIII. (M00-M99) Болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани	3,95±0,49	Класс III. (D50-D89) Болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм	26,67±1,37
6	Класс IX. (I00-I99) Болезни системы кровообращения	3,92±0,49	Класс XI. (K00-K93) Болезни органов пищеварения	25,75±1,67

Продолжение таблицы 4.4

Ранг	КТ без КУ		КТ с КУ	
	Класс МКБ	Доза облучения, $M \pm m$, мЗв	Класс МКБ	Доза облучения, $M \pm m$, мЗв
7	Класс XXI. (Z00-Z99) Факторы, влияющие на состояние здоровья и обращения в учреждения здравоохранения	$3,63 \pm 0,65$	Класс XVIII. (R00-R99) Симптомы, признаки и отклонения от нормы, выявленные при клинических и лабораторных исследованиях	$24,57 \pm 4,76$
8	Класс XI. (K00-K93) Болезни органов пищеварения	$3,4 \pm 0,47$	Класс IV. (E00-E99) Болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ	$22,98 \pm 3,16$
9	Класс XVIII. (R00-R99) Симптомы, признаки и отклонения от нормы, выявленные при клинических и лабораторных исследованиях	$3,4 \pm 0,51$	Класс II. (C00-D48) Новообразования	$20,15 \pm 0,69$
10	Класс VI. (G00-G99) Болезни нервной системы	$3,25 \pm 0,46$	Класс XIII. (M00-M99) Болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани	$19,65 \pm 5,78$
11	Класс XIX. (U00-U85) Временные обозначения новых диагнозов неясной этиологии или для использования в ЧС	$3,09 \pm 0,08$	Класс IX. (I00-I99) Болезни системы кровообращения	$18,71 \pm 1,88$

Продолжение таблицы 4.4

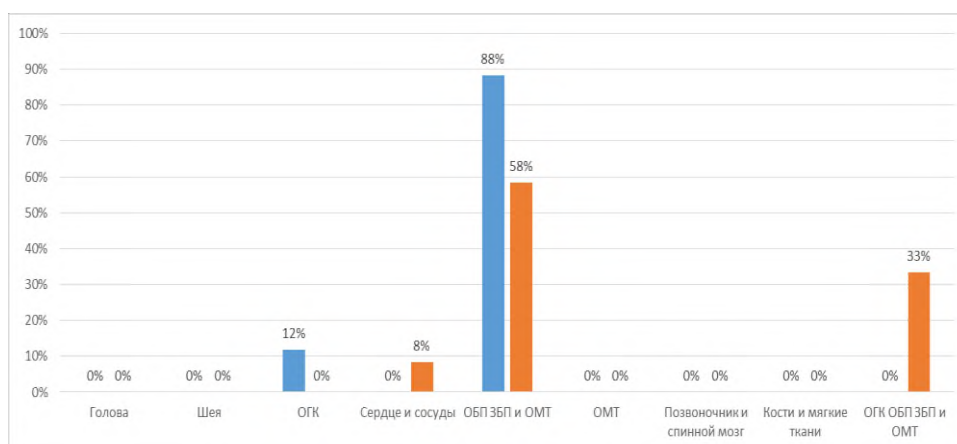
Ранг	КТ без КУ		КТ с КУ	
	Класс МКБ	Доза облучения, $M \pm m$, мЗв	Класс МКБ	Доза облучения, $M \pm m$, мЗв
12	Класс VII. (H00-H59) Болезни глаза и его придаточного аппарата. Класс VIII. (H60-H99) Болезни уха и сосцевидного отростка	2,82±0,62	Класс VI. (G00-G99) Болезни нервной системы	8,2±3,82
13	Класс X. (J00-J99) Болезни органов дыхания	2,81±0,08	Класс XX. (U00-U85) Временные обозначения новых диагнозов неясной этиологии	не проводились
14	Класс XIX. (S00-T99) Травмы, отравления и другие последствия воздействия внешних причин	2,22±0,5	Класс VII. (H00-H59) Болезни глаза и его придаточного аппарата. Класс VIII. (H60-H99) Болезни уха и сосцевидного отростка	не проводились

Как видно на рис. 4.7, при болезнях мочеполовой системы (N00-N99) с максимальной дозой облучения пациентов при КТ без КУ ($10,54 \pm 1,37$ мЗв) основная доля КТ-исследований (88%) приходилась на комбинированную область ОБП, ЗБП и ОМТ.

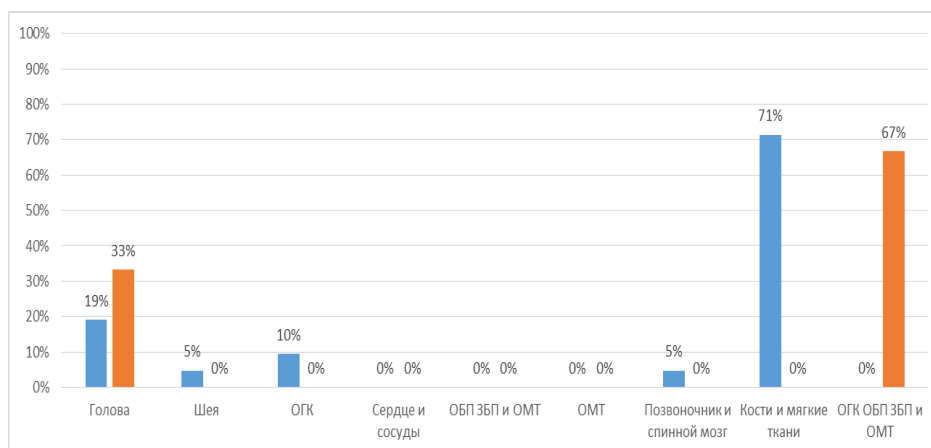
При травмах, отравлениях и некоторых других последствиях воздействий внешних причин (S00-T99) с максимальной дозой облучения пациентов при КТ с КУ ($34,33 \pm 12,4$ мЗв) основная доля КТ-исследований (67%) приходилась на область ОГК, ОБП, ЗБП и ОМТ.

Установленные в данном исследовании дозы облучения пациентов при КТ по разным анатомическим областям тела близки к европейским стандартам [159] и значениям, рекомендуемым для России [60, 79], тем не менее, они создают дополнительную дозовую нагрузку на персонал, работающий с источниками

ионизирующего излучения. Как свидетельствуют результаты (табл. 4.1), персонал подвергается облучению в производственных условиях в пределах нормативных значений. В то же время дозы облучения лиц из числа персонала при КТ-исследованиях с медицинскими диагностическими целями значительно превышают средние профессиональные дозы облучения работников, что увеличивает риски негативных отдаленных последствий для их здоровья.



а) Болезни мочеполовой системы (N00-N99)



б) Травмы, отравления и некоторые другие последствия воздействия внешних причин (S00-T99)

Рисунок 4.7 – Доля областей тела при КТ-диагностике заболеваний (а, б), при которых доза облучения пациентов была максимальная за 2020-2024 гг.; по оси абсцисс – анатомические области, по оси ординат – доля областей тела в общем количестве выполненных КТ, %.

■ – КТ без КУ, ■ – КТ с КУ.

При изучении структуры заболеваемости пациентов из числа персонала, направляемых на КТ-диагностику в ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, установлено, что при КТ без КУ (рис. 4.4 а, б, д, е) максимальным по количеству выполненных исследований был вклад болезней органов дыхания (J00-J99), новообразований (C00-D48), болезней системы кровообращения (I00-I99) и болезней крови, кроветворных органов и отдельных нарушений, вовлекающих иммунный механизм (D50-D89). При КТ с КУ (рис. 4.4 в, г, ж, з) максимальным по количеству выполненных исследований был вклад новообразований (C00-D48) – 48,3%, болезней системы кровообращения (I00-I99), болезней крови, кроветворных органов и отдельных нарушений, вовлекающих иммунный механизм (D50-D89), а также болезней органов пищеварения (K00-K93).

Эффективные дозы облучения одного работника при КТ-диагностике по основным классам МКБ составляли от 2,22 до 10,54 мЗв при КТ без КУ и от 8,2 до 34,33 мЗв при КТ с КУ. Это свидетельствует об актуальности контроля за дозами облучения при медицинских диагностических КТ-обследованиях персонала, работающего с источниками ионизирующих излучений и необходимости разработки методов их снижения.

В связи с этим проведенный анализ обосновывает необходимость разработки алгоритма лучевой диагностики работников, исключающего достаточно высокие дозы их медицинского диагностического облучения, особенно при заболеваниях 1-6 рангов (табл. 4.4.). В этом аспекте при всех заболеваниях работников важно более строгое обоснование лечащим врачом назначения КТ-исследований как без КУ, так и особенно с КУ.

При болезнях органов дыхания вместо КТ могут чаще использоваться рентгенография, низкодозные методы КТ [49], МРТ по протоколу мягких тканей.

При заболеваниях, требующих лучевой диагностики областей ОБП, ОМТ и ЗБП и малого таза, особенно при повторных исследованиях в динамике, целесообразно более широкое использование методов УЗИ-диагностики, низкодозных методик КТ [28], уменьшение объема КТ-исследований с КУ до

минимально достаточного для диагностики патологии этих областей количества фаз КТ – например, с 4-х до 3-х или до 2-х фаз [84, 172, 178, 187]. С этой целью необходимо также дополнительное изучение возможности замены КТ без КУ и КТ с КУ на МРТ с привлечением врачей-рентгенологов в качестве экспертов, особенно при визуализации патологии в сочетанных анатомических областях, а также при многократных исследованиях в динамике у одного и того же пациента.

Как показывают результаты проведенного исследования, при анализе и разработке такого алгоритма лучевой диагностики работников важно учитывать особенности в структуре заболеваний работников, направляемых на КТ-исследования, анатомические области, а также потенциальные дозы облучения обследуемых лиц при КТ и радиационные риски в зависимости от их пола и возраста. Разработка нового алгоритма лучевой диагностики позволит оптимизировать радиационную безопасность пациентов в интересах сохранения их здоровья путем снижения или исключения радиационного воздействия при использовании лучевых методов диагностики без ущерба для качества визуализации патологии.

4.3 Анализ структуры выполненных КТ- и МРТ-исследований по анатомическим областям

В период с 2020 по 2025 г. растет абсолютное количество как однофазных (ОФ), так и многофазных (МФ) исследований при компьютерной томографии (табл. 4.5). При этом ежегодно количество МФ преобладает над ОФ исследованиями в 1,3-1,4 раза, а среднее количество процедур на одного пациента увеличилось с 1,42 в 2020 г. до 1,61-1,92 в 2025 и 2023 г.

Отметим, что в 2021 г. обследованных пациентов было больше по сравнению с 2020 г. и 2022-2023 гг., но так как им преимущественно проводились ОФ КТ-исследования ОГК, состоящие из одной процедуры, то в результате их количество в расчете на одного пациента заметно меньше, чем в другие годы, когда отдельные МФ КТ-исследования ОГК состояли из нескольких процедур.

Таблица 4.5 – Динамика количества КТ-процедур за 2020-2025 гг.

Календарный год	Количество пациентов при КТ-исследованиях	Количество КТ-процедур на одного пациента
2020	9688	1,42
2021	15966	1,16
2022	11434	1,77
2023	12513	1,92
2024	17367	1,59
2025	19511	1,61

При оценке структуры общего количества КТ-исследований (без учета КУ) по анатомическим областям (рис. 4.8) установлено, что основное место в ней занимают исследования ОГК, ОБП и ЗБП. В совокупности они составляли более 35-53,2% от общего годового количества КТ-исследований. При этом доля ОГК с каждым годом возрастала с 33,4% в 2020 г. до 39,6% в 2025 г., а доля исследований ОБП и ЗБП уменьшалась с 53,2% в 2020 г. до 35,8% в 2025 г. Доли остальных областей по годам существенно не менялись и составляли от 0,2% (шея) до 10% (голова).

Анализ количества ОФ КТ-исследований по анатомическим областям показывает (рис. 4.9), что в 2025 г. по отношению к 2020 г. прослеживается рост ОФ КТ головы в 1,6 раз и снижение ОФ КТ ОБП и ЗБП в 2,4 раза. При анализе МФ КТ отмечено увеличение количество исследований ОГК в 3,3 раза. В тоже время прослеживается снижение МФ КТ ОБП и ЗБП на 10%, однако при этом абсолютное количество практически не менялось и составило в 2020 г. – 5 558 исследований, а в 2025 г. – 5 753. Количество ОФ и МФ КТ других областей варьировалось из года в год, но в целом изменялось незначительно.

Анализ вклада ОФ и МФ КТ в структуру общего количества исследований крайне важен, так как при МФ КТ дозы облучения пациентов значительно выше и пропорциональны количеству процедур сканирования. Так, по данным [81, 150, 153], дозы облучения пациентов при ОФ/МФ КТ-исследованиях, соответственно, составляют: головы – 1,83-2,65 / 3,21-4,6 мЗв, шеи – 2,3-2,8 / 9,2 мЗв, ОБП – 7,2 / 22,29 мЗв, позвоночника – 4 / 12 мЗв, костей и мягких тканей – до 26 мЗв.

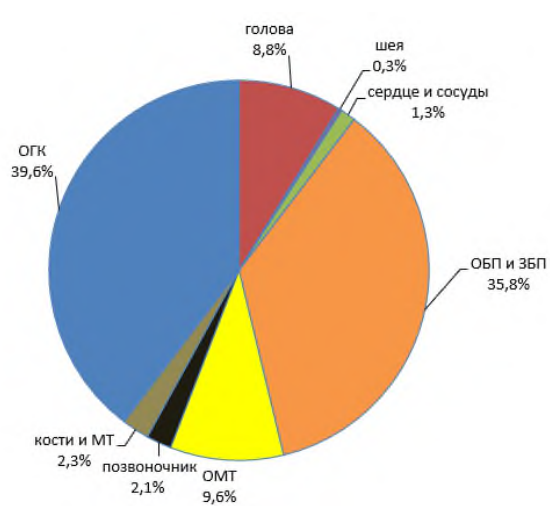
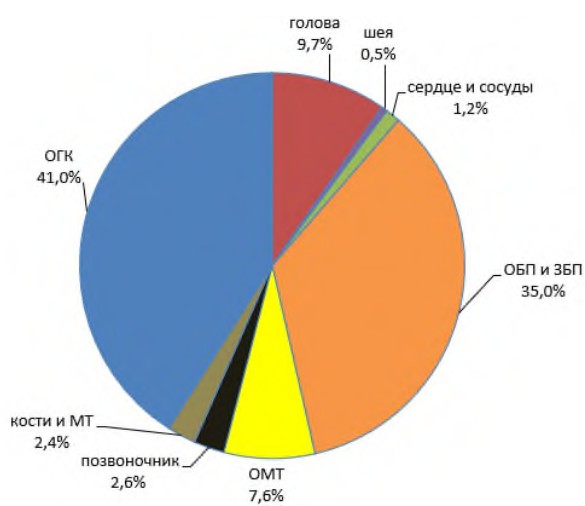
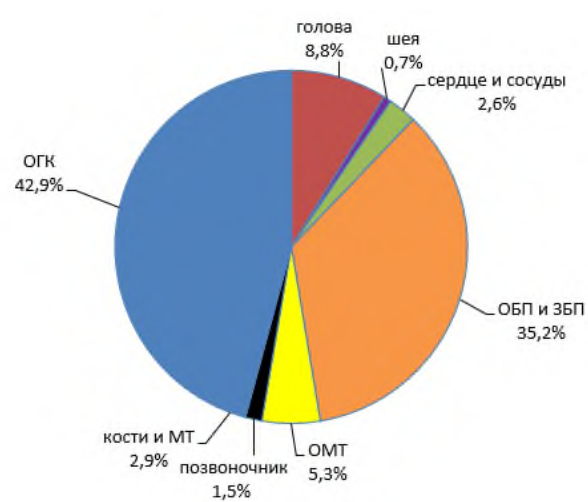
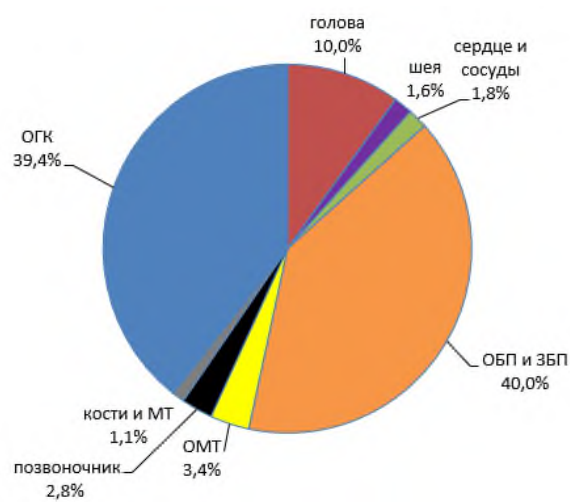
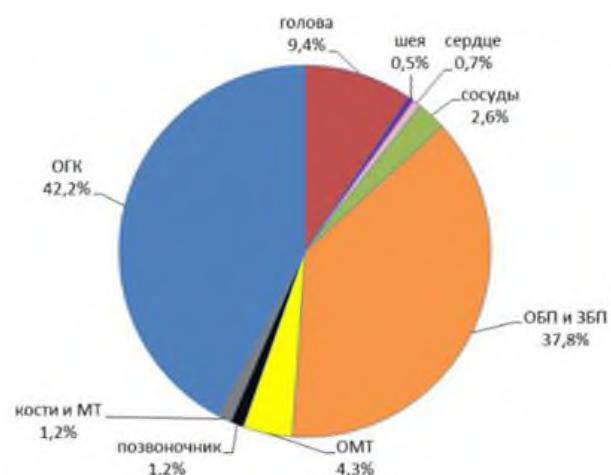
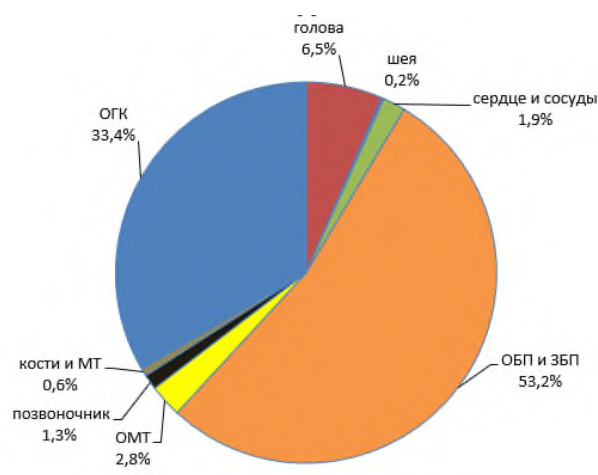
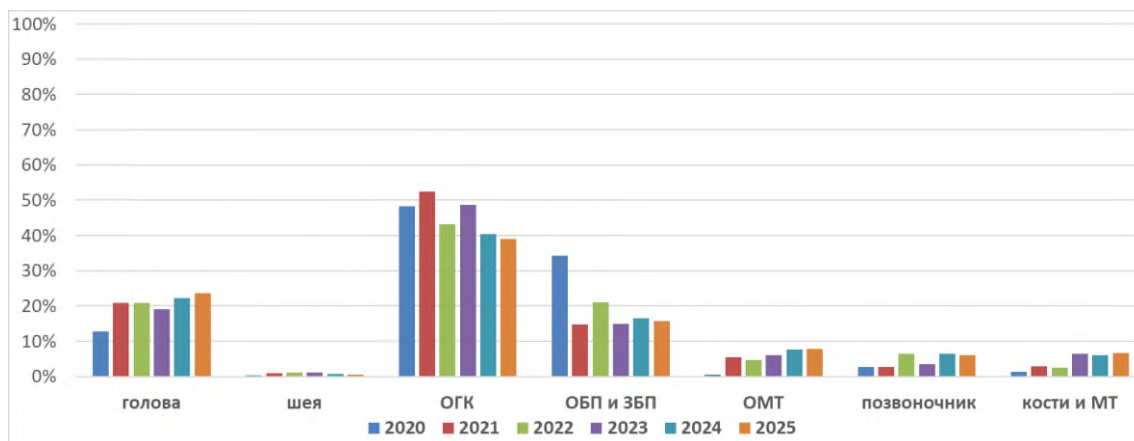
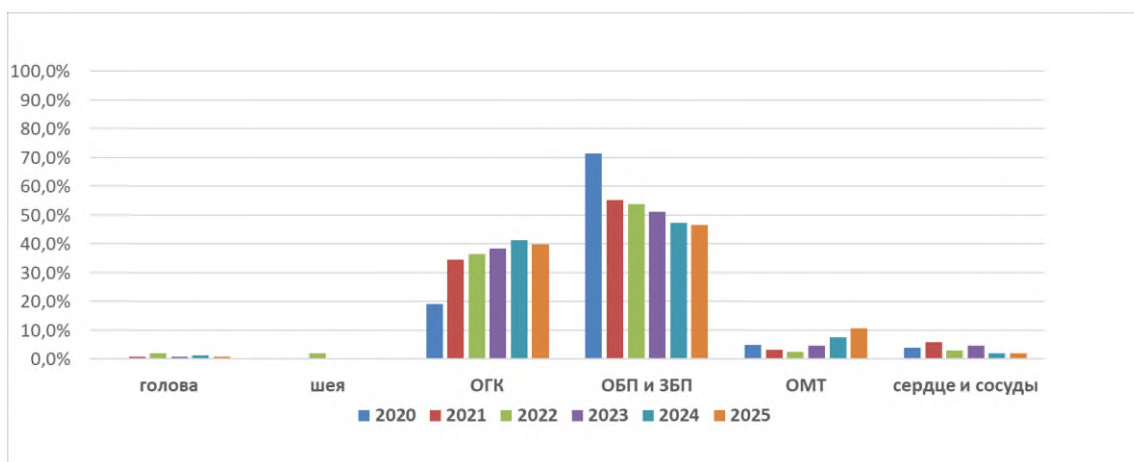


Рисунок 4.8 – Структура КТ-исследований по анатомическим областям за 2020-2025 гг.



а) ОФ КТ-исследования



б) МФ КТ-исследования

Рисунок 4.9 – Структура ОФ КТ (КТ БКУ) и МФ КТ (КТ СКУ) по анатомическим областям за 2020-2025 гг.; по оси абсцисс – области КТ сканирования и календарные годы, по оси ординат доля (%) в общей структуре КТ-исследований.

Анализ частоты МРТ-исследований по анатомическим областям (рис. 4.10) свидетельствует, что основной вклад в структуру МРТ вносили исследования головы и позвоночника, которые суммарно составляли более 50%. Однако их доли к 2025 г. сократились: для головы – с 36,62 до 28,9%, а для позвоночника – с 26,8% до 20,1%, при увеличении абсолютных значений с 2 025 до 3 150 и с 1 481 до 2 190, соответственно. В этот период количество МРТ-исследований ОБП и ОЗП увеличилось как в доле (с 5,6 до 10,3%), так и в абсолютном (в 4,7 раза) выражении.

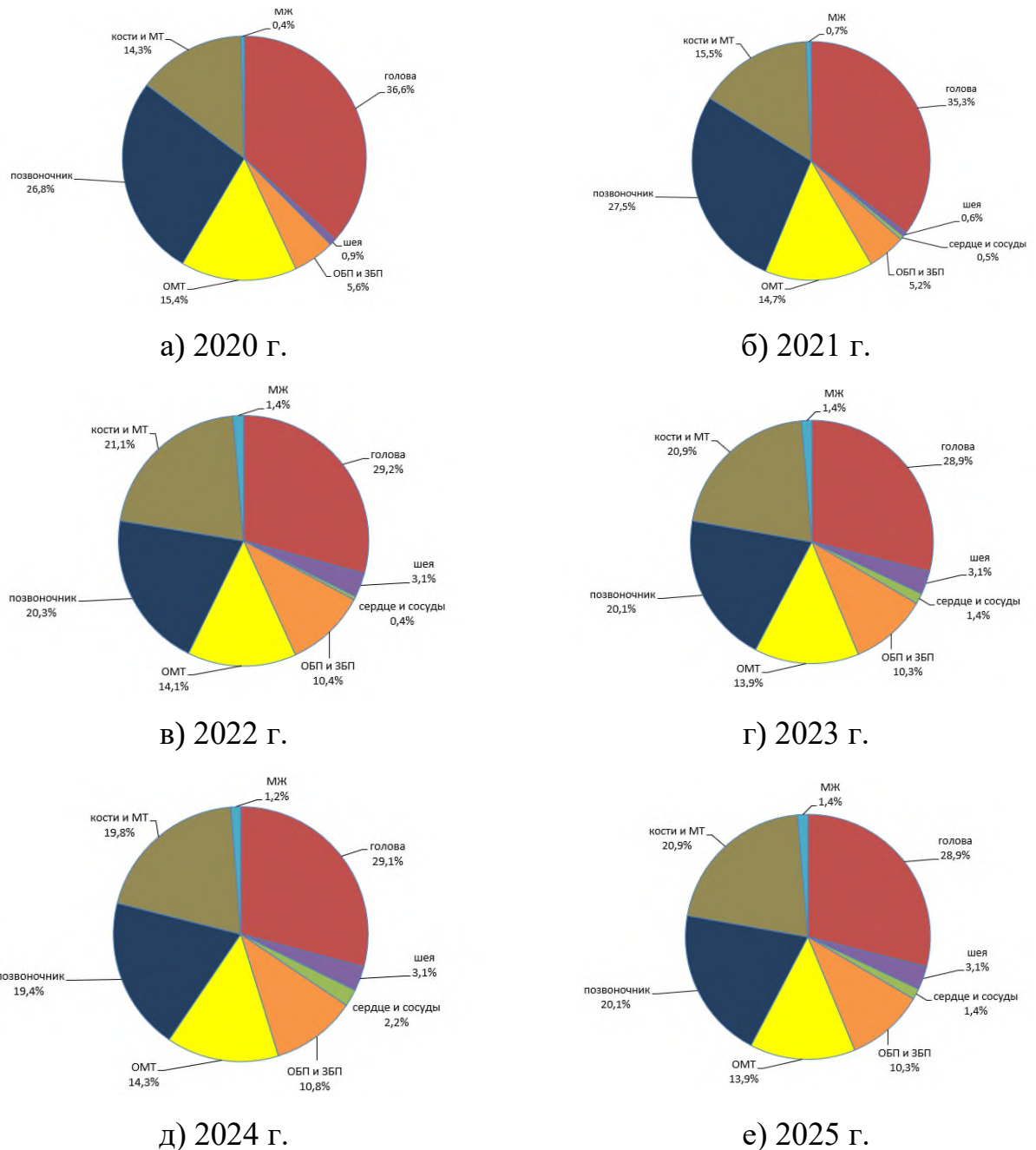


Рисунок 4.10 – Структура МРТ-исследований (%) за 2020-2025 гг.

При анализе соотношения количества выполненных КТ- и МРТ-исследований по различным анатомическим областям за 2020-2025 гг. (рис. 4.11) установлено, что на протяжении рассматриваемого периода исследования области ОБП и ЗБП проводятся преимущественно с помощью КТ (82-96%), к 2025 г. отмечается лишь незначительное увеличение доли МРТ. В 2025 г. доля КТ ОМТ по сравнению с 2020 г. увеличилась в 1,6 раза, а доля МРТ снизилась в 1,4 раза при росте абсолютного количества как КТ- (с 425 до 1 830), так и МРТ-исследований (с 852 до 1 530). Это требует дополнительного анализа с разработкой маршрутизации пациентов [22, 77].

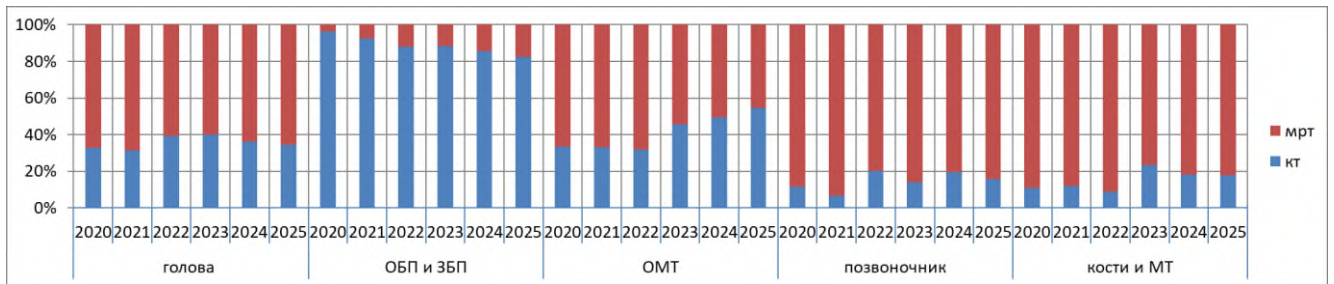


Рисунок 4.11 – Соотношение количества выполненных КТ- и МРТ-исследований по основным анатомическим областям за 2020-2025 гг.; по оси абсцисс – области КТ-сканирования и календарные годы, по оси ординат – вклад (%) КТ и МРТ в общее количество этих исследований.

По результатам анализа соотношения частоты КТ и МРТ (рис. 4.11) установлено наибольшее преобладание КТ над МРТ для анатомической области ОБП и ЗБП к 2025 г. до 4,7 раз, что сопровождается повышенной дозовой нагрузкой на пациентов. Эта область исследования ОБП и ЗБП может рассматриваться в качестве основного потенциала увеличения доли МРТ-исследований в целях снижения лучевой нагрузки на пациентов, особенно при многофазных и повторяющихся в динамике исследованиях.

Для других анатомических областей, например, головы, нет необходимости маршрутизации пациентов на МРТ, так как для этой области характерна невысокая дозовая нагрузка, разные диагностические возможности КТ и МРТ и специфические показания к проведению каждого из этих методов диагностики [28].

Можно полагать, что, с учетом оснащенности ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России современными МРТ-сканерами, возможно расширение показаний к применению МРТ-исследований ОБП, ЗБП и МТ, так как КТ этих областей сопряжена с высокими дозами облучения пациентов. Это подтверждается тем, что при КТ-сканировании ОБП и ЗБП пациенты получают самые высокие эффективные дозы облучения по сравнению с другими анатомическими областями тела [60]. В связи с этим именно для данной сочетанной области необходимо уточнение показаний к выбору метода лучевой диагностики – КТ или МРТ. В связи с этим, разработка мероприятий по совершенствованию подходов к применению МРТ и низкодозных методик КТ

крайне актуальна и направлена на защиту пациентов от избыточного медицинского облучения.

Заключение по главе 4

При имеющейся тенденции переоснащения рентгенорадиологии в Российской Федерации современными диагностическими приборами, в том числе компьютерными томографами, в ближайшие годы можно ожидать значительного роста услуг высокотехнологичной лучевой диагностики, особенно КТ, а также увеличения в связи с этим доз медицинского облучения населения и отдаленных последствий такого облучения [5, 25, 26, 30, 51]. По результатам проведенной работы установлена тенденция к росту количества как КТ-, так и МРТ-исследований в ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России с 2020 по 2025 г. Постоянно увеличивались и темпы прироста количества исследований, которые в 2025 г. составили для КТ – 127%, для МРТ – 102% [34]. Это соответствует данным других авторов, которые сообщали об увеличении количества МРТ в Германии с 2001 по 2021 г. в 6 раз [152]. В целом в 2025 г. в многопрофильной клинике ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России при оснащенности тремя КТ-томографами и тремя МРТ-томографами количество КТ процедур в 2,8 раза превышало количество МРТ-исследований, что согласуется с данными Государственного доклада [69] «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2025 г».

Средние дозы за год при КТ без контрастного усиления составляли 2,22-10,54 мЗв, а при КТ с контрастным усилением достигали 25,75-34,33 мЗв, что в несколько раз превышает годовые дозы облучения работников в производственных условиях.

При анализе структуры заболеваемости 658 пациентов из числа работников и всех 137 188 пациентов клиники, направляемых на КТ-диагностику в 2020-2025 гг., установлены классы заболеваний по МКБ-10, при которых пациенты получают наибольшую эффективную дозу облучения, особенно при выполнении многофазных КТ с контрастным усилением. К ним относятся классы заболеваний:

II Новообразования (C00-D48); III болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм (D50-D89); IX болезни системы кровообращения (I00-I99); X болезни органов дыхания (J00-J99); XI болезни органов пищеварения (K00-K93) и XIV болезни мочеполовой системы (N00-N99) [55].

Наибольшая дозовая нагрузка на пациентов формировалась при исследованиях сочетанных анатомических областей (ОГК, ОБП, ЗБП, ОМТ и таз), а также при многофазных протоколах сканирования.

Полученные данные свидетельствуют о том, что медицинское облучение при КТ-диагностике является определяющим компонентом суммарной дозовой нагрузки персонала, работающего с источниками ионизирующего излучения. В этой связи при назначении КТ-исследований, особенно с контрастным усилением и при необходимости повторных КТ-процедур в динамике, требуется строгое соблюдение принципов радиационной безопасности – обоснования и оптимизации.

На следующем этапе исследования для оценки возможности замены КТ на МРТ дополнительно к существующим методическим рекомендациям [28] необходимо было установить степени выявляемости патологических изменений и сопоставимость этих оценок при двух рассматриваемых методах лучевой диагностики (КТ и МРТ) применительно к практике ЦЛД многопрофильной клиники ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России. Данная задача выполнялась с привлечением к анализу результатов КТ и МРТ независимых экспертов – врачей-рентгенологов.

ГЛАВА V. ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ МРТ ПО СРАВНЕНИЮ С КТ-ИССЛЕДОВАНИЯМИ

5.1 Сопоставление возможностей КТ- и МРТ-исследований по визуализации патологии

Под расширением возможностей применения МРТ подразумевается обоснование выбора этого метода перед КТ в клинических ситуациях, где оба эти метода указаны в методических рекомендациях как допустимые варианты. По результатам анализа информационных источников можно заключить, что каждый из методов лучевой диагностики обладает своими ключевыми преимуществами. КТ обеспечивает высокую пространственную точность, универсальность и короткое время сканирования (в среднем от 5 до 15 минут). МРТ отличается превосходной визуализацией мягкотканых структур и полным отсутствием ионизирующего излучения, что особенно важно при повторных исследованиях и у категорий пациентов из группы риска (подвергавшихся ранее облучению в производственных условиях, при ликвидации радиационных аварий и др.).

Несмотря на широкие диагностические возможности, каждый из методов имеет определенные ограничения. При КТ повышается лучевая нагрузка на пациента, возможны реакции на введение контраста. Длительность проведения процедуры для МРТ (от 20 до 45 минут) в 3-4 раза больше, чем при КТ. Для МРТ характерны высокая стоимость по сравнению с КТ, ряд противопоказаний (металлические импланты, кардиостимуляторы, клаустрофобия и др.), точность диагностики при МРТ снижается при наличии встроенных металлических конструкций.

На основе выполненного анализа установлен потенциал МРТ в сравнении с КТ при диагностике патологических состояний по анатомическим областям сканирования (табл. 5.1).

Таблица 5.1 – Потенциал МРТ в сравнении с КТ при диагностике патологических состояний по анатомическим областям

№ п/п	Анатомическая область	Потенциал МРТ
1	Головной мозг	При хронических и подострых заболеваниях центральной нервной системы МРТ может с высокой достоверностью заменить КТ, предоставляя более точную и безопасную информацию. Однако при острых состояниях: при подозрении на внутричерепное кровоизлияние и тяжелую черепно-мозговую травму (ЧМТ), КТ остается методом выбора. Оптимальная тактика может включать этапность: начальное КТ с последующим повторным проведением МРТ при необходимости уточнения характера и распространения патологии в динамике заболевания.
2	Органы грудной клетки (ОГК)	МРТ может применяться у пациентов при необходимости многократных исследований (например, динамическое наблюдение при лимфомах у молодых пациентов). Магнитно-резонансная ангиография позволяет визуализировать сосуды грудной клетки без введения контрастного вещества.
3	Сердце и сосуды	МРТ не заменяет КТ при визуализации поражений коронарных артерий, но превосходит ее при диагностике миокардитов, кардиомиопатий, опухолей сердца и врожденных аномалий. Дополнительным фактором, ограничивающим замену КТ на МРТ, является необходимость долгой четкой синхронизации с дыханием, что затрудняет выполнение МРТ у некоторых категорий пациентов.
4	Органы брюшной полости (ОБП)	Оптимальным подходом является комплексное использование двух методов с учетом клинической ситуации: КТ – для экстренных задач, МРТ – для углубленной оценки и динамического наблюдения. Такое разделение позволяет снизить лучевую нагрузку и повысить точность диагностики, сохраняя клиническую целесообразность.

Продолжение таблицы 5.1

№ п/п	Анатомическая область	Потенциал МРТ
5	Забрюшинное пространство (почки и надпочечники)	МРТ может заменить КТ: при плановом исследовании надпочечников (аденомы, феохромоцитомы, метастазы); при сложных кистах почек; при опухолях у пациентов с противопоказаниями к КТ с КУ; при необходимости визуализации мочеточников без контраста. МРТ не может заменить КТ: при мочекаменной болезни; при острых ургентных состояниях; при оценке кальцинатов, газа, плотных структур; в посттравматической оценке. КТ и МРТ в области почек и надпочечников не конкурируют, а дополняют друг друга.
6	Органы малого таза (гинекология и урология)	МРТ обладает высоким потенциалом для замещения КТ при большинстве гинекологических и урологических состояний, особенно в рамках онкопоиска, стадирования и диагностики репродуктивной функции. КТ необходима в ургентной практике, при оценке осложнений и стадировании с визуализацией за пределами таза. Оптимальный выбор метода определяется клинической задачей и состоянием пациента.
7	Позвоночник	При дегенеративных заболеваниях позвоночника КТ может выявлять остеофиты, сужение межпозвонковых отверстий, но не дает полной информации, в отличие от МРТ, которая позволяет визуализировать компрессию корешков и собственно спинного мозга. При подозрении на опухоли или воспаление (туберкулезный спондилит, остеомиелит, метастазы), КТ визуализирует костные разрушения, но не позволяет оценить степень вовлечения спинного мозга, мягких тканей и паравертебральных структур. МРТ также незаменима при ранней диагностике эпидурита, абсцессов и метастазов. Отдельное место занимает оценка позвоночника в послеоперационном периоде: МРТ лучше выявляет послеоперационный фиброз, остаточную компрессию и воспаление, в то время как КТ предпочтительнее при необходимости оценки установки металлоконструкций.

Продолжение таблицы 5.1

№ п/п	Анатомическая область	Потенциал МРТ
8	Мягкие ткани	МРТ применяется при первичной диагностике, планировании хирургических вмешательств, динамическом наблюдении и оценке рецидивов. Замещения КТ на МРТ не требуется, так как МРТ уже является методом выбора.
9	Конечности	МРТ незаменима в плановой травматологии для выявления патологических изменений костей (остеомиелит, стресс-переломы, опухоли), обладает диагностическими преимуществами перед КТ.

Сопоставим использование КТ и МРТ на примере трех пациенток, проходивших обследование в ЦЛД ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России.

Пациентка А., 24 года обратилась с жалобами на боли в поясничном отделе спины, преимущественно слева. Первоначально предполагалась патология поясничного отдела позвоночника. При проведении МРТ признаков протрузии, способной вызвать компрессию нервных структур, выявлено не было. С учетом наличия у пациентки мочекаменной болезни в анамнезе, в соответствии с клиническими рекомендациями [88], было принято решение расширить МРТ-исследование до зоны почек (рис. 5.1).

На диффузионно-взвешенных изображениях (DWI) визуализировался клиновидный участок ограничения диффузии (рис. 5.1 а), на T2-ВИ отмечалось отсутствие четкой дифференцировки между корковым и мозговым веществом (рис. 5.1 б), что в целом соответствовало признакам острого пиелонефрита.

Для визуализации конкрементов пациентке А. была дополнительно выполнена КТ почек, по которой установили их наличие (рис. 5.1 в). Поскольку данных МРТ в совокупности с результатами лабораторных анализами оказалось достаточно для постановки диагноза острого пиелонефрита, КТ СКУ не проводили, а только КТ БКУ. Это позволило снизить лучевую нагрузку на пациентку на 13,9 мЗв (с 21,7 до 7,8 мЗв), без потери диагностической информативности. На рисунке 5.1 г приведены данные КТ СКУ другого пациента с пиелонефритом [171], которые также позволяют заключить, что при остром пиелонефрите информативность МРТ не уступает КТ.



а) МРТ, DWI, аксиальная плоскость, выделен клиновидный участок ограничения диффузии в среднем полюсе левой почки. Доза облучения пациентки **0 мЗв**.



б) МРТ, T2-ВИ, аксиальная плоскость, выделена зона с отсутствием четкой дифференцировки между корковым и мозговым веществом левой почки. Доза облучения пациентки **0 мЗв**.



в) КТ без КУ, аксиальная плоскость, стрелкой указан мелкий конкремент в средней группе чашечек левой почки. Доза облучения пациентки **7,8 мЗв**.



г) КТ с КУ другого пациента, аксиальная плоскость, выделена гиповаскулярная клиновидная область почечной паренхимы в среднем полюсе левой почки. Доза облучения пациентки **21,7 мЗв**.

Рисунок 5.1 – Результаты визуализации у пациентки А. острого пиелонефрита по данным МРТ (а, б) в сравнении с КТ с КУ другого пациента (г) и конкрементов в почке по данным КТ без КУ (в).

Пациентка Л., 64 года с циррозом печени и с желтушностью кожных покровов была направлена на обследование с целью визуализации печеночных протоков. Проведена магнитно-резонансная холангиопанкреатография (МРХПГ) без контрастного усиления, по результатам которой заподозрены очаг

гепатоцеллюлярного рака (ГЦР) в сегменте S1 печени (рис. 5.2 а), а также признаки тромбоза портальной вены (рис. 5.2 б). В соответствии с клиническими рекомендациями [102, 111] пациентке Л. выполнена КТ с КУ (рис. 5.2 в, г), подтвердившая наличие очага ГЦР в S1 с характерным ранним контрастированием и «вымыванием» в венозную фазу.



а) МРТ, DWI, аксиальная плоскость, нарушение архитектоники сегмента S1 печени и слабый участок ограничения диффузии по правому контуру в нем, стрелкой указан участок ограничения диффузии в проекции портальной вены.

Доза облучения пациентки **0 мЗв**.



б) МРТ, T1 FS Dixon, аксиальная плоскость, стрелкой указан участок повышенного сигнала в проекции портальной вены (как признак тромбоза).

Доза облучения пациентки **0 мЗв**.

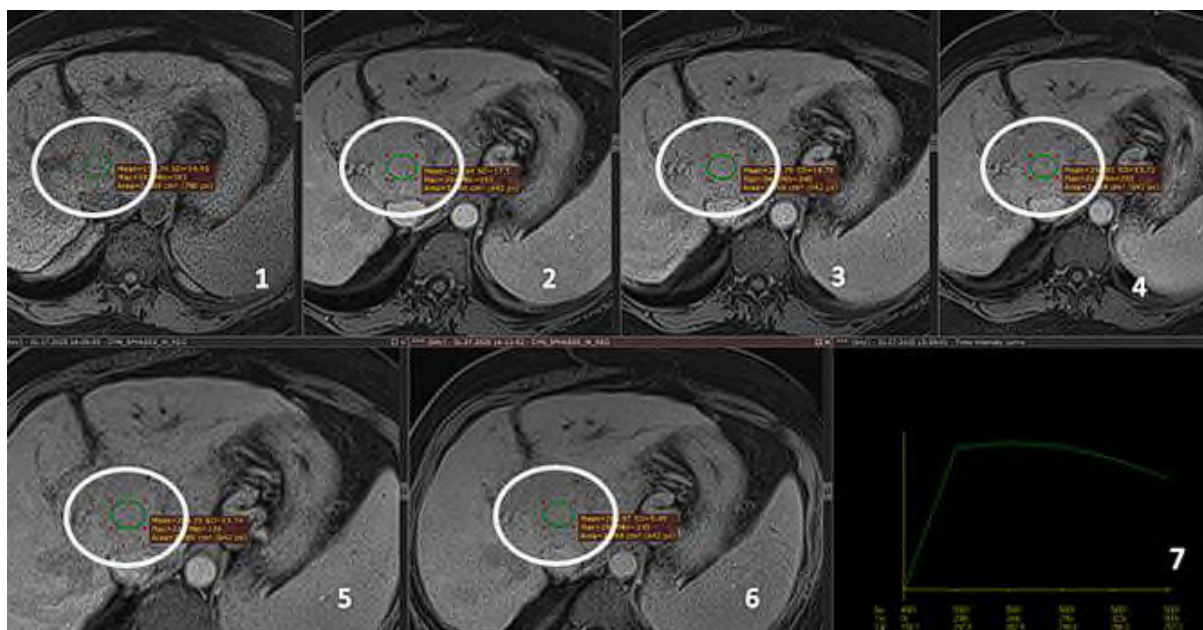


в) КТ с КУ, аксиальная плоскость, артериальная фаза, очаг ГЦР в S1 печени с ранним контрастированием. Доза облучения пациентки **21,7 мЗв**.

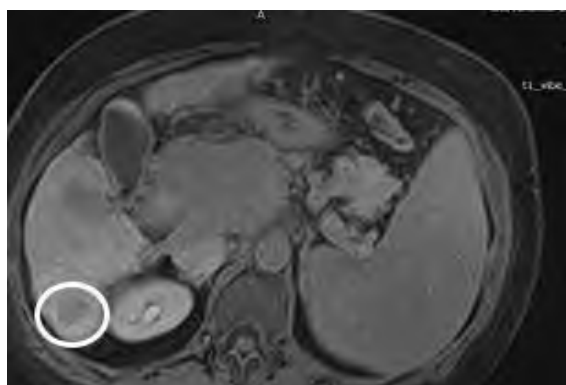


г) КТ с КУ, аксиальная плоскость, венозная фаза, очаг ГЦР в S1 печени с «вымыванием» контрастного препарата.

Доза облучения пациентки **21,7 мЗв**.



д) МРТ, T1 FS Dixon с гепатоспецифическим контрастным препаратом, аксиальная плоскость, нативная фаза (1) и 5 динамических фаз (2-6) контрастирования, выделен очаг ГЦР в S1 печени, раннее контрастирование с визуализацией «вымывания» контрастного препарата по данным динамической кривой (7). Доза облучения пациентки **0 мЗв**.



е) МРТ, T1 FS Dixon с гепатоспецифическим контрастным препаратом, аксиальная плоскость, отсроченная фаза на 20 минуте сканирования, выделен дополнительный очаг ГЦР в S6. Доза облучения пациентки **0 мЗв**.



ж) МРТ, DWI, аксиальная плоскость, визуализируется дополнительный очаг ГЦР в S6 с ограничением диффузии. Доза облучения пациентки **0 мЗв**.

Рисунок 5.2 – Результаты визуализации у пациентки Л. очагов гепатоцеллюлярной карциномы (ГЦР) на МРТ без КУ (а, б), КТ с КУ (в, г) и на МРТ с гепатоспецифическим контрастным препаратом (д, е, ж).

Для поиска дополнительных очагов пациентке Л. проведена МРТ с применением гепатоспецифического контрастного препарата. При анализе полученных на МРТ данных выявлено, что крупный очаг в S1 печени демонстрирует паттерн раннего контрастирования, визуально менее явно по сравнению с КТ, но с подтверждением при построении динамической кривой по 5 фазам контрастирования при МРТ (рис. 5.2 д). В отсроченную фазу на 20-й минуте наряду с данными диффузионно-взвешенных изображений на МРТ был найден дополнительный очаг ГЦР в S6 печени (рис. 5.2 е, ж).

В данном случае результаты КТ с КУ позволили лучше, чем МРТ визуализировать крупный очаг ГЦР в S1 печени. Однако при выполнении отсроченной фазы МРТ был найден дополнительный очаг ГЦР в S6, что свидетельствует о высокой диагностической ценности МРТ с гепатоспецифическим контрастом. Таким образом, вместо КТ с КУ для динамического наблюдения очагов ГЦР может использоваться МРТ, что особенно важно у пациентов, для которых требуется минимизация лучевой нагрузки. В случаях с очагами, которые видны и на КТ (рис. 5.2 в, г), и на МРТ (рис. 5.2 д), диагностические возможности МРТ позволяют последующие КТ с КУ для оценки очагов в динамике заменить МРТ с контрастированием, что позволит исключить повторные облучения пациента в дозе 21,7 мЗв для каждого КТ-исследования.

Пациентка С. 45 лет, обратилась с жалобами на боль в поясничном отделе позвоночника. При МРТ поясничного отдела позвоночника, выполненной в декабре 2023 г. (рис. 5.3 а, б), на верхней границе зоны исследования выявлен острый компрессионный перелом Th12 позвонка – повышение сигнала на STIR за счет отека костного мозга, а также деформация верхней замыкательной пластинки позвонка без отломков, что позволило классифицировать перелом как стабильный. В соответствии с [93] для подтверждения диагноза пациентке С. была выполнена КТ (рис. 5.3 в).



а) МРТ STIR, при поступлении, сагиттальная плоскость, стрелкой указана компрессионная деформация верхней замыкательной пластинки Th12 позвонка с перифокальным отеком.



б) МРТ T2 ВИ, при поступлении, сагиттальная плоскость, стрелкой указана компрессионная деформация верхней замыкательной пластинки Th12 позвонка со снижением высоты позвонка до 30%.



в) КТ без КУ, сагиттальная плоскость, стрелкой указана компрессионная деформация верхней замыкательной пластинки тела Th12 позвонка в среднем отделе на 5 мм (снижение на 30%).



г) МРТ STIR, через год после травмы, сагиттальная плоскость, стрелкой указана деформация верхней замыкательной пластинки Th12 позвонка, без перифокального отека.



д) МРТ T2 ВИ, через год после травмы, сагиттальная плоскость, стрелкой указана деформация верхней замыкательной пластинки Th12 позвонка, со снижением высоты позвонка до 50%.



е) КТ без КУ через год после травмы, сагиттальная плоскость, стрелкой в-показана компрессионная деформация тела Th12 позвонка за счет вдавления верхней замыкательной пластинки со снижением высоты позвонка до 50%.

Рисунок 5.3 – Результаты визуализации у пациентки С. компрессионного перелома 12 грудного позвонка (Th12) по данным МРТ (а, б, г, д) и КТ (в, е).

По результатам КТ данные МРТ подтвердились, пациентка С. находилась под динамическим наблюдением. В последующем исследования МРТ выполнялись каждые 4 месяца. В декабре 2024 г. было выполнено контрольное МРТ поясничного отдела позвоночника (рис. 5.3 г, д) и одновременно с этим КТ органов брюшной полости (рис. 5.3 е, б). При этом результаты обоих методов визуализации поясничного отдела позвоночника были сопоставимы – установлено прогрессирование снижения высоты тела Th12 позвонка с 30% до 50% от нормы.

Данный клинический случай демонстрирует, что при контроле стабильных компрессионных переломов позвонков в соответствие с принципом обоснованности, целесообразна замена КТ на МРТ – это позволяет исключить облучение пациента в суммарной дозе 28,0 мЗв (в дозе 7,0 мЗв – при замене КТ на МРТ во время первичного обследования и в дозе 21,0 мЗв – за счет замены при динамическом наблюдении трех КТ на три МРТ).

Проведенный анализ отечественных методических рекомендаций [28] и собственный опыт оценки визуализации патологических очагов при КТ и МРТ [52] показывает, что выбор конкретного метода лучевой диагностики для определенной анатомической области зависит: 1) от показаний к лучевой диагностике (характера патологии, остроты состояния, подозрения на опухолевую, воспалительную или сосудистую патологию); 2) от диагностических возможностей и ограничений для КТ и МРТ в зависимости от патологии и анатомической области сканирования.

Современные исследования [142, 147, 156, 171, 176, 177, 192] подтверждают положения проанализированных методических рекомендаций о том, что диагностическая эффективность МРТ в ряде клинических ситуаций сопоставима с КТ, а в отдельных случаях превосходит ее. Это необходимо знать и шире использовать практикующим врачам при обследованиях пациентов [48].

В целом результаты проведенного исследования свидетельствуют о необходимости использования принципа обоснованности при обеспечении радиационной безопасности в процессе лучевой диагностики, особенно у

контингента пациентов из числа персонала, подвергающегося воздействию ИИ в профессиональных условиях. Такая необходимость, а также установленные диагностические возможности МРТ определяют важность более широкого внедрения МРТ в рамках клинических стандартов в практику работы отделений лучевой диагностики. Это обусловлено использованием линейной беспороговой концепции при прогнозировании вероятности возникновения неблагоприятных стохастических медицинских последствий действия ионизирующих излучений [104], а также установленными последствиями от облучения персонала в малых дозах по критериям показателей здоровья и заболеваемости [26, 46,].

Систематизированная в данном исследовании сводная информация, в том числе из основных методических рекомендаций по лучевым методам диагностики, её анализ и клинические примеры выполнения КТ и МРТ позволили установить возможности замены КТ на МРТ путем расширения в рамках клинических стандартов применения МРТ при конкретных нозологиях и анатомических областях сканирования. Проанализированы и выявлены преимущества (потенциал) МРТ-исследований в сравнении с КТ при диагностике широкого спектра патологических состояний для основных анатомических областей. Установлено, что при оценке мягкотканых структур, неврологических и сосудистых заболеваний, а также в онкологии метод МРТ обладает высокой диагностической точностью, не уступая КТ, и рядом преимуществ.

На следующем этапе в дополнение к проанализированным рекомендациям была выполнена экспертная оценка диагностических возможностей МРТ-визуализации по сравнению с КТ и их взаимозаменяемости применительно к современным КТ и МРТ сканерам и протоколам исследований, которые используются в диагностической практике ЦЛД ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России.

5.2 Экспертная оценка результатов МРТ-визуализации патологических очаговых образований в сравнении с КТ и их взаимозаменяемости

Для дополнительного уточнения диагностических возможностей МРТ в условиях многопрофильной клиники ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, изложенных в методических рекомендациях [28] и систематизированных в таблице А-2, были сопоставлены наши отдельные клинические наблюдения (рис. 5.1-5.3) и сформирована база данных (Приложение В.3) по парным для каждого отдельного пациента КТ- и МРТ-исследованиям (проведены с интервалом до 30 дней). В базу данных отбирали случаи выполнения КТ и МРТ на сканерах Центра лучевой диагностики ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России для пациентов без значимой динамики в клинической картине и с одним и тем же лечением. База данных включала результаты парных 346 исследований КТ и 346 исследований МРТ, а также данные по полу, возрасту и диагнозам заболеваний пациентов.

Экспертная оценка возможностей визуализации патологии и сопоставимости результатов КТ и МРТ сочетанной области проведена для 3-х органов (печень, почки, поджелудочная железа). Первая независимая группа из 4-х экспертов оценивала КТ-исследования, вторая независимая группа из 4-х экспертов – МРТ-исследования.

Результаты оценок экспертов представлены в таблице 5.2.

На первом этапе была проанализирована межэкспертная согласованность оценок результатов КТ и МРТ, чтобы подтвердить воспроизводимость результатов лучевых исследований. По большинству анализируемых признаков по результатам расчетов коэффициентов κ Fleiss была установлена умеренная, существенная или почти полная согласованность экспертов. Наиболее высокая воспроизводимость наблюдалась при оценке кистозных образований в исследованиях с контрастным усилением ($\kappa=0,86$ для КТ и $\kappa=0,89$ для МРТ), а также при выявлении образований размером 10 мм и более ($\kappa=0,68-0,83$). При оценке солидных образований согласованность экспертов варьировала от умеренной до существенной ($\kappa=0,55-0,77$), что свидетельствует о достаточной воспроизводимости результатов при двух рассматриваемых методах визуализации.

Таблица 5.2 – Анализ согласованности оценок КТ- и МРТ-методов визуализации и их сходимости между экспертами при лучевой диагностике органов брюшной полости и забрюшинного пространства

Характер выявляемого образования	Анализируемые пары КТ и МРТ исследований	Количество анализируемых пар КТ и МРТ исследований	Согласованность между экспертами (коэффициент Fleiss) *		Сходимость результатов оценки КТ и МРТ методов визуализации по Коэну				Интерпретация сходимости результатов оценки КТ и МРТ
			КТ	МРТ	Доля совпадений (%)	Коэффициент Коэна**	ДИ 95%***	Ошибка SE (Коэна)****	
СOLIDное	КТ БКУ МРТ БКУ	72	0,55 ³	0,77 ⁴	86	0,58	0,35-0,81	0,14	2. Умеренная
	КТ СКУ МРТ СКУ	69	0,72 ⁴	0,76 ⁴	87	0,69	0,49-0,88	0,09	4. Существенная
Кистозное	КТ БКУ МРТ БКУ	72	0,73 ⁴	0,77 ⁵	82	0,44	0,24-0,65	0,10	3. Значительная
	КТ СКУ МРТ СКУ	69	0,86 ⁵	0,89 ⁵	88	0,72	0,526-0,914	0,01	4. Существенная
Количество – одно образование	КТ БКУ МРТ БКУ	72	0,66 ⁴	0,58 ³	76	0,46	0,25-0,67	0,11	2. Умеренная
	КТ СКУ МРТ СКУ	69	0,67 ⁴	0,71 ⁴	78	0,51	0,304-0,711	0,1	3. Значительная
Количество – два и более образований	КТ БКУ МРТ БКУ	72	0,69 ⁴	0,62 ⁴	64	0,32	0,14-0,51	0,09	1. Незначительная
	КТ СКУ МРТ СКУ	69	0,61 ⁴	0,74 ⁴	80	0,53	0,31-0,74	0,11	3. Значительная

Продолжение таблицы 5.2

Характер выявляемого образования	Анализируемые пары КТ и МРТ исследований	Количество анализируемых пар КТ и МРТ исследований	Согласованность между экспертами (коэффициент Fleiss) *		Сходимость результатов оценки КТ и МРТ методов визуализации по Коэну				Интерпретация сходимости результатов оценки КТ и МРТ
			КТ	МРТ	Доля совпадений (%)	Коэффициент Коэна**	ДИ 95%***	Ошибка SE (Коэна)****	
Размер – менее 10 мм	КТ БКУ	72	0,41 ³	0,31 ²	60	0,17	0,03-0,36	0,01	1. Незначительная
	МРТ БКУ								
Размер – 10 мм и более	КТ СКУ	69	0,58 ³	0,49 ³	75	0,53	0,29-0,71	0,1	3. Значительная
	МРТ СКУ								
Размер – 10 мм и более	КТ БКУ	72	0,73 ⁴	0,7 ⁴	83	0,67	0,49-0,84	0,09	4. Существенная
	МРТ БКУ								
Размер – 10 мм и более	КТ СКУ	69	0,68 ⁴	0,83 ⁵	88	0,7	0,51-0,89	0,09	4. Существенная
	МРТ СКУ								

Примечания: * согласованность по шкале Fleiss: 1 – $\kappa \leq 0,20$ – слабая; 2 – $0,21 \leq \kappa \leq 0,40$ – удовлетворительная; 3 – $0,41 \leq \kappa \leq 0,60$ – умеренная; 4 – $0,61 \leq \kappa \leq 0,80$ – существенная; 5 – $\kappa > 0,80$ – почти полная (при $\kappa = 1,0$ – полная);

** сходимость результатов по шкале Коэна: 0 – < 0 – отсутствует; 1 – $0,00-0,20$ – незначительная; 2 – $0,21-0,40$ – умеренная; 3 – $0,41-0,60$ – значительная; 4 – $0,61-0,80$ – существенная; 5 – $0,81-1,00$ – почти полная и полная;

*** ДИ 95% – доверительный интервал для коэффициента каппа Коэна (если доверительный интервал включает значение 0, согласованность статистически не отличается от случайного совпадения);

**** ошибка SE (коэффициента каппа Коэна): $\leq 0,05$ – высокая; $0,05-0,10$ – хорошая; $0,10-0,20$ – умеренная; $\geq 0,20$ – низкая.

Наиболее низкие показатели межэкспертной согласованности были получены при выявлении образований размером до 10 мм, особенно в исследованиях без контрастного усиления ($\kappa=0,41$ для КТ и $\kappa=0,31$ для МРТ), что может быть связано с особенностями визуализации мелких очаговых изменений и субъективными различиями в их интерпретации экспертами. В целом применение контрастного усиления как при КТ, так и при МРТ сопровождалось повышением межэкспертной согласованности и, как следствие, к показателям воспроизводимости экспертной оценки по большинству анализируемых признаков.

Достаточно высокая воспроизводимость экспертных оценок позволила перейти ко второму этапу – оценке сходимости результатов КТ и МРТ. Для этого были выполнены расчеты коэффициентов Коэна (в долях от единицы – максимального уровня) и оценка совпадений (%) в обнаружении патологии при методах КТ и МРТ.

Наиболее высокое число совпадений результатов КТ- и МРТ-диагностики (сходимость между методами КТ и МРТ) установлена при выявлении кистозных образований и образований размерами 10 мм и более как кистозного, так и солидного типов. Суммарные ответы по проанализированным парам КТ- и МРТ-исследований приведены в таблице Б-3.

Наименьшая сходимость между методами КТ и МРТ выявлена при оценке образований размером до 10 мм в исследованиях без контрастного усиления ($\kappa=0,17$; совпадение результатов 60%), при этом доверительный интервал включал нулевое значение, что свидетельствует о возможности отдельных случаев отсутствия статистически значимого отличия сходимости от случайного совпадения.

При исследованиях с контрастным усилением кистозных образований и всех типов образований размерами 10 мм и более коэффициент Коэна (κ) составил 0,72 и 0,70 соответственно, при 88% совпадений результатов КТ- и МРТ-визуализации. Для солидных образований также отмечена высокая

согласованность методов при контрастном усилении ($\kappa=0,69$; совпадение результатов 87%).

В целом применение контрастного усиления сопровождалось увеличением как коэффициента Коэна (κ), так и доли совпадений результатов КТ и МРТ по всем анализируемым признакам. Так, при применении контрастного усиления доля совпадений между КТ- и МРТ-исследованиями возрастала с 60 до 88%, а коэффициент Коэна (κ) – с 0,17 до 0,72 (табл. 5.2). Это приводило к увеличению соответствия между методами визуализации от незначительного до существенного.

Следует отметить, что наиболее выраженный прирост соответствия после применения контрастного усиления наблюдался при выявлении очагов размером до 10 мм, множественных и солидных образований.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что МРТ-исследования, выполненные на МРТ-сканерах клиники ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, обеспечивают сопоставимую по сравнению с КТ визуализацию новообразований органов брюшной полости и забрюшинного пространства. Наиболее высокая сходимость между методами КТ и МРТ установлена для кистозных и солидных образований размерами 10 мм и более. При этом МРТ демонстрировала преимущество по сравнению с КТ при выявлении мелких (до 10 мм) и множественных (два и более) образований, при диагностике которых МРТ позволяла обнаружить большее, чем при КТ, количество случаев визуализации очагов патологии, особенно при использовании контрастного усиления.

Таким образом, учитывая сопоставимую диагностическую эффективность КТ- и МРТ-методов лучевой диагностики по большинству анализируемых критериев, можно заключить о целесообразности расширения показаний к применению МРТ в качестве метода выбора при лучевой диагностике заболеваний органов брюшной полости и забрюшинного пространства. При первичной диагностике мелких образований (менее 10 мм), учитывая низкую

согласованность между экспертами, рекомендуется использовать двойной контроль (КТ и МРТ).

МРТ необходимо рассматривать как предпочтительный метод контроля ранее выявленных как солидных, так и кистозных образований размером менее 10 мм. В первую очередь МРТ рекомендуется использовать при динамическом наблюдении пациентов из числа персонала, работающего с техногенными источниками ионизирующего излучения.

Проведенные результаты экспертизы выборки парных КТ и МРТ, сформированной по результатам выполненных в ЦЛД рутинных исследований, согласуются с отечественными клиническими рекомендациями. Это позволяет принимать взвешенные решения по выбору метода лучевой диагностики на аппаратной базе ЦЛД ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России с учетом принципов оптимизации и обоснования радиационной защиты пациентов.

5.3 Факторы, используемые при разработке алгоритма снижения радиационных рисков от медицинского облучения при лучевой диагностике

При разработке алгоритма снижения радиационных рисков при лучевой диагностике у персонала, работающего с техногенными ИИИ, были выделены факторы [29], оказывающие влияние на целесообразность назначения МРТ вместо КТ. Ими стали: уровень радиационного риска, который формируется на основе пола, возраста пациента и дозы за КТ-исследование конкретной анатомической области с учетом количества фаз КТ-сканирования; суммарная доза в производственных условиях; участие в ликвидации радиационных аварий; проживание на радиоактивно загрязненной территории; онкологический анамнез; диагностическая информативность метода МРТ при конкретной нозологии, которая формируется из положений действующих клинических рекомендаций и экспертной оценки сходимости результатов КТ- и МРТ-исследований. На основании совокупной оценки указанных факторов рассчитывается итоговый параметр Q , отражающий целесообразность назначения МРТ в конкретной клинической ситуации (рис. 5.4).



Рисунок 5.4 – Алгоритм снижения радиационных рисков при лучевой диагностике у персонала, работающего с техногенными ИИИ.

Для корректного следования предложенному алгоритму требуется оценка накопленной эффективной дозы медицинского облучения пациента при проведении рентгенологических и радионуклидных исследований в медицинских организациях. Эффективная доза за каждое исследование должна быть занесена в протокол учета накопленной дозы при проведении лучевой диагностики, который должен находиться в общем доступе, предложенный протокол размещен в таблице В-1. В расчет включаются: рентгенография, флюороскопия, стоматологические исследования, маммография, компьютерная томография. Не учитываются: МРТ и УЗИ. Ведение данного протокола целесообразно в медицинской карте пациента в медицинской организации, к которой он прикреплен, а также в единой информационной медицинской системе. При оценке накопленной эффективной дозы целесообразно учитывать, что в ряде эпидемиологических и радиобиологических исследований повышение стохастических радиационных рисков обсуждается при накопленных дозах свыше 100 мЗв [183], особенно у пациентов молодого возраста. Для этих категорий

пациентов особенно важны обоснованность повторных КТ и применение ему в качестве альтернативы метода МРТ.

Порядок расчета итогового параметра Q для алгоритма снижения радиационных рисков при лучевой диагностике у персонала, работающего с техногенными ИИИ формируется расчетами в два этапа. **Первый этап** – расчет коэффициента риска. В качестве исходных используется пол, возраст, анатомическая область предполагаемого исследования, количество фаз КТ, а также сведения о накопленной медицинской и профессиональной дозе облучения при их наличии. Вводится усредненная доза облучения за планируемое исследование ($E_{\text{иссл}}$), исходя из дозы за 1 фазу (КТ-процедуру) ($E_{\text{за 1 фазу}}$) и количества фаз ($N_{\text{фаз}}$) при выбранном виде КТ-исследования – формула (5.1):

$$E_{\text{иссл}} = E_{\text{за 1 фазу}} \cdot N_{\text{фаз}} \quad (5.1)$$

Далее рассчитывается радиационный риск при планируемом исследовании по формуле (5.2):

$$R1 = K_r \cdot E_{\text{иссл}}, \quad (5.2)$$

где $R1$ – уровень радиационного риска за планируемое КТ-исследование;

K_r – показатель радиационного риска на 1 мЗв с учетом возраста и пола пациента из МР 2.6.1.0215-20 [91].

На следующем этапе рассчитывается радиационный риск при суммарной дозе предшествующего облучения ($E_{\text{суммарная}}$) по формуле (5.3)

$$R2 = K_r \cdot E_{\text{суммарная}}, \quad (5.3)$$

где $R2$ – уровень радиационного риска при суммарной дозе предшествующего облучения (медицинская + в профессиональных условиях + полученная при ликвидации радиационных аварий + полученная при проживании на радиоактивно загрязненной территории);

K_r – показатель радиационного риска на 1 мЗв при суммарной дозе предшествующего облучения.

Итоговый уровень радиационного риска рассчитывается по формуле (5.4):

$$R_{\text{сумм}} = R1 + R2 \quad (5.4)$$

Полученное значение $R_{\text{сумм}}$ сопоставляется с категориями радиационного риска, установленными МР 2.6.1.0215-20 и в соответствии с ними каждому уровню риска присваивается балл (рис. 5.5).

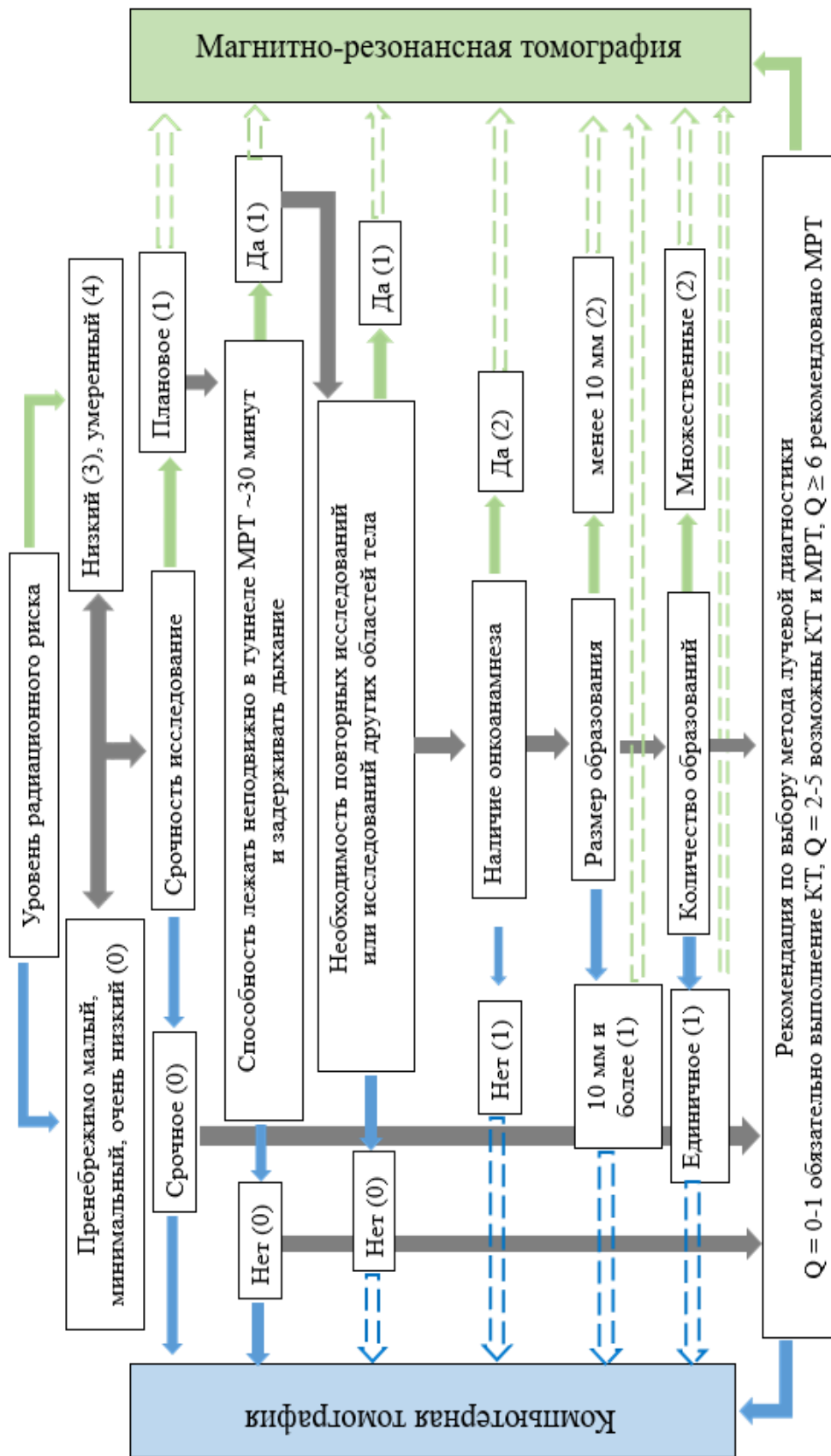


Рисунок 5.5 – Порядок расчета итогового параметра Q (баллы) целесообразности выполнения МРТ на основе уровня радиационного риска и клинико-экспертных оценок (0-4 – математические операторы для выполнения расчетов в автоматизированной программе).

На втором этапе проводится оценка совокупности данных о пациенте для решения вопроса о целесообразности замены КТ на МРТ. Этот этап применяется только в тех клинических ситуациях, когда действующие клинические рекомендации допускают выполнение как КТ, так и МРТ. Врач отвечает на ряд вопросов, характеризующих особенности клинической ситуации: наличие срочных показаний к исследованию, соматическое состояние пациента (возможность задерживать дыхание, способность лежать неподвижно около 30 минут в туннеле МРТ-сканера), необходимы ли повторные исследования в рамках динамического наблюдения, сведения о наличии онкологического заболевания в анамнезе или на момент обследования, а также о характере и особенностях патологии.

На основании использованной информации рассчитывается итоговый параметр Q целесообразности применения МРТ в баллах по формуле (5.5):

$$Q = F1 + F2 + F3 + F4 + F5 + F6 + F7, \quad (5.5)$$

где F1 – радиобиологический риск;

F2 – срочность исследования ($F2 \neq 0$);

F3 – наличие противопоказаний к продолжительному исследованию ($F3 \neq 0$);

F4 – необходимость повторных исследований при динамическом наблюдении;

F5 – наличие онкоанамнеза;

F6 – размер патологии;

F7 – количество патологических образований.

В зависимости от значения Q формируется итоговое заключение:

- 1) $Q = 0-1$ – требуется выполнение КТ;
- 2) $Q = 2-5$ – возможность замены КТ на МРТ пропорционально Q;
- 3) $Q \geq 6$ – наиболее предпочтительно выполнение МРТ.

В разработанном алгоритме определяющим фактором принятия решения является уровень радиационного риска, рассчитанный на основании

половозрастного коэффициента риска и суммарной дозы медицинского и профессионального облучения. При отнесении пациента к более значимым категориям радиационного риска автоматически формируется рекомендация в пользу выполнения МРТ как метода, не связанного с дополнительным воздействием ионизирующего излучения. Клинико-экспертный блок в данном случае выполняет уточняющую функцию и позволяет дополнительно учитывать особенности клинической ситуации, влияющие на целесообразность замены КТ на МРТ.

Заключение по главе 5

Проведенный анализ отечественных методических рекомендаций по применению методов лучевой диагностики показал, что при многих заболеваниях и клинических ситуациях компьютерная томография и магнитно-резонансная томография рассматриваются как альтернативные методы визуализации, выбор которых определяется клинической задачей, характером патологического процесса и состоянием пациента. Выявленная диагностическая информативность МРТ является сопоставимой с КТ или превосходит ее, прежде всего при оценке мягкотканых структур, опухолевых процессов, воспалительных изменений и сосудистых осложнений [28, 52]. В то же время при ряде состояний (ургентная патология, оценка кальцинатов, воздухосодержащих структур и мочекаменной болезни) КТ сохраняет ведущую роль [28].

Результаты данного исследования диагностических возможностей методов лучевой диагностики, выполненного на КТ- и МРТ-сканерах многопрофильной клиники ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, согласуются с клиническими рекомендациями. Это подтверждает и обосновывает на конкретных наблюдениях возможность более широкого применения МРТ в лучевой диагностике при ряде заболеваний органов брюшной полости, забрюшинного пространства, а также при других заболеваниях, когда необходимо проведение сканирования сочетанной области ОБП, ЗБП и ОМТ. Такой подход позволит снизить медицинскую лучевую нагрузку на пациентов, что особенно важно для

работников радиационных производств, без ухудшения диагностической эффективности, что соответствует современному уровню требований по соблюдению принципов радиационной защиты при медицинском облучении.

Результаты расчетов доз и радиационного риска, а также данные экспертного сопоставления диагностических возможностей КТ и МРТ стали основой для разработки алгоритма снижения радиационных рисков при лучевой диагностике у персонала, работающего с техногенными ИИИ. Предложенный алгоритм требует внедрения в клиническую практику отделений лучевой диагностики многопрофильных медицинских организаций, обслуживающих пациентов из группы персонала радиационных производств.

ГЛАВА VI. СИСТЕМНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДОЗОЙ ОБЛУЧЕНИЯ ПРИ ЛУЧЕВОЙ ДИАГНОСТИКЕ ПЕРСОНАЛА, РАБОТАЮЩЕГО В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕХНОГЕННОГО ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Снижение радиационных рисков по разработанному новому алгоритму при лучевой диагностике у персонала, работающего с техногенными ИИИ, возможно только в общем комплексе организационно-методических мероприятий, которые должны включать:

- использование автоматизированных программ для расчетов доз облучения пациентов и радиационного риска при КТ и обоснования выбора метода лучевой диагностики в качестве поддержки принятия решений врачом;
- учет экономической эффективности от применения разработанного алгоритма;
- использование новых подходов к оценке трудовой функции врача-рентгенолога по описанию результатов МРТ-исследований.

6.1 Использование автоматизированных программ для расчетов доз облучения пациентов и радиационного риска при КТ

Выполнены расчеты эффективной дозы и радиационного риска с применением автоматизированных программ (VirtualDoseCT, ESCORR, X-RAY RISK), применяемых для количественной оценки медицинского облучения пациентов. Полученные результаты расчетов были сопоставлены с референтными диагностическими уровнями (РДУ) [79], а также с оценками по BEIR VII [162] и в соответствии с Публикацией МКРЗ-152 [167].

При анализе установлено, что указанные программные средства позволяют объективизировать дозовую нагрузку и прогнозировать вероятностные радиационные эффекты, однако не предусматривают клинических критериев выбора альтернативного метода лучевой диагностики у персонала, подвергающегося профессиональному облучению. В таблице 6.1 приведены расчеты показателей эффективной дозы и значений радиационного риска.

Как видно (табл. 6.1), эффективная доза для КТ-исследований головы (1,43-2,61 мЗв) и ОБП (7,8-10,03 мЗв), при расчетах по всем программам близки к значениям, приведенным в качестве референтных диагностических уровней (РДУ) в методических указаниях 2.6.7.3652-20 «Методы контроля в КТ-диагностике для оптимизации радиационной защиты» [60]. Для КТ-исследований ОГК можно отметить значительные расхождения между результатами оценки по разным программам (3,3-8,62 мЗв). Расчеты по 2.2. VirtualDose CT и 3.1. ESCORR показывают более высокие дозы, при этом дозы по 2.2. VirtualDose CT превышают значения в МУ 2.6.7.3652-20. Программа 3.1. X-RAY RISK также демонстрирует более высокие дозы по каждой оцениваемой анатомической области. Это связано с тем, что дозовые коэффициенты для анатомических областей по Публикации 60 МКРЗ [106] в 1,2-1,3 раза выше, чем в МУ 2.6.1.3584-19 [36].

Были проанализированы уровни риска, рассчитанные в программах кластера 3 (табл. 6.1). Вычисленные в программе 3.1. ESCORR значения DALY (меньше 40 лет на 10 000 чел.) и показателя DAR находятся в категории низкого риска (не более 10 случаев на 10 000 чел.). Уровни риска по МУ 2.6.1.0215-20 [91] по всем областям тела составили – от очень низкого до низкого.

Программа 3.2. X-RAY RISK показывает, что дополнительный риск развития злокачественных новообразований при одноразовом КТ-исследовании составляет 0,03-0,17%, то есть примерно один дополнительный случай рака на 500-4 000 исследований. Суммарный риск (базовый + дополнительный) находится в пределах 37-45%, что соответствует мировым эпидемиологическим оценкам для популяции старше 30 лет по данным BEIR VII.

Из таблицы 6.1 видно, что результаты расчетов оценки риска по программам третьего квартиля 3.1. ESCORR (НИИРГ) [116] по своим значениям несколько ниже (преимущественно у мужчин), чем по программе 3.2. X-RAY RISK, но по категориям риска соответствуют друг другу.

Выполненный анализ прикладных программ и калькуляторов показал, что автоматизированный расчет существенно повышает оперативность оценки доз

облучения пациентов при компьютерной томографии и может быть использован в целях информирования лечащих врачей и врачей-рентгенологов центров и отделений лучевой диагностики.

Программы-калькуляторы кластера 1 (1.1, 1.2 и 1.3) позволяют оперативно оценить E на основе DLP, однако крайне ориентировочны, так как не учитывают параметры КТ-сканирования, распределение доз по органам и тканям и не позволяют оценить уровни радиационного риска для пациента.

Программы кластера 2 (2.1. VirtualDoseCT, 2.2. NCICT) обеспечивают более точные расчеты E за счет оценки доз в органах и тканях, а также моделирования дозовых распределений в анатомически корректных фантомах с применением метода Монте-Карло, однако доступ к этим программам возможен только на коммерческой основе.

При использовании программ кластера 3 (3.1. ESCORR, 3.2. X-RAY RISK) точность оценок не высока, так как в выходных данных они показывают не рассчитанные показатели E , а их оптимальные значения, а также показатели дополнительного к базовому и суммарного радиационного риска (DALY, DAR); они полезны для информирования врача о радиационных рисках, для обоснования выбора метода исследования, что делает их перспективными для интеграции в системы мониторинга доз от медицинского и профессионального облучения.

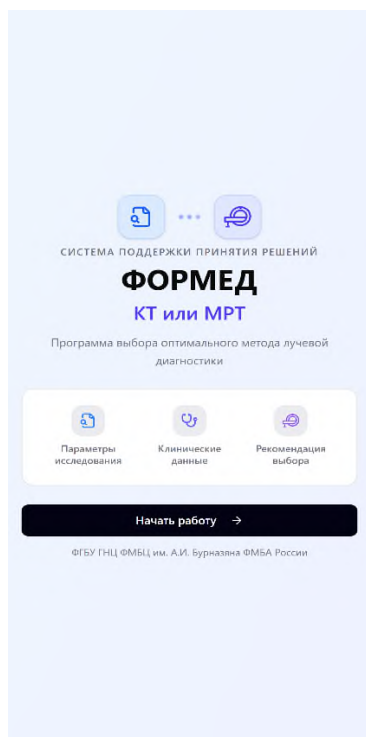
Создание отечественной программной платформы, учитывающей недостатки программ кластеров 1-3, требования НРБ-99/2009 и МР 2.6.1.0215-20, является актуальной задачей для радиационной гигиены в аспекте реализации принципа оптимизации и обоснования в медицинской практике.

В таблице 6.2 приведены основные преимущества и недостатки всех проанализированных программ.

Таблица 6.2 – Преимущества и недостатки автоматизированных программ для расчета доз облучения пациентов

№	Преимущества	Недостатки
1	Автоматизация расчета эффективной дозы на основании параметров исследования (CTDIvol, DLP, область сканирования), что упрощает оценку радиационного воздействия в клинической практике	Отсутствие универсального метода расчета; использование разных коэффициентов, что может давать разность оценки индивидуальной дозы
2	Ограниченный учет индивидуальных анатомических особенностей пациента в простых калькуляторах	Сложные дозиметрические калькуляторы включают библиотеки фантомов разных возрастных групп, пола, роста и массы тела
3	Расчет радиационных рисков (DALY, DAR, дополнительный риск злокачественных новообразований) в программах третьего класса	Отсутствие интеграции с программами учета профессиональной дозы для подсчета накопленной дозы и радиационных рисков и единого учета накопленных доз от разных видов медицинского облучения
4	Интерфейсы программ и веб-платформы делают возможным их применение врачами-рентгенологами без специальной технической подготовки	Ограниченная доступность некоторых программ, требующих платного или корпоративного доступа
5	Возможность оценки органных доз	Отсутствие реальных клинических решений для принятия решения с учетом диагностической ценности изображений

С учетом выполненного анализа существующих программ расчета доз облучения пациентов и разработанного алгоритма снижения радиационных рисков при лучевой диагностике у персонала, работающего с техногенными ИИИ, была создана программа «ФОРМЕД» для формирования медицинских рекомендаций по выбору метода лучевой диагностики с учетом комплекса радиобиологических факторов и особенностей визуализации патологии и выбора метода лучевой диагностики у пациентов из числа персонала, работающего с техногенными источниками ионизирующего излучения (рис. 6.1).



а. Титульная

б. Шаг 1

в. Шаг 2

г. Шаг 3

д. Шаг 4

е. Форма вывода

Рисунок 6.1 – Интерфейс программы «ФОРМЕД»: а – титульная страница; б-д – формы ввода исходных данных; е – форма вывода медицинских рекомендаций для формирования медицинских рекомендаций по выбору метода лучевой диагностики с учетом комплекса радиобиологических факторов и диагностических возможностей визуализации

Программа учитывает индивидуальные характеристики пациента (возраст, пол, масса тела), данные о накопленных дозах профессионального и медицинского облучения, предполагаемую область сканирования и особенности планируемого КТ-исследования (наличие контрастного усиления и количество фаз) (рис. 6.1 б-д). По результатам расчетов определяются прогнозируемые значения эффективной дозы и радиационного риска при КТ-исследовании, а также формируются рекомендации по выбору наиболее рационального метода лучевой диагностики в конкретном клиническом случае (рис. 6.1 е). Ввод данных в программу ФОРМЕД осуществляется из чек-листа (табл. В.2), который заполняется первично лечащим врачом, а далее врачом-рентгенологом.

По результатам расчета отображаются предполагаемая эффективная доза облучения, категория радиационного риска и рекомендованный метод лучевой диагностики с указанием основания принятого решения.

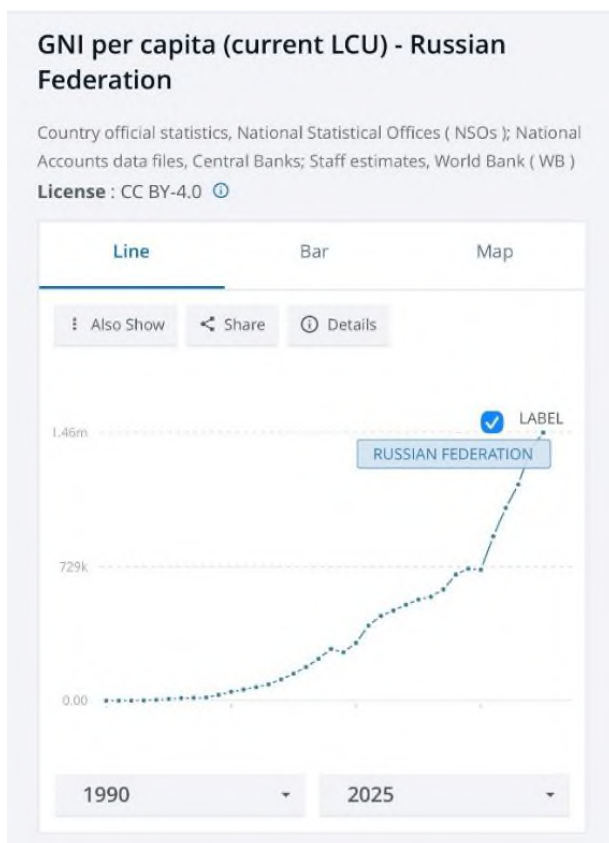
6.2 Экономическая эффективность от применения алгоритма

Были выполнены расчеты по снижению экономического ущерба от отдаленных последствий воздействия медицинского облучения в диагностических целях.

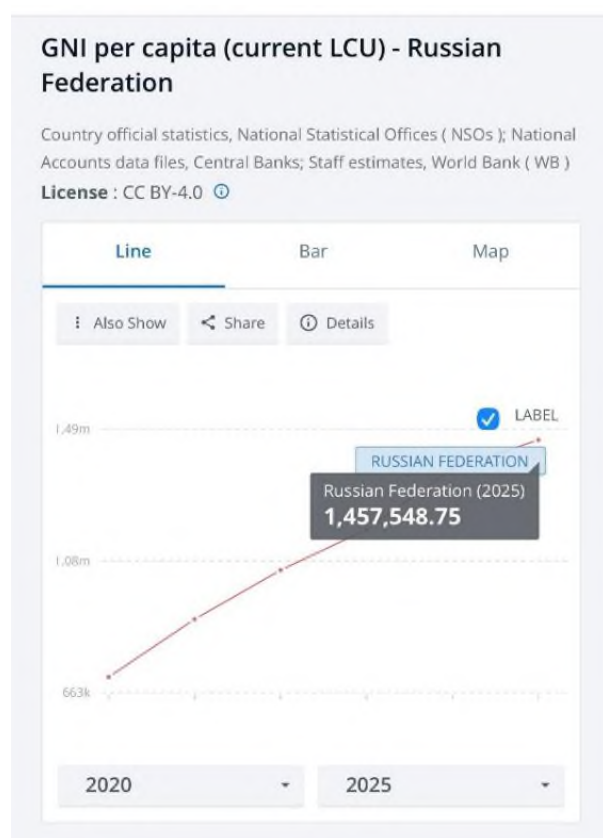
В соответствии с НРБ 99-2009 «Для обоснования расходов на радиационную защиту при реализации принципа оптимизации принимается, что облучение в коллективной эффективной дозе в 1 чел.-Зв приводит к потенциальному ущербу, равному потере примерно 1 чел.-года жизни населения». Величина денежного эквивалента потери 1 чел.-года жизни устанавливается отдельными документами федерального уровня в размере не менее 1 годового душевого национального дохода. Для оценки этого параметра используются оценки валового национального дохода на душу населения, производного от валового национального дохода (ВНД) / Gross National Income [161].

ВНД – один из ключевых показателей экономического развития стран мира – совокупная ценность всех товаров и услуг, произведенных в течение года на территории государства (то есть валовой внутренний продукт – ВВП), плюс

доходы, полученные гражданами и организациями страны (резидентами) из-за рубежа, минус доходы, вывезенные из страны иностранными гражданами и организациями (нерезидентами). Информация о ВНД стран мира, а также ВНД на душу населения, в том числе для Российской Федерации, публикуется в ежегодных сборниках показателей развития Всемирного банка, которые составляются на основе официально признанных источников World Bank national accounts data, and OECD National Accounts data files. License: CC BY-4.0 и периодически обновляются в соответствии с последними результатами этих анализов. Согласно этому сборнику Всемирного банка, ВНД на душу населения в Российской Федерации (среднегодовой показатель в текущей национальной валюте) за последние 5 лет составлял в рублях РФ (рис. 6.2): в 2020 г. – 711 772 руб., в 2021 г. – 900 743 руб., в 2022 г. – 1 035 817 руб., в 2023 г. – 1 190 213 руб., в 2024 г. – 1 359 676 руб., в 2025 г. – 1 457 549 руб. [114, 161].



а



б

Рисунок 6.2 – Валовой национальный доход на душу населения (GNI per capita (current LCU) (по оси абсцисс – годы, по оси ординат – текущая национальная единица, рубли) в Российской Федерации: а – 1990-2025 гг., б – 2020-2025 гг.

Расчет экономической эффективности формализуется следующим образом (формулы 6.1-6.3). Первоначально определяется величина снижения дозы облучения ($D_{\text{снижения}}$) за оцениваемое число лет (N) по формуле (6.1):

$$D_{\text{снижения}} = D_2 - D_1 / N, \quad (6.1)$$

где $D_{\text{снижения}}$ – уровень снижения годовой коллективной дозы облучения персонала за 1 год, мЗв;

D_2 – годовая коллективная доза в i (предыдущем) году, мЗв;

D_1 – годовая коллективной доза в I (последующем) году, мЗв;

N – количество лет разницы между D_1 и D_2 , лет.

Затем рассчитывается экономический эффект (f) от использования алгоритма без учета затрат на выполнение альтернативных процедур диагностики с использованием формулы (6.2):

$$f = D_{\text{снижения}} \cdot U, \quad (6.2)$$

где f – экономический эффект от использования алгоритма за N лет без учета увеличения затрат на выполнение альтернативных процедур диагностики, руб.;

$D_{\text{снижения}}$ – уменьшение дозы облучения при лучевой диагностике за N лет, мЗв;

U – экономический эффект от снижения дозы облучения на 1 мЗв в год, руб.

Далее из величины экономического эффекта (f) вычитается сумма затрат на выполнение альтернативных процедур диагностики по формуле (6.3):

$$F = f - V, \quad (6.3)$$

где F – экономический эффект от использования алгоритма за N лет с учетом затрат на выполнение альтернативных процедур диагностики, руб.;

V – разница в стоимости исследований при применении альтернативного метода лучевой диагностики без использования ионизирующего излучения, в год, руб.

Исходя из размера годового душевого национального дохода для Российской Федерации в 2024 г. в сумме 1 457 549 руб. [161] экономический эффект от снижения дозы облучения пациента на 1 мЗв в год составит:

$$f_{y1 \text{ человека}} = 1\,457\,549 \text{ руб.} / 1000 \text{ мЗв} = 1\,457,55 \text{ руб. в год,}$$

$$f_{y10 \text{ человек}} = 1\,457,55 \text{ руб.} \cdot 10 = 14\,575,50 \text{ руб. в год,}$$

$$f_{y500 \text{ человек}} = 1\,457,55 \text{ руб.} \cdot 500 = 728\,775,00 \text{ руб. в год,}$$

$$f_{y1000 \text{ человек}} = 1\,457,55 \text{ руб.} \cdot 1000 = 1\,457\,550 \text{ руб. в год.}$$

Значения V определяется исходя из дополнительной стоимости при замене методов лучевой диагностики (табл. 6.3) [128].

Таблица 6.3 – Стоимость базовой процедуры лучевой диагностики и увеличение стоимости при разных вариантах замены процедур согласно тарифному соглашению [128]

Условия проведения (описания результатов МРТ-исследований)	Стоимость базовой процедуры, руб.				Увеличение стоимости при заменах, руб.				
	КТ БКУ	КТ СКУ	МРТ БКУ	МРТ СКУ	КТ БКУ вместо КТ СКУ	МРТ БКУ вместо КТ БКУ	МРТ СКУ вместо КТ СКУ	МРТ БКУ вместо КТ СКУ	МРТ СКУ вместо КТ БКУ
Амбулаторно	1 357,73	6 244,73	1 707,11	9 366,54	0	349,38	3 121,81	0	8 008,81
Стационарно	-	5 836,20		8 753,78	0	349,38	2917,58	0	7 396,05

Расчет экономического эффекта для варианта пациентки А. (рис. 5.1). При диагностике пиелонефрита при замене КТ СКУ на КТ БКУ в сочетании с МРТ БКУ снижение дозы облучения составило 13,9 мЗв. При маршрутизации по данному алгоритму 10 пациентов с подобной патологией общее снижение дозы у них составит 139 мЗв, что соответствует экономии:

$$f_{y10 \text{ человек}} = 139 \text{ мЗв} \cdot 1\,457,55 \text{ руб.} = 202\,599,45 \text{ руб./год.}$$

Стоимость исследования КТ СКУ составила бы у одного пациента 6 244,73 руб. Затраты при замене этой процедуры были ниже и составили: на выполнение КТ БКУ – 1 357,73 руб. и на МРТ БКУ – 1 707,11 руб.; общая стоимость – 3 064,84 руб. То есть увеличения стоимости процедуры не

произошло, экономический эффект от реализации алгоритма у 10 пациентов будет равен 202 599,45 руб.

Расчет экономической эффективности для варианта пациентки Л. (рис. 5.2). При динамическом контроле образований в печени вместо каждого исследования КТ СКУ было обосновано и выполнено МРТ СКУ, тем самым при каждом исследовании исключалось облучение в дозе 21,7 мЗв.

При маршрутизации по данному алгоритму 10 пациентов с подобной патологией общее снижение дозы у них составит 217 мЗв, что соответствует экономии 316 288,35 руб.:

$$f_{\text{у 10 человек}} = 217 \text{ мЗв} \cdot 1\,457,55 \text{ руб.} = 316\,288,35 \text{ руб.}$$

Увеличение стоимости на выполнение данного алгоритма при такой замене составит (табл. 6.3) у 10 пациентов 29 175,80 руб. Экономический эффект ($F_{\text{у 10 человек}}$) от реализации алгоритма при исследованиях у 10 пациентов с учетом дополнительных затрат на проведение исследований составит 287 112,55 руб.:

$$F_{\text{у 10 человек}} = 316\,288,35 - 29\,175,80 = 287\,112,55 \text{ руб.}$$

Достижимый экономический эффект обуславливает актуальность и практическую значимость совершенствования мероприятий по снижению дозовой нагрузки при лучевой диагностике у пациентов из числа персонала.

6.3 Разработка методов оценки трудовой функции врача-рентгенолога по описанию результатов МРТ-исследований

В соответствии с п. 5.4.1 действующих НРБ-99/2009 обеспечение радиационной безопасности при медицинских исследованиях всех лиц не включает принцип нормирования, и это положение не ограничивает использование КТ-исследований. Однако, в проекте ФЗ от 31.05.2022 г. «О внесении изменений в ФЗ «О радиационной безопасности населения» в п. 3 ст. 17 вносится новое положение: «Оптимизация радиационной защиты при медицинском облучении осуществляется посредством установления и применения референтных диагностических уровней (для пациентов) и граничных

доз (для отдельных категорий лиц)...». В центрах и отделениях лучевой диагностики медицинских организаций ФМБА России использование предлагаемого алгоритма снижения радиационных рисков при лучевой диагностике у персонала, работающего с техногенными ИИИ, приведет к замене ряда КТ-исследований на МРТ и, как следствие, значительно увеличится количество пациентов, для визуализации патологии у которых будет применяться МРТ вместо КТ. Это приведет к резкому увеличению нагрузки на врачей-рентгенологов по описанию МРТ-исследований. Используемая в настоящее время методика оценки трудовой функции врачей-рентгенологов по критерию выполнения общего числа МРТ-описаний не стимулирует врачей на описания сложных МРТ-исследований, что снижает общий объем выполненных исследований в отделении МРТ. Для решения этой проблемы была разработана усовершенствованная методика оценки трудовой функции врачей-рентгенологов, основанная на использовании системы коэффициентов сложности МРТ-описаний. Это позволит повысить заинтересованность врачей, и в итоге приведет к увеличению в отделении МРТ числа МРТ-описаний как за смену, так и за месяц.

Ниже приведены результаты сравнения двух методик оценки трудовой функции врача-рентгенолога.

Методика 1. Оценка трудовой функции на основе общего количества выполненных врачом-рентгенологом описаний результатов МРТ-исследований

Методика 1 предусматривает следующие вычисления (формулы 6.4-6.7).

1. Подсчитывается общее количество МРТ-описаний по всем врачам отделения МРТ с учетом количества врачей ($T_{\text{врачей отделения}}$) на 1-го врача за 6 месяцев 2025 года из МИС ($N_{\text{МРТ}}$ всего за 6 месяцев работы отделения МРТ) по формуле (6.4).

2. Вычисляется среднее количество МРТ-описаний на 1-го врача-рентгенолога отделения МРТ за 6 месяцев 2025 г. ($N_{\text{МРТ}}$ среднее 1 врача за 6 месяцев):

$$N_{\text{МРТ среднее на 1 врача за 6 месяцев}} = \frac{N_{\text{МРТ всего за 6 месяцев работы отделения МРТ}}}{T_{\text{врачей отделения}}} \quad (6.4)$$

$$N_{\text{МРТ среднее 1 врача за 6 месяцев}} = 4\,830 / 5,5 = 878.$$

3. Рассчитывается среднее количество МРТ-описаний на 1-го врача-рентгенолога отделения МРТ за 1 месяц 2025 года по формуле (6.5):

$$N_{\text{МРТ среднее 1 врача за 1 месяц}} = \frac{N_{\text{МРТ всего за 6 месяцев работы отделения МРТ}}}{6 \text{ месяцев}} \quad (6.5)$$

$$N_{\text{МРТ среднее 1 врача за 1 месяц}} = 878 \text{ МРТ описаний} / 6 = 146,3 \text{ МРТ-описания.}$$

4. Рассчитывается среднее количество МРТ описаний на 1-го врача за рабочую смену 13 часов ($N_{\text{МРТ среднее на 1 врача за 1 рабочую смену}}$) по формуле (6.6):

$$N_{\text{МРТ среднее на 1 врача за 1 рабочую смену}} = \frac{N_{\text{МРТ среднее на 1 врача за 1 месяц}}}{N_{\text{смен на 1 врача за месяц}}} \quad (6.6)$$

$$N_{\text{МРТ среднее на 1 врача за 1 рабочую смену}} = 146,3 / 11 = 13,3 \text{ (принято за 13).}$$

5. Рассчитывается среднее количество МРТ-описаний одного 1 врача-рентгенолога за 1 час работы при 13 часовых сменах в месяц по формуле (6.7):

$$N_{\text{МРТ среднее 1 врача за 1 час работы}} = \frac{N_{\text{МРТ среднее 1 врача за 1 рабочую смену}}}{N_{\text{часов в смене}}} \quad (6.7)$$

$$N_{\text{МРТ среднее 1 врача за 1 час работы}} = 13 / 13 = 1$$

Таким образом, за 1 час работы врач-рентгенолог описывает в среднем результаты одного МРТ-исследования, следовательно, продолжительность одного МРТ-описания в среднем составляет 60 минут. Нормативные значения трудовой функции врача-рентгенолога по первой методике оценки – за месяц 146 МРТ-описаний, за рабочую смену – 13 МРТ-описаний, за 1 час работы – одно МРТ описание.

В это же время входит работа с пациентом (уточнение показаний и противопоказаний, доведение информированного согласия и его подписание, инструктаж и т.д.), врачебные консилиумы и др., так как рассчитать отдельно эти затраты времени довольно затруднительно.

Приведенные значения, рассчитанные по первой методике, приняты в настоящее время за нормативные при оценке трудовой функции врача-рентгенолога по описанию результатов МРТ-исследований в ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России. В других МРТ-отделениях нормативы могут отличаться от них, так как зависят от уровня оказываемой медицинской помощи в медицинской организации и нозологий пациентов, оснащенности современными МРТ-сканерами, квалификации врачей-рентгенологов, наличия систем

автоматизации описаний и др. Полученные в данном исследовании результаты согласуются с данными [76, 92], где медиана и значения 40-го и 60-го перцентилей времени описаний МРТ врачами-рентгенологами составляли 34 и 60 мин соответственно, при этом рекомендованные значения на одно МРТ-описание 20-40 мин достигались путем регулярного и полноценного использования врачами единой информационной системы и систем программной поддержки принятия врачебных решений.

В других медицинских организациях минимальная длительность одного несложного МРТ-описания может составлять 6-8 мин, а сложного – до 45-60 мин [113, 151]. Однако применяемая в настоящее время «методика 1» оценки труда основывается только на количестве МРТ-описаний и не учитывает сложность МРТ-описания. Учитывая работу в отделении в смену четырех врачей-рентгенологов и двух МРТ-сканеров, половину МРТ-исследований описывают проводившие их 2 врача, а вторую половину – другие 2 врача. Однако последние могут быть заинтересованы описывать простые диагностические случаи, которые требуют меньше затрат времени, что позволяет им выполнять большее число МРТ-описаний. Поэтому сложные МРТ-исследования относительно длительное время могут оставаться неописанными. В связи с этим была разработана вторая методика оценки трудовой функции врача-рентгенолога.

Методика 2. Оценка трудовой функции с учетом «коэффициентов сложности» выполненных МРТ-описаний

Предлагаемая методика 2 предусматривает следующие вычисления (формулы 6.8-6.12).

1. Для учета сложности описания МРТ-исследования вводится показатель i – категория сложности МРТ-описания: i_1 ($K_{\text{МРТ}1}$ и $K_{\text{МРТ}1}$ с КУ), i_2 ($K_{\text{МРТ}2}$ и $K_{\text{МРТ}2}$ с КУ), i_3 ($K_{\text{МРТ}3}$), i_4 ($K_{\text{МРТ}4}$) (табл. 6.3). В зависимости от сложности (трудоемкости) МРТ-описания по затрачиваемому времени и сложности выявления патологии при данных i -категориях предлагается использовать следующую градацию коэффициента сложности (K_i): i_1 – 1 балл, i_2 – 2 балла, i_3 – 3 балла, i_4 – 4 балла (табл. 6.4).

Таблица 6.4 – Система коэффициентов сложности (K_i) при выполнении функциональных обязанностей врачей-рентгенологов по описанию результатов МРТ-исследований разной категории сложности (i)

Категория сложности МРТ-описания		Вид МРТ-исследования*		K_i , баллы
i_1	$K_{\text{МРТ1}}$ без КУ	1	Головной мозг	1
		2	1 отдел позвоночника	1
		3	1 сустав	1
		4	мягкие ткани	1
		5	Артериография 1 зоны	1
		6	Венография 1 зоны	1
	$K_{\text{МРТ1}}$ с КУ	7	При контрастном усилении исследования $K_{\text{МРТ1}}$ (1-6) дополнительно начисляется 1 балл	2
i_2	$K_{\text{МРТ2}}$ без КУ	1	Брюшная полость	2
		2	Малый таз	2
		3	МРХПГ (магнитно-резонансная холангиопанкреатография)	2
		4	Забрюшинное пространство	2
	$K_{\text{МРТ2}}$ с КУ	5	При контрастном усилении исследования $K_{\text{МРТ2}}$ (1-4) дополнительно начисляется 2 балла	4
i_3	$K_{\text{МРТ3}}$	1	Молочные железы с контрастным усилением	3
		2	Оценка имплантов молочных желез	3
		3	Сердце с контрастным усилением	3
i_4	$K_{\text{МРТ4}}$	1	МРТ всего тела	4
		2	При контрастном усилении исследования $K_{\text{МРТ4}}$ дополнительно начисляется 3 балла	7

Примечание: * в таблице приведены типовые виды МРТ-исследований, которые наиболее часто встречаются в отделении МРТ. МРТ-исследования, встречающиеся эпизодически и не вошедшие в перечень, условно приравниваются к категории $K_{\text{МРТ1}}$ (1 балл).

2. В дальнейшем подсчитываются усредненные значения на i -го врача-рентгенолога отделения.

2.1. количество МРТ-описаний за 6 месяцев по каждой из 4-х категорий сложности i :

$$N_{\text{МРТ описаний } i\text{-той категории сложности}} = \sum N_{\text{МРТ описаний } i\text{-той категории сложности за 6 мес}} \quad (6.8)$$

2.2. количество баллов ($N_{\text{баллов } i\text{-той категории сложности}}$) за 6 месяцев работы по каждой категории сложности i исходя из $K_{\text{сложности}}$:

$$N_{\text{баллов } i\text{-той категории сложности}} = N_{\text{МРТ описаний } i\text{-той категории сложности}} \cdot K_{i(1, 2, 3, 4)} \quad (6.9)$$

2.3. сумма баллов ($Q_{6 \text{ месяцев}}$) за все 4 категории сложности МРТ-описаний i за 6 месяцев:

$$Q_{6 \text{ месяцев}} = \sum (N_{\text{баллов } i\text{-той категории сложности}}) \quad (6.10)$$

2.4. сумма баллов за МРТ-описания всех «категорий сложности» за месяц ($Q_{\text{за 1 месяц}}$). Для этого общее количество баллов ($Q_{6 \text{ месяцев}}$) за все категории сложности МРТ-описаний врача-рентгенолога за 6 месяцев делится на 6 месяцев:

$$Q_{\text{за 1 месяц}} = \frac{Q_{6 \text{ месяцев}}}{6} \quad (6.11)$$

2.5. Подсчитывается количество баллов за МРТ-описания всех «категорий сложности» врача за смену ($Q_{\text{за смену}}$):

$$Q_{\text{за смену}} = \frac{Q_{\text{за 1 месяц}}}{11 \text{ смен в месяц}} \quad (6.12)$$

В таблице 6.5 сравниваются результаты расчетов показателей трудовой функции по интерпретации МРТ-исследований врача отделения МРТ за 6 месяцев 2025 г. по первой и второй методикам. Как видно, при расчетах по второй методике средние оценки трудовой функции одного врача рентгенолога составляют за месяц 228 балла, за рабочую смену – 21 балл, за один час работы – 1,62 балла. Эти значения могут быть приняты за нормативные.

При использовании второй методики в отличие от первой трудовая функция врача-рентгенолога по описанию результатов МРТ-исследования оценивается не просто по количеству описаний, а по комплексному показателю в баллах, учитывающему категории сложности выполненных МРТ-описаний, что позволяет более точно оценивать его нагрузку, в том числе при сверхнормативной работе.

Таблица 6.5 – Средние значения показателей трудовой функции при оценке по двум методикам врача отделения МРТ

Методика оценки трудовой функции	Средний показатель трудовой функции по МРТ-описаниям			
	За 6 месяцев	За 1 месяц	За 1 рабочую смену	За 1 час работы
Методика 1 (без учета сложности МРТ описаний)	Количество описаний результатов МРТ-исследования, шт			
	878	146	13	1
Методика 2 (с учетом сложности МРТ описаний)	Показатель трудовой функции врача-рентгенолога по МРТ-описаниям суммарно по i ₁ -i ₄ категориям сложности, баллы			
	1368	228	21	1,62

Назревшая необходимость совершенствования оценки результатов труда работников медицинских организаций обуславливает важность обоснования новых подходов к решению данной проблемы, на что и было направлено выполненное исследование. Проанализированные факторы условий труда и данные общей оценки СОУТ врача-рентгенолога (класс 2, допустимый уровень) соответствуют комплексу изученных вредных факторов в отделении МРТ [39, 70, 87, 98].

Предлагаемая вторая методика отличается от первой тем, что она основана на показателе, который учитывает сложность МРТ-описаний. Поэтому ее применение в большей степени будет стимулировать врачей-рентгенологов к увеличению общего объема работ, что в целом повысит количество МРТ-исследований, проводимых в медицинской организации. Вторая методика может быть использован при работе врачей как в отделении МРТ, так и удаленно с использованием телемедицинских технологий. В этом случае применение второй методики особенно необходимо, так как в настоящее время при МРТ-описаниях в удаленном режиме врачи-рентгенологи оцениваются только по количеству сделанных МРТ-описаний, без учета их сложности и выполнения других функциональных обязанностей при работе в отделении МРТ, не связанных с

описанием результатов МРТ-исследований, на которые затрачивается до 20-30% рабочего времени.

В целом использование нормативов за месяц, за смену и за 1 час работы, рассчитанных по методике 2 оценки труда врача-рентгенолога отделения МРТ-диагностики, особенно при увеличении объема работ сверх нормативной величины, будет способствовать возрастанию общего количества описаний МРТ-исследований врачами-рентгенологами за месяц, что является ведущим показателем работы отделения МРТ-диагностики.

Внедрение системы оценки эффективности труда врачей-рентгенологов на основе второй методики, учитывающей коэффициент сложности МРТ-описания, позволит более объективно рассчитывать трудовую функцию по интерпретации результатов МРТ-исследований в зависимости от комплекса показателей – количества выполненных МРТ-описаний за рабочую смену и их трудоемкости, зависящей от их сложности. Предлагаемый показатель сложности МРТ-описания и новая методика оценки трудовой функции могут использоваться в случаях описаний результатов не только МРТ-исследований, но и компьютерной томографии, рентгенографии и рентгеноскопии. В дальнейшем они могут совершенствоваться.

Изменение в оценке трудовой функции врача-рентгенолога позволит:

- 1) организовать маршрутизацию пациентов с учетом снижения радиационных рисков и учитывать дополнительные баллы к нормативу МРТ-описания врача в зависимости от объема его реальной переработки при увеличении объема работ (сверхнормативных описаниях данных пациентов) в зависимости от количества и сложности выполненных МРТ-описаний за месяц или за число смен, в течение которых врач дополнительно описывал результаты МРТ-исследований в связи с отсутствием другого врача (по причинам отпуска, в связи с больничным листом и др.);
- 2) более корректно оценивать нормативную величину трудовой функции врача-рентгенолога при плановой работе;

3) стимулировать врача-рентгенолога к сложным описаниям МРТ-исследований, так как несмотря на то, что затраты рабочего времени на них выше, но и оценка его труда будет больше, чем при простых МРТ-описаниях ввиду того, что количество баллов за сложные МРТ-описания будет начисляться больше, чем за простые.

Однако по методике 2 в ручном режиме присваивать категории сложности выполненным МРТ-описаниям и выполнять необходимые вычисления за отработанные смену и за месяц работы по каждому врачу-рентгенологу отделения крайне сложно, поэтому при его использовании необходима автоматизация расчетов. Для этого в создаваемой программе каждому МРТ-описанию в зависимости от его категории сложности присваивается определенный балл (табл. 6.3). Затем программа начисляет врачу-рентгенологу за каждую рабочую смену баллы показателя трудовой функции с учетом сложности выполненного МРТ-описания. Эти баллы регистрируются в единой информационной системе и подтверждаются электронной цифровой подписью врача (ЭЦП). Месячный отчет из этой системы может выглядеть в виде следующей формы (табл. 6.6).

Таблица 6.6 – Форма представления результатов оценки выполненной работы за месяц врачами-рентгенологами отделения МРТ

ФИО рентгенолога	Объем выполненных работ (трудовой функции) за календарный месяц, баллы		
	По основной норме	По переработке	По основной норме + по переработке
	$Q_{\text{ЗА 1 МЕСЯЦ}} = Q_{\text{ЗА СМЕНУ}} \times N_{\text{СМЕН}} = 21 \times 11 = 231$	$Q_{\text{ЗА ПЕРЕРАБОТКУ}}$	$Q_{\text{ЗА 1 МЕСЯЦ}} + Q_{\text{ЗА ПЕРЕРАБОТКУ}}$
Иванов	21 за смену x 11 смен = 231	60	231 + 60 = 291
Петров	21 за смену x 11 смен = 231	10	231 + 10 = 241

В дальнейшем необходимо усложнить систему оценки трудовой функции по выполнению МРТ-описаний не только в зависимости от сложности МРТ-исследования, определяемой анатомической областью, но и в большей мере от характера конкретной патологии, применения контрастного усиления, используя

искусственный интеллект или эксперта (супервизора). Практика показывает [24, 127], что в последующем для повышения меры ответственности персонала отделения за результаты выполняемой работы и положительный имидж организации в целом в эту систему оценок необходимо включить также коэффициенты за некачественное выполнение описаний, поступившие жалобы пациентов, некорректное поведение врача-рентгенолога с пациентами и членами трудового коллектива, которые должны быть определены в соответствии с Профессиональным стандартом врача-рентгенолога и с Трудовым кодексом. Такой подход позволяет осуществлять оценку трудовой функции по интерпретации результатов МРТ-исследований врачами-рентгенологами более комплексно [3, 127], с учетом его квалификации и, соответственно, с учетом качества МРТ-описаний.

Новая методика оценки трудовой функции врачей-рентгенологов может быть использована в рамках комплексной системы ключевых показателей эффективности (KPI) [40] для отделений лучевой диагностики, а также в интересах оценки трудовой функции врачей других специальностей медицинских организаций, где важен учет уровня сложности выполняемых ими действий. Для оптимизации достаточно сложного процесса экспертизы множества МРТ-исследований за каждый месяц работы отделения МРТ потребуется второй этап развития этой системы – создание программного продукта с применением искусственного интеллекта для автоматизированной оценки качества и сложности МРТ-описаний пациентов на основе балльной оценки трудовой функции по описанию МРТ-исследований.

Можно заключить, что по данным работы отделения МРТ были проанализированы количество диагностических МРТ-описаний и время их выполнения врачом-рентгенологом за месяц и за смену, установлены 4 градации сложности описаний МРТ-исследования в зависимости от анатомической области сканирования, сочетания этих областей и параметров МРТ-протокола. Для усовершенствования методики оценки трудовой функции вместо количества выполненных МРТ-описаний за смену предлагается применять систему балльной оценки с использованием коэффициента сложности МРТ-описания, что позволит

точнее учитывать объем трудовой функции за рабочую смену. Предложенное усовершенствование оценки трудовой функции врачей-рентгенологов по интерпретации результатов МРТ-исследований более точно отражает особенности труда врача, направлено на повышение его эффективности, оценки труда врачей-рентгенологов в зависимости от выполненного объема МРТ-описаний и их категории сложности.

Внедрение этой системы позволит стимулировать врачей в материальном плане, более объективно оценивать их трудозатраты и в целом увеличить количество МРТ-описаний врачами отделения в месяц, что позволит компенсировать перераспределение потока пациентов с КТ на МРТ.

6.4 Системное управление выбором метода лучевой диагностики у пациентов из числа персонала, работающего с источниками ионизирующего излучения

По результатам исследования в интересах повышения радиационной безопасности пациентов сформирована концепция системного управления дозой облучения при лучевой диагностике персонала, работающего в условиях воздействия техногенного ионизирующего излучения (рис. 6.2), которая включает следующие элементы:

- контроль и учет профессиональных доз облучения;
- расчет стандартных доз облучения пациентов при КТ в многопрофильных медицинских организациях для сопоставления с РДУ;
- анализ клинических рекомендаций по отдельным нозологиям и возможностей медицинской организации по замене КТ на МРТ;
- использование автоматизированных программ для расчетов доз облучения пациентов и радиационных рисков и обоснования выбора метода лучевой диагностики в качестве поддержки принятия решений врачом;
- обоснование экономической эффективности от применения разработанного алгоритма;
- новые подходы к оценке трудовой функции врача-рентгенолога по описанию результатов МРТ-исследований.

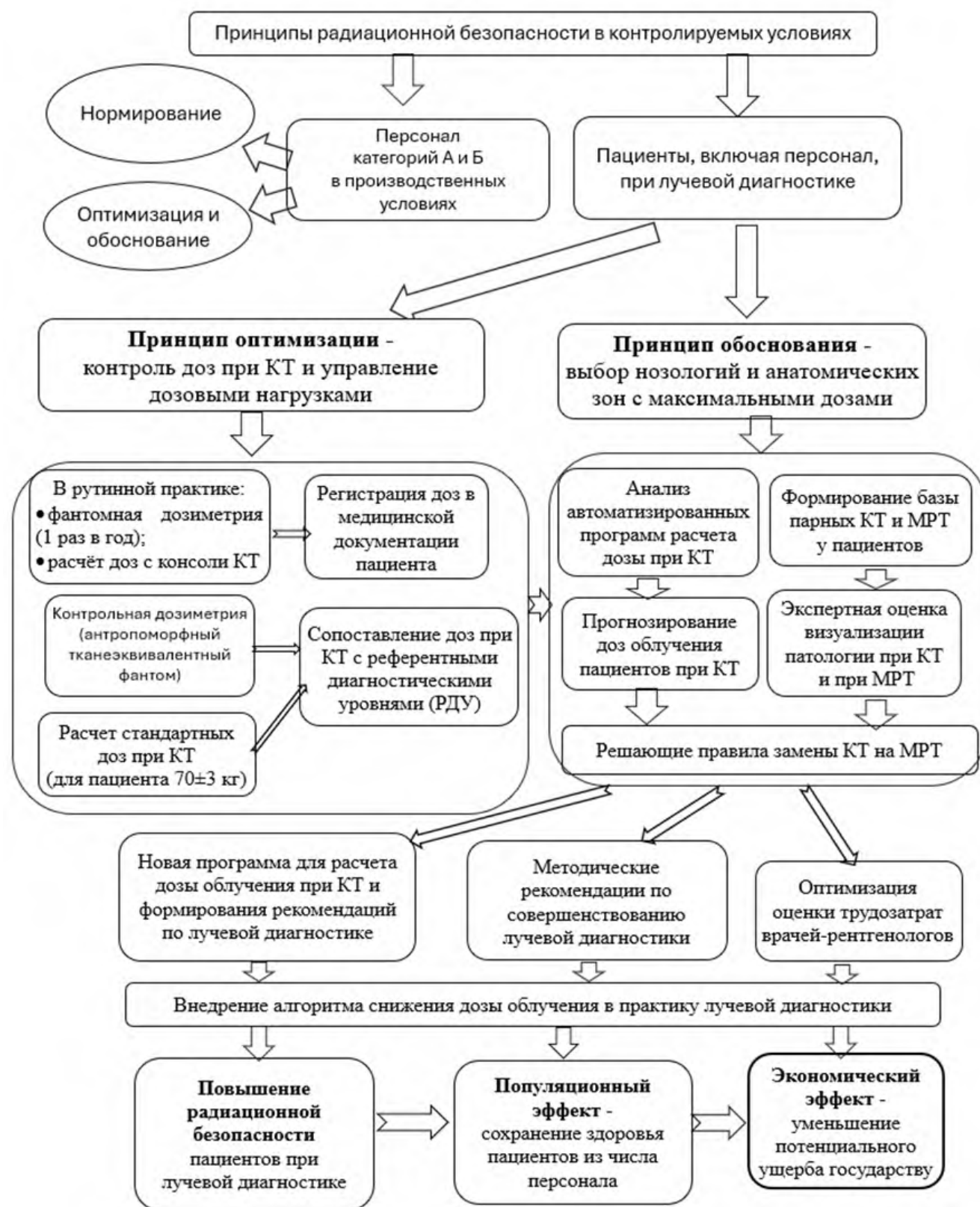


Рисунок 6.2 – Концепция системного управления дозой облучения при лучевой диагностике персонала, работающего в условиях воздействия техногенного ионизирующего излучения

Исходная информация о дозах медицинского облучения персонала, находящегося под медицинским наблюдением ФМБА России, может быть получена из сформированной в проведенном исследовании базы данных (Приложение В.3) по персоналу за 2020-2025 годы. В последующем необходимо продолжить ведение этой базы с использованием искусственного интеллекта и объединить ее с базой доз облучения персонала в производственных условиях.

Разработанная концепция направлена на решение важной научно-прикладной проблемы по научному обоснованию и внедрению здоровьесберегающей медицинской технологии, минимизирующей радиационные риски при лучевой диагностике у пациентов, из числа персонала, работающего с ИИИ. Таким образом, разработанный алгоритм снижения радиационных рисков при лучевой диагностике у персонала, работающего с техногенными ИИИ, основанный на учёте доз медицинского облучения, радиационных рисков и диагностической информативности методов визуализации, позволяет повысить эффективность реализации принципов обоснования и оптимизации радиационной защиты пациентов, что соответствует направлениям, изложенным в публикациях Водоватов А.В., Романович И.К. и др., 2024 [9], Водоватов А. В., Чипига Л. А. и др., 2025 [10].

Заключение по главе 6

Проведенный анализ автоматизированных программ показал, что существующие до настоящего времени программные средства позволяют оценить эффективные дозы медицинского облучения и радиационный риск при КТ. Вместе с тем ни одна из рассмотренных программ не предусматривает клинических критериев выбора альтернативного метода лучевой диагностики, что ограничивает их применение при принятии практических решений по оптимизации медицинского облучения. В разработанной программе ФОРМЕД формализовано решение данной проблемы, в результате чего повышается эффективность работы врача по снижению радиационного риска при лучевой диагностике пациентов.

Оценка экономической эффективности показала, что уменьшение дозы облучения по критерию снижения потенциального экономического ущерба от отдаленных последствий радиационного воздействия обеспечивает положительный экономический эффект даже с учетом увеличения стоимости отдельных процедур. По данным Государственного доклада Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека снижение медицинского облучения в 2015 году оценивалась в размере 300 руб. на 1 чел/мЗв, а в 2025 г. она увеличилась в 4,86 раза и стала составлять 1 457,55 руб., что свидетельствует о возрастании государственных затрат на лечение последствий радиационного воздействия и важности их снижения.

Реализация предложенного алгоритма в практической деятельности медицинских организаций приводит к увеличению числа выполняемых МРТ-исследований. В связи с этим была разработана усовершенствованная методика оценки трудовой функции врачей-рентгенологов, основанная на использовании системы коэффициентов сложности МРТ-описаний [50,110]. Предложенный подход позволяет учитывать не только количество выполненных исследований, но и их трудоемкость, что обеспечивает более объективную оценку нагрузки врача и может применяться при формировании системы оплаты труда и ключевых показателей эффективности работы отделений лучевой диагностики.

Таким образом, разработанная концепция повышает радиационную безопасность пациентов без снижения диагностической информативности методов визуализации, сохраняет здоровье пациентов и уменьшает потенциальный ущерб государству. Ее внедрение способствует снижению дозовой нагрузки у персонала, подвергающегося воздействию ионизирующего излучения в профессиональных условиях и не требует существенной реорганизации работы отделений лучевой диагностики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В последние десятилетия медицинское облучение стало одним из ведущих факторов формирования радиационной нагрузки на население, при этом наибольший вклад в коллективную дозу вносит компьютерная томография. В результате КТ-исследований пациенты подвергаются облучениям в дозах от 2 до 50 мЗв, а дозы до 100 мЗв в соответствии с МУ 2.1.10.3014-12 «Оценка радиационного риска у населения за счет длительного равномерного техногенного облучения в малых дозах» относятся к диапазону малых доз. В радиобиологии существуют разные взгляды на эффекты малых доз – от теории гормезиса и воззрений о том, что они не представляют опасности для здоровья человека, до обоснований их вреда и дополнительных радиационных рисков. В то же время, в настоящее время в соответствии с рекомендациями МКРЗ принято руководствоваться концепцией беспорогового эффекта малых доз.

В нашей стране и во всех странах мира применяются решения для снижения доз медицинского облучения пациентов путем внедрения цифровых технологий флюорографии и рентгенографии, новых протоколов КТ-сканирования с автоматической регуляцией напряжения и силы тока рентгеновской трубки, предрасчетом дозы облучения пациентов, разработки более чувствительных к излучениям датчиков на КТ-сканерах. Тем не менее, дозы при КТ-исследованиях остаются достаточно высокими, значительно превышающими нормативы – 1 мЗв в год для населения и средние годовые дозы облучения персонала категорий А и Б.

Учитывая беспороговую концепцию радиационного риска в целях уменьшения отдаленных последствий облучения при использовании методов лучевой диагностики это определяет необходимость совершенствования подходов к обеспечению радиационной безопасности пациентов в медицинской диагностике на основе принципов оптимизации и обоснования. Особую значимость данная проблема приобретает для контингента пациентов из числа персонала, работающего с техногенными источниками ионизирующего излучения, у которых суммарная доза формируется за счет сочетания профессионального и медицинского облучения.

Выполненное исследование позволило установить, что существующие методы оценки и оптимизации доз облучения пациентов при компьютерной томографии, включая использование референтных диагностических уровней и автоматизированных программных средств, не обеспечивают решения ключевой задачи – обоснованного выбора метода лучевой диагностики с учетом диагностической информативности и радиационного риска. В связи с этим в работе предложен и научно обоснован новый подход к снижению медицинского облучения, основанный на обоснованном выборе альтернативных методов визуализации, прежде всего магнитно-резонансной томографии, в клинических ситуациях, где ее диагностические возможности сопоставимы с компьютерной томографией.

Проведенный анализ доз облучения пациентов при компьютерной томографии показал, что рост объемов КТ-исследований является основным фактором увеличения коллективной дозы медицинского облучения в последние десятилетия. Установлено также, что суммарная дозовая нагрузка у пациентов из числа персонала формируется преимущественно за счет медицинского облучения, в ряде случаев превышая вклад профессионального облучения, что сопровождается увеличением радиационного риска, особенно у пациентов молодого возраста и женщин. Методами дозиметрического контроля, в том числе с использованием фантомной дозиметрии, определено, что уровни доз при КТ существенно варьируют в зависимости от анатомической области и протокола сканирования, достигая максимальных значений при исследованиях сочетанных анатомических областей и при многофазовых КТ с применением контрастного усиления.

Установлено отсутствие интеграции технологии выбора метода лучевой диагностики с возможными дозами облучения и результатами прогнозирования радиационных рисков при использовании этого метода, а также с учетом диагностической информативностью методов КТ и МРТ. Это ограничивает возможности решения вопросов о взаимозаменяемости при практическом применении этих инструментов в целях снижения медицинского облучения, что

обосновывает необходимость разработки новых подходов, ориентированных на принятие клинических решений.

Анализ структуры заболеваемости пациентов из числа персонала, работающего с ИИИ и направляемого на компьютерную томографию, позволил установить, что при обследовании пациентов с различными патологическими состояниями формируются разные дозы облучения. Показано, что наибольший вклад в дозу диагностического медицинского облучения вносят заболевания, требующие проведения многофазных и повторных исследований, прежде всего выявление метастазов при онкологической патологии, обследования в процессе контроля патологии органов брюшной полости и малого таза, а также степени приживаемости печеночного трансплантата. При этом сложившаяся практика назначения КТ-исследований в ряде клинических ситуаций не в полной мере учитывает радиационные риски и возможности замены КТ на МРТ, что приводит к избыточной лучевой нагрузке, особенно при многократных КТ-исследованиях в ходе динамического наблюдения за пациентами.

Установленные закономерности обусловили необходимость дополнительной оценки сопоставимости диагностических возможностей компьютерной и магнитно-резонансной томографии для условий клинко-диагностической практики в ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России. На основе выполненных клинко-экспертных оценок результатов парных КТ- и МРТ-исследований на современных моделях КТ- и МРТ-сканеров показана возможность обоснованной замены КТ на МРТ при ряде заболеваний без потери диагностической информативности. Зарегистрирована пополняемая база данных парных КТ- и МРТ-исследований у одного и того же пациента с разницей до 30 дней без значимых изменений в течении заболевания и лечения. Продemonстрировано, что при оценке мягкотканых структур, воспалительных и опухолевых процессов, а также при динамическом наблюдении пациентов диагностические возможности МРТ сопоставимы с КТ или превосходят их, что создает основу для пересмотра подходов к выбору метода лучевой диагностики с учетом требований повышения радиационной безопасности пациентов.

На основании установленных радиобиологических закономерностей, результатов оценки дозовой нагрузки и радиационных рисков, а также данных клинико-экспертного сопоставления диагностических возможностей КТ и МРТ научно обоснована необходимость разработки нового алгоритма снижения радиационных рисков при лучевой диагностике у персонала, работающего с техногенными ИИИ, ориентированного на принятие клинического решения с учетом индивидуальных характеристик пациента, накопленной дозы облучения и предполагаемой диагностической задачи. Применение этого алгоритма позволяет в ряде клинических ситуаций обоснованно заменить компьютерную томографию на магнитно-резонансную томографию либо оптимизировать протоколы КТ-исследований для снижения дозовой нагрузки без потери диагностической информативности. Оценка экономической эффективности от внедрения данного алгоритма показала, что уменьшение дозы медицинского облучения населения и, в том числе, персонала сопровождается значительным снижением потенциального ущерба от отдаленных радиационных эффектов, при этом положительный экономический результат достигается даже с учетом разницы в стоимости заменяемых диагностических процедур.

Реализация предложенного алгоритма в практической деятельности медицинских организаций сопровождается перераспределением диагностических потоков в сторону резкого увеличения доли МРТ-исследований и, соответственно, увеличения нагрузки на врачей-рентгенологов отделения МРТ, что требует совершенствования организационных подходов к оценке их трудовой функции. В связи с этим в работе разработана усовершенствованная методика оценки трудозатрат врача-рентгенолога, основанная на использовании коэффициентов сложности МРТ-описаний, позволяющая учитывать не только общее количество, но и трудоемкость выполняемых исследований. Предложенный подход обеспечивает более объективную оценку нагрузки врача-рентгенолога, тем самым возрастают стимулы для увеличения количества выполненных им диагностических МРТ-описаний. Это создает условия для эффективного внедрения алгоритма в клиническую практику и способствует повышению качества и доступности лучевой диагностики при реализации стратегии снижения медицинского облучения.

Разработанные предложения по совершенствованию оценки трудовой функции врачей-рентгенологов соответствуют задачам государственной социальной политики, которые определены Указом Президента РФ от 7 мая 2012 года № 597 и направлены на повышение эффективности системы оплаты труда медицинских работников, а также внедрение механизмов, учитывающих объем и качество выполняемой работы.

Результаты исследования согласуются с приоритетами государственной политики в сфере здравоохранения Российской Федерации, реализованными в рамках национального проекта «Здравоохранение» (2019-2024 гг.), направленного на повышение доступности и качества медицинской помощи, прежде всего онкологическим пациентам. За период реализации проекта было создано более 550 центров амбулаторной онкологической помощи, а также введено в эксплуатацию свыше 13 тысяч единиц медицинского оборудования, включая более 800 единиц высокотехнологичного диагностического оборудования, в том числе КТ и МРТ-сканеров. Это позволило существенно расширить возможности ранней диагностики: увеличилось выявление злокачественных новообразований на ранних стадиях, а также число пациентов, находящихся под длительным наблюдением. Одновременно с этим расширение доступности компьютерной томографии привело к увеличению объемов лучевых исследований, что сопровождается ростом медицинского облучения.

Разработанные в данном исследовании новые решения позволяют достигать высокой диагностической информативности выполняемых исследований в сочетании с обеспечением радиационной безопасности пациентов. Результаты работы особенно актуальны в рамках национальных проектов «Продолжительная и активная жизнь» и «Новые технологии сбережения здоровья», и их отдельных инициатив, например, «Модернизация первичного звена здравоохранения Российской Федерации», предусматривающих масштабное оснащение и переоснащение медицинских организаций, включая центры лучевой диагностики, терапии и ядерной медицины. Планируемое расширение инфраструктуры, включая создание передвижных медицинских комплексов и модернизацию многих тысяч медицинских организаций, неизбежно приведет к дальнейшему росту числа диагностических процедур, в том числе с использованием

ионизирующего излучения. В этих условиях разработанный в диссертации подход к выбору метода лучевой диагностики, основанный на интеграции оценки потенциальных доз облучения, радиационных рисков и диагностической информативности метода исследования, приобретает особую значимость, позволяя обеспечить снижение лучевой нагрузки при сохранении высокого качества медицинской помощи путем рационального использования всего спектра диагностических технологий.

Таким образом, в диссертационной работе сформирован и научно обоснован новый подход к обеспечению радиационной безопасности пациентов в лучевой диагностике, основанный на интеграции оценки доз медицинского облучения, уменьшения радиационных рисков с методами визуализации, которые обладают высокой диагностической информативностью, но не сопровождаются облучением пациентов. В отличие от существующих подходов, ориентированных преимущественно на оптимизацию параметров компьютерной томографии, предложенная концепция предусматривает обоснованный выбор метода исследования, включая возможность замены КТ на МРТ в клинических ситуациях с сопоставимой диагностической эффективностью, что позволяет значительно снизить или исключить лучевую нагрузку на пациентов.

Реализация разработанного подхода, включая совершенствование соответствующих организационных процессов в медицинских учреждениях, обеспечивает не только сохранение или повышение эффективности визуализации патологии при лучевой диагностике и ускорение выявления заболеваний, но и позволяет уменьшить популяционную дозу облучения населения, а также достичь значительного экономического эффекта в виде предупреждения затрат государства на диагностику и лечение отдаленных последствий облучения. Полученные результаты имеют важное значение для совершенствования системы радиационной защиты пациентов из числа персонала, работающего с источниками ионизирующего излучения, и служат основой для клинических рекомендаций по алгоритму маршрутизации пациентов и разработки автоматизированных программ с новыми цифровыми решениями в области лучевой диагностики.

ВЫВОДЫ

1. Анализ профессиональных доз облучения персонала, работающего с техногенными источниками ионизирующего излучения, проходивших КТ за период 2020-2024 гг. показал, что среднегодовые индивидуальные эффективные дозы не превышали установленные нормативные пределы и находились в диапазоне 0,6-1,38 мЗв, что свидетельствует о достаточном уровне радиационной защиты при профессиональной деятельности.

2. Прирост количества КТ- и МРТ-процедур в ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России с 2020 к 2025 г. был равен 127% и 102%, соответственно. Средние дозы облучения пациентов из числа персонала по областям КТ-сканирования составляли без контрастного и с контрастным усилением, соответственно: голова – $2,07 \pm 0,71$ и $3,64 \pm 1,21$ мЗв; ОГК – $3,34 \pm 0,05$ и $10,76 \pm 0,50$ мЗв; ОБП, ЗБП и таза – $9,66 \pm 0,23$ и $24,91 \pm 0,51$ мЗв, что было в пределах российских референтных диагностических уровней.

3. Суммарный радиационный риск у персонала от облучения в профессиональных условиях и при медицинских диагностических обследованиях был максимален при выполнении КТ-исследований сочетанных анатомических областей и составлял от 109 до 127 дополнительных случаев на 100 000 человек, что особенно характерно для мужчин 20-24 лет и женщин 20-49 лет.

4. При оценке структуры нозологий у пациентов, направляемых на КТ, максимальные дозы облучения установлены при диагностике следующих заболеваний: при КТ с контрастным усилением – Травмы и отравления (S00-T99) $34,33 \pm 12,4$ мЗв, Болезни органов дыхания (J00-J99) $31,6 \pm 2,79$ мЗв, Болезни мочеполовой системы (N00-N99) $26,85 \pm 3,33$ мЗв, Болезни крови и кроветворных органов (D50-D89) $26,67 \pm 1,37$ мЗв; при КТ без контрастного усиления – Болезни мочеполовой системы (N00-N99) $10,54 \pm 1,37$ мЗв, Новообразования (C00-D48) $6,72 \pm 0,53$ мЗв, Болезни эндокринной системы (E00-E99) $4,84 \pm 0,51$ мЗв, Болезни крови и кроветворных органов (D50-D89) $4,6 \pm 0,55$ мЗв.

5. Преобладание частоты КТ над МРТ в 4,7 раза для сочетанной области органов брюшной полости и забрюшинного пространства с максимальной дозой облучения пациентов, определило ее в качестве области, требующей увеличения доли МРТ-исследований в целях снижения лучевой нагрузки на пациентов. Обоснована и экспериментально подтверждена возможность замены КТ на МРТ при диагностике очаговых патологий органов брюшной полости и забрюшинного пространства в рамках клинических рекомендаций.

6. Для совершенствования обеспечения радиационной безопасности пациентов разработан новый алгоритм снижения радиационных рисков при лучевой диагностике у персонала, работающего с техногенными ИИИ, позволяющий использовать МРТ в качестве оптимального метода обследования с учетом оценки суммарных доз облучения, половозрастных особенностей пациентов, характера патологии и анатомической области.

7. При использовании разработанного алгоритма снижения радиационных рисков при лучевой диагностике у персонала, работающего с техногенными ИИИ, величина экономического эффекта в Российской Федерации от снижения дозы медицинского диагностического облучения на 10 мЗв в год у 1 000 человек составит более 14 млн руб. в год по критерию предотвращения ущерба от облучения в дозе 1 чел.-Зв согласно НРБ 99/2009 и с учетом величины денежного эквивалента потери 1 чел.-года жизни в размере не менее 1 годового душевого национального дохода.

Список сокращений

- ВНД – валовый национальный доход
- ИИ – ионизирующее излучение
- ИИИ – источники ионизирующих излучений
- КТ – компьютерная томография
- КТ БКУ – компьютерная томография без контрастного усиления
- КТ СКУ – компьютерная томография с контрастным усилением
- КУ – с контрастным усилением
- МАГАТЭ – Международное агентство по атомной энергии
- МКРЗ – Международная Комиссия по Радиологической защите
- МИС – медицинская информационная система
- МРТ – магнитно-резонансная томография
- МФ – многофазные исследования при компьютерной томографии
- НИИРГ – Федеральное бюджетное учреждение науки «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. П.В. Рамзаева»
- Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека
- ОБП – органы брюшной полости
- ОБП+ОМТ – органы брюшной полости и органы малого таза
- ОГК – органы грудной клетки
- ОГК+ОБП+ОМТ – органы грудной клетки, брюшной полости и малого таза
- ОЗП – органы забрюшинного пространства
- ОФ – однофазные исследования при компьютерной томографии
- РДУ – референтный диагностический уровень
- СД – стандартная доза (мЗв) – эффективная доза, рассчитанная для пациента со «стандартной» массой тела 70 кг
- УЗИ – ультразвуковое исследование
- ХБП – хроническая болезнь почек
- ЦЛД – Центр лучевой диагностики

BEIR (Committee on the biological effects of ionizing radiations) – Комитет по биологическим эффектам ионизирующего излучения

CTDIvol – (Computed Tomography Dose Index volume) – объёмный взвешенный индекс дозы КТ – мера поглощенной дозы облучения в одном томографическом срезе (мГр)

DALY (Disability-Adjusted Life Years) – число лет здоровой жизни, утраченных вследствие облучения

DAR (Detriment-Adjusted Risk) – риск развития злокачественных новообразований с поправкой на тяжесть заболевания

DLP (Dose Length Product) – произведение поглощенной дозы (мГр) на длину области исследования (см)

DRLs (Diagnostic Reference Levels) – референтные диагностические уровни

e_{DLP} ($\text{мЗв} \cdot \text{мГр}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$) – дозовый коэффициент конкретной анатомической области для расчета эффективной дозы облучения

E– эффективная доза облучения (мЗв)

ICRP (International Commission on Radiological Protection) – Международная Комиссия по Радиологической защите (МКРЗ)

ID (Identifier) – идентификационный номер пациента

PACS (Picture Archiving and Communication System) – медицинская система архивирования и передачи изображений

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 2.6.1. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Гигиенические требования к устройству и эксплуатации рентгеновских кабинетов, аппаратов и проведению рентгенологических исследований : Санитарные правила и нормативы : СанПиН 2.6.1.1192-03. – Санкт-Петербург : ДЕАН, 2003. – 78 с.
2. Анализ методов статистической оценки стандартных доз облучения пациентов при компьютерной томографии в Федеральном медицинском биофизическом центре им. А. И. Бурназяна / Е. И. Маткевич, А. Г. Сивенков, А. Н. Башков, А. С. Самойлов // Радиационная гигиена. – 2025. – Т. 18, № 2. – С. 16-28. – DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-2-16-28.
3. Анализ трудовых компетенций врача-профпатолога в рамках разработки профессионального стандарта / Е. Е. Шиган, Л. М. Сааркоппель, П. В. Серебряков, И. Н. Федина/ / Медицина труда и промышленная экология. – 2020. – Т. 60, № 12. – С. 925-935. – DOI: 10.31089/1026-9428-2020-60-12-925-935.
4. Биологическая дозиметрия – современные возможности и перспективы диагностики острых радиационных поражений / В. А. Башарин, В. В. Зацепин, М. А. Карамуллин [и др.] // Вестник российской военно-медицинской академии. – 2019. – № 4 (68). – С. 228-234.
5. Булдаков, Л. А. Радиоактивное излучение и здоровье / Л. А. Булдаков, В. С. Калистратова. – Москва : Информ-Атом. – 2003. – 165 с.
6. Бухтияров, И. В. Медицина труда / И. В. Бухтияров, С. С. Землякова, Е. Е. Шиган // Общественное здоровье и здравоохранение с основами медицинской информатики : Национальное руководство / под ред. Г. Э. Улумбековой, В. А. Медика. – Москва : ГЭОТАР-Медиа, 2022. – С. 219-246.
7. Бухтияров, И. В. Медицинская деятельность в системе охраны здоровья работающих граждан в Российской Федерации / И. В. Бухтияров,

- С. С. Землякова // Медицина труда и промышленная экология. – 2022. – Т. 62, № 6. – С. 362-376. – DOI: 10.31089/1026-9428-2022-62-6-362-376.
8. Валовый национальный доход (ВНД) на душу населения (среднегодовой показатель в текущей национальной валюте) – Российская Федерация 2020-2023 гг. Данные по национальным счетам Всемирного банка и файлы данных по национальным счетам ОЭСР : Лицензия: CC BY-4.0. – Текст : электронный // Всемирный банк : официальный сайт. – URL: https://data.worldbank.org/indicator/NY.GNP.PCAP.CD?end=2023&locations=RU&start=2020&year_high_desc=true (дата обращения: 14.07.2026).
 9. Водоватов А. В., Романович И. К., Алехнович А. В. [и др.] Обеспечение радиационной безопасности пациентов в Российской Федерации при диагностическом медицинском облучении: текущее состояние, проблемы и решения / // Медицинская физика. – 2024. – № 4. – С. 33-49. – DOI 10.52775/1810-200X-2024-104-4-33-49.
 10. Водоватов А. В., Чипига Л. А., Косарлукова Е. А. [и др.] Медицинское диагностическое облучение в Российской Федерации: проблемы регулирования и предложения по их решению / // Радиационная гигиена. – 2025. – Т. 18, № 3. – С. 46-61. – DOI 10.21514/1998-426X-2025-18-3-46-61.
 11. ГОСТ 27451-87. Средства измерений ионизирующих излучений. Общие технические условия (с Изменениями № 1, 2) : государственный стандарт союза ССР : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 23 октября 1987 г. № 4000 : введен впервые : дата введения 1989-01-01. – Москва : Издательство стандартов, 1989. – Текст : электронный // Консорциум «Кодекс»: электронный фонд правовой и нормативно-технической информации. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200015371> (дата обращения: 14.07.2026).
 12. Денисова, Е. В. Злокачественные новообразования центральной нервной системы у персонала ПО «Маяк» / Е. В. Денисова, И. С. Кузнецова,

- М. Э. Сокольников // Радиационная гигиена. – 2025. – Т. 18, № 3. – С. 29-35. – DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-29-35.
13. Динамика оснащённости медицинских организаций Российской Федерации и федеральных округов компьютерными и магнитно-резонансными томографами за 2019-2023 годы / А. В. Поликарпов, Е. В. Огрызко, С. В. Моравская, Э. Н. Тагиев // Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики. – 2024. – № 3. – С. 749-764. – DOI: 10.24412/2312-2935-2024-3-749-764.
 14. Доза облучения населения в 2020 г. / В. В. Костерев, А. Г. Цовьянов, А. Г. Сивенков, В. Е. Журавлева // Ядерная физика и инжиниринг. – 2022. – Т. 13, № 6. – С. 594-600. – DOI: 10.56304/S2079562922030277.
 15. Доза облучения персонала в 2020 г. / В. В. Костерев, А. Г. Цовьянов, А. Г. Сивенков, В. Е. Журавлева // Ядерная физика и инжиниринг. – 2022. – Т. 13, № 5. – С. 501-509. – DOI: 10.56304/S2079562922030265.
 16. Дозиметр универсальный ДКС-101. Руководство по эксплуатации : ГКПС13.00.00.000РЭ. – Москва, 2009. – 32 с. – Текст : электронный // НТЦ «Эксперт» : официальный сайт. – URL: <https://ntcexpert.ru/images/stories/radiograf/dks-101-manual.pdf?ysclid=ml2vbieftj491548903> (дата обращения: 14.07.2026).
 17. Дозиметрическая система «National Cancer Institute dosimetry system for Computed Tomography (NCICT) Computer Program». – Текст : электронный // Division of Cancer Epidemiology & Genetics at the National Cancer Institute : официальный сайт. – URL: <https://dceg.cancer.gov/tools/radiation-dosimetry-tools/computed-tomography> (дата обращения: 14.07.2026).
 18. Дозы облучения пациентов при компьютерной томографии в 2020-2024 гг. в сравнении с дозами облучения персонала, работающего с источниками ионизирующих излучений / Е. И. Маткевич, А. С. Самойлов, А. Г. Сивенков, А. Н. Башков // Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра). – 2026. – Т. 35, № 1. – С. 127-137. – DOI: 10.21870/0131-3878-2026-35-1-127-137.

19. Дружинина, П. С. Накопленные дозы пациентов при проведении КТ-исследований в российской клинической практике / П. С. Дружинина // Радиационная гигиена. – 2025. – Т. 18, № 2. – С. 131-140. – DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-2-131-140.
20. Единый радиологический информационный сервис как инструмент организационно-методической работы Научно-практического центра медицинской радиологии Департамента здравоохранения г. Москвы (аналитическая справка) / Н. С. Полищук, Н. Н. Ветшева, С. П. Косарин [и др.] // Радиология - практика. – 2018. – № 1 (67). – С. 6-17.
21. Желчекаменная болезнь : клинические рекомендации : утверждены Министерством здравоохранения Российской Федерации от 31.08.2021. – Текст : электронный // Гарант.ру информационно-правовой портал : официальный сайт. – URL: <https://base.garant.ru/402782566/> (дата обращения: 14.07.2026).
22. Жук, Е. Г. Алгоритм применения методов лучевой диагностики при оценке распространенности рака шейки матки / Е. Г. Жук // Здравоохранение (Минск). – 2022. – № 6 (903). – С. 53-58.
23. Заболеваемость профессиональными болезнями работников предприятий и организаций атомной промышленности России / А. С. Самойлов, А. Ю. Бушманов, А. Р. Туков [и др.] // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2025. – Т. 70, № 2. – С. 63-70. – DOI: 10.33266/1024-6177-2025-70-2-63-70.
24. Затраты рабочего времени врачей амбулаторного звена по данным фотохронометражных исследований / В. И. Стародубов, И. М. Сон, М. А. Иванова [и др.] // Менеджер здравоохранения. – 2014. – № 8. – С. 18-22.
25. Иванов, И. В. Исходная реактивность организма и радиационные воздействия в малых дозах / И. В. Иванов – Москва : Изд-во РМАПО, 2010. – 272 с.

26. Иванов, И. В. Критериальные показатели воздействия ионизирующих излучений в сублетальных и летальных дозах : методическое пособие / И. В. Иванов ; под ред. Н. Г. Даренской ; Гос. науч.-исслед. испытат. ин-т воен. медицины МО РФ. – Москва : Изд-во РМАПО, 2005. – 56 с.
27. Иванова, М. А. Методика разработки норм времени и нагрузки медицинского персонала : утверждена Министерством здравоохранения Российской Федерации 28.02.2014 / М. А. Иванова, М. Н. Бантьева. – Москва : Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения, 2013. – 28 с.
28. Информативность методов лучевой диагностики при различных патологических состояниях организма : методические рекомендации. – Москва : ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ». – Разделы 1 (Вып. 16, 2018), 2 (Вып. 19, 2018), 3 (Вып. 20, 2020), 4 (Вып. 17, 2020), 5 (Вып. 69, 2020), 6 (Вып. 52, 2020), 7 (Вып. 70, 2023), 9 (Вып. 23, 2020). – (Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики»).
29. Использование корреляционного и факторного анализов для изучения показателей, формирующих дозы облучения пациентов при компьютерной томографии / Е. И. Маткевич, В. Е. Сеницын, М. И. Зеликман, И. В. Иванов // Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра). – 2019. – Т. 28, № 1. – С. 47-58. – DOI: 10.21870/0131-3878-2019-28-1-47-58.
30. Калистратова, В. С. Роль мощности дозы в появлении стохастических эффектов и сокращении продолжительности жизни при действии инкорпорированных радионуклидов и источников внешнего излучения / В. С. Калистратова // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2004. – Т. 49, № 3. – С. 5-27.
31. Калькулятор X-RAY RISK. – Текст : электронный // X-RAY RISK : официальный сайт. – URL: <https://www.xrayrisk.com/about.php> (дата обращения: 14.07.2026).

32. Калькулятор эффективных доз пациентов при проведении компьютерной томографии : Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024617710 Российская Федерация / Ю. А. Васильев, З. А. Лантух, Ю. В. Дружинина [и др.] ; заявитель Государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы». – Электронная программа : электронная // Центр диагностики и телемедицины : официальный сайт. – URL: <https://3doz.telemedai.ru/calculator/ct/?age=%3E17&diameter=32-sm&body-part=grudnaya> (дата обращения: 14.07.2026).
33. Кашеев, В. В. Оценка радиационных рисков на индивидуальном уровне при многократном прохождении компьютерной томографии на современных компьютерных томографах / В. В. Кашеев, Е. А. Пряхин, А. Н. Меняйло // Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра). – 2024. – Т. 33, № 1. – С. 13-23. – DOI: 10.21870/0131-3878-2024-33-1-13-23.
34. Компьютерная и магнитно-резонансная томография в диагностической практике. возможность оптимизации исследований с целью снижения лучевой нагрузки / Е. И. Маткевич, А. Н. Башков, О. В. Паринов, А. С. Самойлов // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2025. – Т. 70, № 1. – С. 30-38. – DOI: 10.33266/1024-6177-2025-70-1-30-38.
35. Конторович, Д. И. К вопросу организации лучевой диагностики в России / Д. И. Конторович, А. О. Руднев, В. И. Пак // Проблемы гигиенической безопасности и профилактики нарушений трудоспособности у работающих : материалы Всероссийской научно-практической интернет-конференции с международным участием, г. Нижний Новгород, 29-30 ноября 2023 г. / под ред. И. А. Умнягиной. – Нижний Новгород : Медиаль, 2023. – С. 232-236.
36. Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований : методические указания

- МУ 2.6.1.2944-11 : утверждены Главным государственным санитарным врачом РФ 19 июля 2011 (ред. от 30.10.2019). – Москва, 2019.
37. Котеров, А. Н. Катарактогенные эффекты малых доз радиации с низкой ЛПЭ: скорее нет, чем есть. Сообщение 1. Постановка проблемы и эксперименты на животных / А. Н. Котеров, Л. Н. Ушенкова // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2023. – Т. 63, № 4. – С. 341-354. – DOI: 10.31857/S0869803123040045.
 38. КТ калькулятор : калькулятор для смартфона. – Электронная программа : электронная // RuStore : официальный сайт приложений. – URL: <https://www.rustore.ru/catalog/app/ru.medsoftpro.ctdi> (дата обращения: 14.07.2026).
 39. Лагутин, А. С. Проблемы безопасности в магнитно-резонансной томографии: краткий обзор / А. С. Лагутин, Г. Ю. Григорьев // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2025. – Т. 70, № 6. – С. 45-53. – DOI: 10.33266/1024-6177-2025-70-6-45-53.
 40. Леванов, В. М. Управление медицинской организацией на основе системы ключевых показателей эффективности (KPI) (обзор) / В. М. Леванов, Е. А. Перевезенцев, Л. Ю. Гарин // Медицинский альманах. – 2018. – Т. 56, № 5. – С. 12-16.
 41. Лимфаденопатии : клинические рекомендации : утверждены Министерством здравоохранения Российской Федерации в 2018 г. – Текст : электронный // База НПА - сборник нормативно правовых актов Российской Федерации. – URL: <https://bazanpa.ru/minzdrav-rossii-klinicheskie-rekomendatsii-ot01012018-h4480658/?ysclid=mrlkmhzbz2313072036> (дата обращения: 14.07.2026).
 42. Лубашева, О. Я. Анализ популяционной лучевой нагрузки при обследовании смежных анатомических областей головы и шеи в поликлинических условиях / О. Я. Лубашева, А. Д. Петрова, Я. А. Лубашев // Конгресс российского общества рентгенологов и радиологов : сборник тезисов, г. Санкт-Петербург, 9-11 ноября 2020 г. / под. ред. А. А. Михеевой,

- Е. Н. Коневой. – Санкт-Петербург : Человек и его здоровье, 2020. – С. 105-106.
43. Лубашева, О. Я. Изучение лучевой нагрузки при обследовании первичного стоматологического пациента и пути ее снижения / О. Я. Лубашева, В. П. Трутень, Я. А. Лубашев // Российская стоматология. – 2022. – Т. 15, № 2. – С. 53-55.
44. Лучевые нагрузки пациентов при рентгенографии органов грудной клетки в поликлинике ОАО "Газпром" / А. В. Пулик, Г. И. Харитонов, Ю. В. Сухачев [и др.] // Медицинская визуализация. – 2005. – № 1. – С. 135-139.
45. Магнитно-резонансная томография в лучевой диагностике кистозных неоплазий поджелудочной железы на этапах медицинского обследования / С. К. Скульский, В. А. Ратников, Я. А. Лубашев, Е. В. Севрюкова // Врач. – 2022. – Т. 33, № 11. – С. 40-47. – DOI: 10.29296/25877305-2022-11-07.
46. Маткевич, Е. И. Направления снижения дозы облучения космонавтов при диагностической компьютерной томографии / Е. И. Маткевич, И. В. Иванов // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2018. – Т. 52, № 7. – С. 154-155.
47. Маткевич, Е. И. Обоснование нового подхода к критериям оценки дозы облучения пациентов при компьютерной томографии / Е. И. Маткевич, В. Е. Сеницын, И. В. Иванов // Digital Diagnostics. – 2022. – Т. 3, № 4. – С. 344-361. – DOI: 10.17816/DD110857.
48. Маткевич, Е. И. Образовательные интернет-ресурсы для подготовки врачей-рентгенологов / Е. И. Маткевич, В. Е. Сеницын, И. В. Иванов // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2019. – Т. 64, № 1. – С. 58-66. – DOI: 10.12737/article_5c55fb57bf93e5.07813488.
49. Маткевич, Е. И. Оценка радиационного риска для пациентов при КТ-диагностике COVID-19 органов грудной клетки / Е. И. Маткевич // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2021. – Т. 66, № 2. – С. 59-66. – DOI: 10.12737/1024-6177-2021-66-2-59-66.

50. Маткевич, Е. И. Оценка трудовой функции врачей-рентгенологов по описанию результатов магнитно-резонансной томографии / Е. И. Маткевич // Медицина труда и промышленная экология. – 2026. – Т. 66, № 1. – С. 56-63. – DOI: 10.31089/1026-9428-2026-66-1-56-63.
51. Маткевич, Е. И. Прогнозируемые показатели здоровья при использовании низкодозовых методик компьютерной томографии / Е. И. Маткевич, В. Е. Сеницын, И. В. Иванов // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2015. – Т. 49, № 6. – С. 61-67.
52. Маткевич, Е. И. Расширение применения магнитно-резонансной томографии в практике центра лучевой диагностики. Есть ли необходимость и возможности? / Е. И. Маткевич // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2026. – Т. 71, № 1. – С. 96-105. – DOI: 10.33266/1024-6177-2026-71-1-96-105.
53. Маткевич, Е. И. Сравнение доз облучения пациентов при проведении однофазной и многофазной компьютерной томографии в многопрофильном лечебном учреждении / Е. И. Маткевич, В. Е. Сеницын, А. Н. Башков // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2016. – Т. 61, № 6. – С. 50-56.
54. Маткевич, Е. И. Сравнительный анализ доз облучения пациентов при компьютерной томографии в федеральном лечебном учреждении / Е. И. Маткевич, В. Е. Сеницын, Е. А. Мершина // Вестник рентгенологии и радиологии. – 2016. – Т. 97, № 1. – С. 33-39. – DOI: 10.20862/0042-4676-2016-97-1-33-39.
55. Маткевич, Е. И. Структура заболеваемости и дозовые нагрузки персонала, работающего с техногенными источниками излучения, направляемых на компьютерную томографию в ФМБЦ им. А.И. Бурназяна в 2020-2024 гг. / Е. И. Маткевич, А. Г. Сивенков, А. С. Самойлов // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2025. – Т. 65, № 6. – С. 597-613. – DOI: 10.7868/S3034590125060031.

56. Мгновенный перевод единиц радиации. – Электронная программа : электронная // Convert-me : сайт. – URL: <https://www.convert-me.com/ru/convert/radiation/> (дата обращения: 14.07.2026).
57. Международная классификация болезней 10 пересмотра (МКБ-10). – Текст : электронный // МКБ 10 : официальный сайт. – URL: <http://mkb-10.com/index.php?pid=4048/> (дата обращения: 14.07.2026).
58. Методические рекомендации по обеспечению радиационной безопасности «Заполнение форм федерального государственного статистического наблюдения N 3-ДОЗ» : утверждены Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека от 16 февраля 2007 № 0100/1659-07-26. – Москва, 2007. – 23 с.
59. Методология нормирования труда врача-профпатолога / О. Э. Чернов, О. С. Кобякова, И. В. Панова, С. С. Землякова // Медицина труда и промышленная экология. – 2025. – Т. 65, № 5. – С. 294-300. – DOI: 10.31089/1026-9428-2025-65-5-294-300.
60. Методы контроля в КТ-диагностике для оптимизации радиационной защиты : методические указания МУК 2.6.7.3652-20 : утверждены Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации А. Ю. Поповой 26 октября 2020 г. – Москва : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2020.
61. Научные основы радиационной защиты в современной медицине / М. И. Балонов, В. Ю. Голиков, А. В. Водоватов [и др.]. – Санкт-Петербург : ФБУН НИИРГ им. П.В. Рамзаева, 2019. – Том 1. Лучевая диагностика. – 320 с.
62. Нормирование труда врачей амбулаторного приема при оказании первичной медицинской помощи / И. М. Сон, В. М. Шипова, М. А. Иванова [и др.] // Здравоохранение. – 2014. – № 7. – С. 76-85.

63. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09: утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 07.07.2009 г. № 47: введены в действие 01.09.2009 г. / И. К. Романович, М. И. Балонов, А. Н. Барковский [и др.]. – 2-е издание, стереотипное. – Москва: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии, 2009. – 100 с.
64. О дополнении к Приказу МЗ РСФСР от 02.08.1991 № 132 «О совершенствовании службы лучевой диагностики» : приказ Министерства здравоохранения и медицинской промышленности Российской Федерации от 05.04.1996 № 128.
65. О нормировании труда специалистов рентгеновских кабинетов : письмо Министерства здравоохранения Российской Федерации от 31.08.2000 № 2510/9736-32.
66. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2014 году : государственный доклад. – Москва : Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2015. – 206 с.
67. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2017 году : государственный доклад. – Москва : Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2018. – 268 с.
68. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2022 году : государственный доклад. – Москва : Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2023. – 368 с.
69. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2025 году : государственный доклад. – Москва : Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2026. – 407 с.

70. Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда, классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению : приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 21.11.2023 № 817н : зарегистрирован в Министерстве юстиции Российской Федерации 30.11.2023, № 76179.
71. Об утверждении Правил проведения рентгенологических исследований : приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 09.06.2020 № 560н : зарегистрирован в Министерстве юстиции Российской Федерации 14.09.2020, № 59811.
72. Об утверждении профессионального стандарта «Врач-рентгенолог» : приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 19.03.2019 № 160н : зарегистрирован в Министерстве юстиции Российской Федерации 15.04.2019, № 54376.
73. Об утверждении требований к проведению медицинских осмотров и психофизиологических обследований работников объектов использования атомной энергии, порядка их проведения, перечня медицинских противопоказаний для выдачи разрешения на выполнение определенных видов деятельности в области использования атомной энергии и перечня должностей работников объектов использования атомной энергии, на которые распространяются данные противопоказания, а также формы медицинского заключения о наличии (отсутствии) медицинских противопоказаний для выдачи разрешения на выполнение определенных видов деятельности в области использования атомной энергии : приказ Министерства здравоохранения Российской Федерации от 28.07.2020 № 749н : зарегистрирован в Министерстве юстиции Российской Федерации 11.09.2020, № 59782.
74. Об утверждении форм федерального статистического наблюдения с указаниями по их заполнению для организации Министерством

здравоохранения Российской Федерации : приказ Федеральной службы государственной статистики (Росстата) от 25.12.2023 № 681.

75. Облучение персонала и населения зон наблюдения радиационных объектов в 2021 году / А. Н. Барковский, Р. Р. Ахматдинов, А. М. Библин [и др.] // Радиационная гигиена. – 2022. – Т. 15, № 4. – С. 106-121. – DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-4-106-121.
76. Обоснование рекомендованных норм времени описаний результатов компьютерной и магнитно-резонансной томографий / С. П. Морозов, А. В. Владзимирский, Н. В. Ледихова [и др.] // Врач и информационные технологии. – 2021. – № 3. – С. 50-61. – DOI: 10.25881/18110193_2021_3_50.
77. Обследование пациентов с раком предстательной железы высокого риска: реальная практика в России / С. А. Рева, И. А. Шадеркин, И. В. Зятчин [и др.] // Экспериментальная и клиническая урология. – 2021. – Т. 14, № 3. – С. 80-85. – DOI: 10.29188/2222-8543-2021-14-3-80-85.
78. Определение коэффициентов перехода от произведения дозы на длину сканирования к эффективной дозе для компьютерно- томографических исследований всего тела с захватом нижних конечностей пациента / П. С. Дружинина, Л. А. Чипига, А. В. Водоватов [и др.] // Радиационная гигиена. – 2024. – Т. 17, № 4. – С. 126-134. – DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-4-126-134.
79. Оптимизация радиационной защиты пациентов в лучевой диагностике посредством применения референтных диагностических уровней : методические рекомендации МР 2.6.1.0296-22 : утвержден Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 29 июля 2022 г. – Москва : Роспотребнадзор, 2022. – с. 57.
80. Осипов, М. В. Изучение отдаленных последствий воздействия диагностического излучения: возможности и перспективы / М. В. Осипов, П. С. Дружинина, М. Э. Сокольников // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2025. – Т. 70, № 5. – С. 58-62. – DOI: 10.33266/1024-6177-2025-70-5-58-62.

81. Осипов, М. В. Компьютерная томография как фактор риска злокачественных новообразований среди населения города атомной промышленности Озерск / М. В. Осипов // Радиация и риск (Бюллетень Национального радиационно-эпидемиологического регистра). – 2023. – Т. 32, № 3. – С. 109-121. – DOI: 10.21870/0131-3878-2023-32-3-109-121.
82. Осипов, М. В. Оценка влияния диагностического облучения с использованием радиационно-эпидемиологического регистра населения г. Озерска, обследованного при помощи компьютерной томографии / М. В. Осипов, Е. П. Фомин, М. Э. Сокольников // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2020. – Т. 65, № 4. – С. 65-73. – DOI: 10.12737/1024-6177-2020-65-4-65-73.
83. Осипов, М. В. Сравнительный анализ влияния профессионального и медицинского радиационного облучения на здоровье / М. В. Осипов // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2026. – Т. 71, № 3. – С. 80-87. – DOI: 10.33266/1024-6177-2026-71-3-80-87.
84. Основные направления снижения дозы облучения пациентов при компьютерной томографии / Е. И. Маткевич, В. Е. Сеницын, М. И. Зеликман [и др.] // Российский электронный журнал лучевой диагностики. – 2018. – Т. 8, № 3. – С. 60-73. – DOI: 10.21569/2222-7415-2018-8-3-60-73.
85. Основные пути снижения лучевой нагрузки при медицинских обследованиях лиц летного состава / С. К. Солдатов, И. Б. Ушаков, Я. А. Лубашев, Р. В. Афанасьев // Клинико-функциональная диагностика, профилактика и реабилитация профессионально обусловленных нарушений и субклинических форм заболеваний у летного состава : практическое руководство по авиационной клинической медицине / под общ. ред. проф. Р. А. Вартбаронова. – Москва : АПР, 2011. – С. 401-407.
86. Особенности развития службы лучевой диагностики в Российской Федерации за 2014-2019 года / Н. А. Голубев, Е. В. Огрызко, Е. М. Тюрина [и др.] // Современные проблемы здравоохранения и медицинской

- статистики. – 2021. – № 2. – С. 356-376. – DOI: 10.24412/2312-2935-2021-2-356-376.
87. Особенности электромагнитной и шумовой обстановки на рабочих местах персонала отделений МРТ: проблемы гигиенического нормирования и контроля / Л. В. Походзей, Е. А. Руднева, Ю. П. Пальцев, Н. Н. Курьеров // Медицина труда и промышленная экология. – 2020. – Т. 60, № 9. – С. 575-582. – DOI: 10.31089/1026-9428-2020-60-9-575-582.
 88. Острый пиелонефрит : клинические рекомендации : утверждены Министерством здравоохранения Российской Федерации 28.12.2024. – Текст : электронный // База НПА - сборник нормативно правовых актов Российской Федерации. – URL: <https://bazanpa.ru/minzdrav-rossii-klinicheskie-rekomendatsii-ot01012024-h6616589/> (дата обращения: 14.07.2026).
 89. Отраслевые библиографические базы данных: перспективы использования в ФМБА России для научной экспертизы при принятии решений. сообщение 1. общие вопросы и база данных по медико-биологическим и иным эффектам у работников ядерной индустрии / А. Н. Котеров, Л. Н. Ушенкова, Т. М. Буланова, Н. А. Богданенко // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2025. – Т. 70, № 2. – С. 88-106. – DOI: 10.33266/1024-6177-2025-70-2-88-106.
 90. Оценка коэффициентов перехода от произведения дозы на длину сканирования к эффективной дозе для КТ всего тела путем фантомных экспериментов / Л. А. Чипига, В. Ю. Голиков, Е. Н. Шлеенкова, А. В. Поздняков // Медицинская физика. – 2016. – № 4 (72). – С. 55-62.
 91. Оценка радиационного риска у пациентов при проведении рентгенорадиологических исследований : методические рекомендации МР 2.6.1.0215-20 : утверждены Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 21 сентября 2020 г. – Москва, 2020. – 29 с.

92. Оценка эффективности работы отделения компьютерной и магнитно-резонансной томографии / К. К. Осадчий, Е. А. Мершина, А. Е. Брагина, В. Е. Синицын // Вестник рентгенологии и радиологии. – 2019. – Т. 100, № 5. – С. 278-285. – DOI: 10.20862/0042-4676-2019-100-5-278-285.
93. Перелом (вывих) грудного и пояснично-крестцового отдела позвоночника : клинические рекомендации : утверждены Министерством здравоохранения Российской Федерации в 2024. – Текст : электронный // База НПА - сборник нормативно правовых актов Российской Федерации. – URL: <https://bazanpa.ru/minzdrav-rossii-klinicheskie-rekomendatsii-ot01012024-h6545928/> (дата обращения: 14.07.2026).
94. Перспективы установления референтных диагностических уровней для КТ в Российской Федерации / П. С. Дружинина, Л. А. Чипига, А. В. Водоватов, И. К. Романович // Современные проблемы эпидемиологии, микробиологии и гигиены : материалы XII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора, г. Ростов-на-Дону, 21-22 октября 2020 г. / под ред. А. Ю. Поповой, А. К. Носкова. – Ростов-на-Дону : ООО «МиниТайп», 2020. – С. 158-160.
95. Петрова, А. Д. Сравнительный анализ дозовых лучевых нагрузок при рентгенологических исследованиях краниовертебральной области / А. Д. Петрова, О. Я. Лубашева, Я. А. Лубашев // Конгресс российского общества рентгенологов и радиологов : сборник тезисов, г. Санкт-Петербург, 9-11 ноября 2020 г. / под. ред. А. А. Михеевой, Е. Н. Коневой. – Санкт-Петербург : Человек и его здоровье, 2020. – С. 151-152.
96. Поляков, В. М. Методы оптимизации : учебное пособие / В. М. Поляков, З. С. Агаларов. – 2-е изд. – Москва : Дашков и К, 2022. – 86 с.
97. Поляков, В. М. Методы оценки эффективности управленческих решений : монография / В. М. Поляков, З. С. Агаларов. – Москва : ОАО «Институт микроэкономики», 2016. – 56 с. – (Серия «Экономика современной России»).

98. Походзей, Л. В. Гигиенические аспекты оценки электромагнитной обстановки в отделениях магнитно-резонансной томографии / Л. В. Походзей, Ю. П. Пальцев // Фундаментальные и прикладные исследования в медицине : материалы Международной научной конференции, посвященной 65-летию Восточно-Сибирского института медико-экологических исследований, и VI Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых «Экология и здоровье населения», Иркутская область, п. Хужир, 15-19 сентября 2025 г. / под общ. ред. О. Л. Лахмана, И. В. Кудачевой. – Новосибирск : Сибирское отделение РАН, 2025. – С. 150-156. – DOI: 10.53954/9785605249900_150.
99. Применение критериев ответа солидных опухолей на химиотерапевтическое лечение (RECIST 1.1) : методические рекомендации / Ю. А. Васильев, И. М. Шулькин, И. А. Блохин [и др.]. – 2-е изд., доп. – Выпуск 115 – № 18. – Москва : ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2024. – 44 с. – (Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики»).
100. Применение референтных диагностических уровней для взрослых пациентов в лучевой диагностике : методические рекомендации / З. А. Лантух, Ю. В. Дружинина, А. В. Водоватов [и др.]. – Москв : ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2020. – 34 с. – (Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики»).
101. Применение референтных диагностических уровней для оптимизации радиационной защиты пациента в рентгенологических исследованиях общего назначения : методические рекомендации МР 2.6.1.0066-12 : утверждены Руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г. Г. Онищенко 23 июля 2012 г. – Москва : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2012. – 20 с.
102. Применение системы LI-RADS в диагностике очаговых изменений печени : методические рекомендации / А. Е. Николаев, А. Н. Шапиев, А. П. Гончар

- [и др.]. – Москва : ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2019. – Вып. 32. – 32 с. – (Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики»).
103. Программа VirtualDoseCT. – Текст : электронный // Virtual Phantoms, Inc : официальный сайт. – URL: <http://www.virtualphantoms.com/our-products/virtualdose/> (дата обращения: 14.07.2026).
 104. Публикация 103 МКРЗ. Рекомендации 2007 года Международной комиссии по радиационной защите / пер. с англ. И. А. Гусевым; под общ. ред. М. Ф. Киселева, Н. К. Шандалы. – Москва : Изд. ООО ПКФ «Алана», 2009. – 344 с.
 105. Публикация 105 МКРЗ. Радиационная защита в медицине / пер. с англ. А. В. Федоровым; под ред. Д. Валентина. – Санкт-Петербург : ФБУН НИИРГ, 2011. – 66 с.
 106. Публикация 60 МКРЗ. Радиационная безопасность. Рекомендации международной комиссии по радиологической защите 1990 года / пер. с англ. Т. Д. Кузьминой; под ред. И. Б. Кеирим-Маркуса. – Москва : Энергоатомиздат, 1994. – 207 с.
 107. Радиационная биология : Национальное руководство / под ред. И. Б. Ушакова, Е. А. Красавина, А. Н. Гребенюка [и др.]. – Москва : ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2026. – 602 с. – DOI: 10.33266/978-5-93064-436-4-2026-1-602.
 108. Радиометрический контроль утечки химиопрепарата при регионарной перфузии хирургически изолированной конечности / Б. Я. Наркевич, С. В. Ширяев, И. В. Лагутина [и др.] // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2019. – Т. 64, № 4. – С. 48-55. – DOI: 10.12737/article_5d110f04375033.57581297.
 109. Разработка и применение референсных диагностических уровней для взрослых пациентов в лучевой диагностике / Ю. В. Дружинина, З. А. Лантух, А. В. Водоватов [и др.] // Медицинская физика. – 2022. – № 1 (93). – С. 81-96. – DOI: 10.52775/1810-200X-2022-93-1-81-96.

110. Разработка критериев оценки трудовой функции по интерпретации результатов магнитно-резонансной томографии врачами-рентгенологами / Е. И. Маткевич, Ю. Д. Удалов, А. О. Родионова, И. В. Васильева // Медицинская радиология и радиационная безопасность. – 2026. – Т. 71, № 2. – С. 93-100. – DOI: 10.33266/1024-6177-2026-71-2-93-100.
111. Рак печени (гепатоцеллюлярный) : клинические рекомендации : утверждены Министерством здравоохранения Российской Федерации в 2022. – Текст : электронный // КонсультантПлюс : официальный сайт. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_422909/8efd5f17af55cb35a770f73937590c642437b7eb/ (дата обращения: 14.07.2026).
112. Рак поджелудочной железы : клинические рекомендации : утверждены Министерством здравоохранения Российской Федерации в 2024. – Текст : электронный // База НПА - сборник нормативно правовых актов Российской Федерации. – URL: <https://bazanpa.ru/minzdrav-rossii-klinicheskie-rekomendatsii-ot01012024-h6631413/> (дата обращения: 14.07.2026).
113. Регламент работы отделений (кабинетов) компьютерной и магнитно-резонансной томографии / Н. С. Полищук, В. А. Гомболевский, К. А. Ким, С. П. Морозов. – Москва : ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ», 2018. – 39 с. – (Серия «Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики»).
114. Рейтинг стран мира по уровню валового национального дохода на душу населения 2024. – Текст : электронный // Гуманитарный портал : электронный ресурс. – URL: <https://gtmarket.ru/ratings/gross-national-income-ranking> (дата обращения: 10.07.2026).
115. Регистрация, контроль и учет доз облучения пациентов в лучевой диагностике / И. К. Романович, Д. О. Иванов, А. В. Водоватов [и др.]. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, 2026. – 128 с. – ISBN 978-5-908144-31-5.
116. Репин, Л. В. О разработке мобильного приложения для оценки радиационного риска, связанного с проведением медицинских рентгенорадиологических исследований / Л. В. Репин, А. М. Библин //

- Радиационная гигиена. – 2025. – Т. 18, № 3. – С. 112-119. – DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-3-112-119.
117. Репин, Л. В. Применение различных показателей радиационного риска для здоровья при медицинском облучении / Л. В. Репин, А. М. Библин, А. В. Водоватов // Радиационная гигиена. – 2026. – Т. 19, № 2. – С. 95-106. DOI: 10.21514/1998-426X-2026-19-2-95-106.
118. Российская Федерация. Указы Президента. О мероприятиях по реализации государственной социальной политики : Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2012 г. № 597.
119. Сведения о дозах облучения лиц из персонала в условиях нормальной эксплуатации техногенных источников ионизирующих излучений : форма федерального статистического наблюдения № 1-ДОЗ : утверждена приказом Федеральной службы государственной статистики (Росстата) от 16.10.2013 № 411.
120. Сведения о дозах облучения пациентов при проведении медицинских рентгенорадиологических исследований : форма федерального статистического наблюдения № 3-ДОЗ : утверждена приказом Федеральной службы государственной статистики (Росстата) от 30.11.2022 № 880.
121. Сведения о медицинской организации : форма № 30 ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России за 2021-2025 гг. – Москва : ФМБА России, 2025.
122. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2020622807 Российская Федерация. База данных компьютерной томографии населения г. Озёрск («Регистр КТ») : № 2020622687 : заявл. 14.12.2020 : опубл. 24.12.2020 / М. В. Осипов, М. Э. Сокольников, Е. П. Фомин ; заявитель Федеральное государственное унитарное предприятие Южно-Уральский институт биофизики Федерального медико-биологического агентства (ФГУП ЮУриБФ).
123. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024616296 Российская Федерация. Программа для ведения медико-

дозиметрического регистра персонала ФГУП ПО "Маяк" : № 2023687555 :
заявл. 08.12.2023 : опубл. 19.03.2024 / П. В. Окатенко, Н. А. Кошурникова,
Н. Р. Кабирова, М. Э. Сокольников ; заявитель Федеральное
государственное бюджетное учреждение науки «Южно-Уральский институт
биофизики» Федерального медико-биологического агентства.

124. Синдромосходные патологические процессы при токсических и радиационных поражениях: оценка механизмов и поиск подходов к фармакологической коррекции / С. В. Чепур, М. А. Юдин, И. С. Драчев [и др.] // Военно-медицинский журнал. – 2021. – Т. 342, № 4. – С. 26-30.
125. Сокольников, М. Э. Пожизненный избыточный риск и сокращение продолжительности жизни при действии внешнего гамма-излучения на уровне пределов доз, разрешенных действующими нормами радиационной безопасности / М. Э. Сокольников // Вопросы радиационной безопасности. – 2022. – № 1 (105). – С. 65-71.
126. Стадник, Л. Л. Оценка доз пациентов в рентгенографии и их оптимизация путем установления национальных диагностических рекомендованных уровней / Л. Л. Стадник, О. Ю. Шалепа, О. В. Носик // Радиационная гигиена. – 2014. – Т. 7, № 4. – С. 84-88.
127. Стародубов, В. И. Кадровые ресурсы здравоохранения Российской Федерации: состояние, проблемы и основные тенденции развития / В. И. Стародубов, Ю. В. Михайлова, С. А. Леонов // Социальные аспекты здоровья населения. – 2010. – № 1 (13). – С. 1-11.
128. Тарифное соглашение на оплату медицинской помощи, оказываемой по территориальной программе обязательного медицинского страхования города Москвы на 2025 год (г. Москва, 28 декабря 2024 г.) (с изменениями и дополнениями). – Тест : электронный // ГАРАНТ: Информационно-правовое обеспечение. – URL: <https://base.garant.ru/411501273> (дата обращения: 14.07.2026).
129. Техногенное производственное облучение персонала радиационных объектов в 2024 году / А. Н. Барковский, Р. Р. Ахматдинов, А. Г. Сивенков

- [и др.] // Радиационная гигиена. – 2025. – Т. 18, № 4. – С. 121-131. – DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-4-121-131.
130. Трудовой кодекс Российской Федерации : от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019). – Текст : электронный // КонсультантПлюс: официальный сайт. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/?ysclid=mrlpp3ohzh641867962 (дата обращения: 14.07.2026).
 131. Тюрин, И. Е. Лучевая диагностика в Российской Федерации / И. Е. Тюрин // Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия. – 2018. – Т. 1, № 4. – С. 43-51. – DOI: 10.37174/2587-7593-2018-1-4-43-51.
 132. Требования к обеспечению радиационной безопасности беременных женщин в ситуациях планируемого и аварийного облучения / А. В. Водоватов, Л. А. Чипига, А. М. Библин [и др.] // Радиационная гигиена. – 2025. – Т. 18, № 4. – С. 31-40. – DOI 10.21514/1998-426X-2025-18-4-31-40.
 133. Установки дозиметрические термолюминесцентные «ДВГ-02ТМ» : описание типа средства измерений : Приложение к свидетельству № 45087 об утверждении типа средств измерений. – Текст : электронный // РСТ метрология : официальный сайт – URL: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/cm/mits/497e715c-7627-eb6c-396a-dd2871f03517> (дата обращения: 14.07.2026).
 134. Фантом «The Alderson Radiation Therapy Phantom». – Текст : электронный // Radiology Support Devices : Электронный ресурс. – URL: <https://rsdphantoms.com/product/the-alderson-radiation-therapy-phantom/> (дата обращения: 14.07.2026).
 135. Халафян, А. А. STATISTICA 6. Статистический анализ данных : учебник / А. А. Халафян. – 3-е изд., исп. и доп. – Москва : ООО «Издательство "БИНОМ". Лаборатория знаний», 2007. – 512 с.
 136. Чипига, Л. А. Сравнение расчетных методов определения эффективной и органных доз у пациентов при компьютерно-томографических исследованиях/ Л. А. Чипига // Радиационная гигиена. – 2017. – Т. 10, № 1. – С. 56-64. – DOI: 10.21514/1998-426X-2017-10-1-56-64.

137. Шарагин, П. А. Вычислительный фантом для дозиметрии красного костного мозга для взрослых мужчины и женщины / П. А. Шарагин, Е. И. Толстых, Е. А. Шишкина // Медицина экстремальных ситуаций. – 2025. – Т. 27, № 2. – С. 220-228. – DOI: 10.47183/mes.2025-286.
138. Шарагин, П. А. Вычислительный фантом для дозиметрии красного костного мозга плода на 24-й неделе беременности / П. А. Шарагин, Е. И. Толстых, Е. А. Шишкина // Траектория исследований – человек, природа, технологии. – 2025. – № 2 (14). – С. 95-106. – DOI: 10.56564/27825264_2025_2_95.
139. Шелехов, П. В. Анализ парка рентгенологического оборудования в Российской Федерации / П. В. Шелехов, В. В. Омеляновский // Медицинские технологии. Оценка и выбор. – 2023. – Т. 45, № 3. – С. 26-32. – DOI: 10.17116/medtech20234503126.
140. Экспериментальная модель комбинированного радиационно-химического поражения в результате воздействия рентгеновского излучения и монооксида углерода / А. В. Завирский, В. В. Зацепин, В. А. Башарин [и др.] // Medline.ru. Российский биомедицинский журнал. – 2020. – Т. 21. – С. 11-22.
141. Эффективная доза. Онлайн калькулятор. – Электронная программа : электронная // Medsoftpro : официальный сайт. – URL: <https://medsoftpro.ru/kalkulatory/effektivnaya-doza.html> (дата обращения: 14.07.2026).
142. A non-inferiority study of MRI versus CT for staging and image-defined risk factor assessment in the preoperative work-up of abdominopelvic neuroblastoma / A. Delval, T. Touitou, C. Gondry-Jouet [et al.] // European Journal of Radiology. – 2024. – Vol. 177. – Article: 111580. – DOI: 10.1016/j.ejrad.2024.111580.
143. An analysis of the status of diagnostic radiology equipment in China / H. Shuxia, L. Mengxue, F. Dhengnan [et al.] // Radiation Medicine and Protection. – 2023. – Vol. 4, № 3 – P. 170–175. – DOI: 10.1016/j.radmp.2023.08.001.

144. BEIR VII: Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation / Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation. – Washington, DC : National Academies Press, 2005. – 4 p.
145. Cakmak, E. D. Assessment of Organ Dose by Direct and Indirect Measurements for a Wide Bore X-Ray Computed Tomography Unit That Used in Radiotherapy / E. D. Cakmak, N. Tuncel, B. Sindir // International Journal of Medical Physics, Clinical Engineering and Radiation Oncology. – 2015. – Vol. 4, № 2 – P. 132-142. – DOI: 10.4236/ijmpcero.2015.42017.
146. Calculation of organ doses for a large number of patients undergoing computed tomography examinations / A. Bahadori, D. Miglioretti, R. Kruger [et al.] // AJR. American journal of roentgenology. – 2015. – Vol. 205, № 4. – P. 827-833. – DOI: 10.2214/AJR.14.14135.
147. Cervical spine trauma – Evaluating the diagnostic power of CT, MRI, X-Ray and LODOX / N. Rutsch, P. Amrein, A. K. Exadaktylos [et al.] // Injury. – 2023. – Vol. 54, № 7. – Article: 110771. – DOI: 10.1016/j.injury.2023.05.003.
148. Comparison of 16 MDCT and MRI for Characterization of Kidney Lesions / A. J. Beer, M. Dobritz, N. Zantl [et al.] // AJR. American Journal of Roentgenology. – 2006. – Vol. 186, № 6. – P. 1639-1650. – DOI: 10.2214/AJR.04.1545.
149. Comparison of organ and effective dose estimations from different Monte Carlo simulation-based software methods in infant CT and comparison with direct phantom measurements / M. Lawson, K. Berk, M. K. Badawy [et al.] // Journal of Applied Clinical Medical Physics. – 2022. – Vol. 23, № 6. – Article: e13625. – DOI: 10.1002/acm2.13625.
150. Computed tomography diagnostic reference levels for adult brain, chest and abdominal examinations: A systematic review / I. Garba, F. Zarb, M. F. McEntee, S. G. Fabri // Radiography. – 2021. – Vol. 27, № 2. – P. 673-681. – DOI: 10.1016/j.radi.2020.08.011.
151. Cowan, I. A. Measuring and managing radiologist workload: measuring radiologist reporting times using data from a Radiology Information System /

- I. A. Cowan, S. L. MacDonald, R. A. Floyd // *Journal of Medical Imaging and Radiation Oncology*. – 2013. – Vol. 57, № 5. – P. 558-566. – DOI: 10.1111/1754-9485.12092.
152. CT, MRI, and Medical Radiation Technologist Trends in Ontario / S. Morrill, M. O. Baerlocher, M. Patlas [et al.] // *Canadian Association of Radiologists Journal*. – 2024. – Vol. 75, № 2 – P. 432-434. – DOI: 10.1177/08465371231209923.
 153. Current CT practice in Germany: Results and implications of a nationwide survey / A. A. Schegerer, H.-D. Nagel, G. Stamm [et al.] // *European Journal of Radiology*. – 2017. – Vol. 90. – P. 114-128. – DOI: 10.1016/j.ejrad.2017.02.021.
 154. Defining MRI Superiority over CT for Colorectal and Neuroendocrine Liver Metastases / M. A. Attiyeh, G. K. Malhotra, D. Li [et al.] // *Cancers (Basel)*. – 2023. – Vol. 15, № 20. – Article: 5109. – DOI: 10.3390/cancers15205109.
 155. Doses from computed tomography (CT) examinations in the UK – 2011 review / P. C. Shrimpton, M. C. Hillier, S. Meeson, S. J. Golding. – London (UK) : Public Health England, 2014. – 123 p.
 156. Dual versus single energy cardiac CT to measure extracellular volume in cardiac amyloidosis: correlations with cardiac MRI / A. Tavoosi, J. B. de Oliveira Brito, H. E. Mais [et al.] // *IJC Heart & Vasculature* – 2022. – Vol. 44. – Article: 101166. – DOI: 10.1016/j.ijcha.2022.101166.
 157. Effective doses in radiology and diagnostic nuclear medicine: a catalog / F. A. Jr. Mettler, W. Huda, T. Yoshizumi, M. Mahesh // *Radiology*. – 2008. – Vol. 248, № 1. – P. 254-263. – DOI: 10.1148/radiol.2481071451.
 158. Enhancing radiological diagnosis: A comprehensive review of image quality assessment and optimization strategies / A. P. Varghese, S. Naik, S. A. U. H. Andrabi [et al.] // *Cureus*. – 2024. – Vol. 16, № 6. – Article: e63016. – DOI: 10.7759/cureus.63016.
 159. European guidelines on quality criteria for computed tomography : Report EUR 16262. – Brussels, Belgium: European Commission, 2004. – [IV], 107 p.

160. European Society of Endocrinology clinical practice guidelines on the management of adrenal incidentalomas, in collaboration with the European Network for the Study of Adrenal Tumors / M. Fassnacht, S. Tsagarakis, M. Terzolo [et al.] // *European Journal of Endocrinology*. – 2023. – Vol. 189, № 1. – P. G1-G42. – DOI: 10.1093/ejendo/lvad066.
161. GNI per capita (current LCU) – Russian Federation 2020-2024. – Текст : электронный // World Bank (WB). – URL: <https://data.worldbank.org/indicator/NY.GNP.PCAP.CN?locations=RU> (дата обращения: 14.07.2026).
162. Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation: BEIR VII Phase 2 / National Research Council. – Washington, DC : The National Academies Press, 2006. – 422 p. – DOI: 10.17226/11340.
163. Huda, W. Converting dose-length product to effective dose at CT / W. Huda, K. M. Ogden, M. R. Khorasani // *Radiology*. – 2008. – Vol. 248, № 3. – P. 995-1003. – DOI: 10.1148/radiol.2483071964.
164. ICRP Publication 102. Managing patient dose in multi-detector computed tomography (MDCT) / J. Valentin; International Commission on Radiation Protection // *Annals of the ICRP*. – 2007. – Vol. 37, № 1. – P. 1-79. – DOI: 10.1016/j.icrp.2007.09.001.
165. ICRP Publication 110. Adult reference computational phantoms : Joint ICRP/ICRU report / H. G. Menzel, C. Clement, P. DeLuca // *Annals of the ICRP*. – 2009. – Vol. 39, № 2. – 164 p. – DOI: 10.1016/j.icrp.2009.09.001.
166. ICRP publication 135. Diagnostic reference levels in medical imaging / E. Vañó, D. L. Miller, C. J. Martin [et al.] // *Annals of the ICRP*. – 2017. – Vol. 46, № 1. – 144 p. – DOI: 10.1177/0146645317717209.
167. ICRP Publication 152. Radiation Detriment Calculation Methodology / N. Ban, E. Clero, L. Vaillant, [et al.] // *Annals of the ICRP*. – 2022. – Vol. 51, № 3. – 103 p. – DOI: 10.1177/01466453221080101.
168. ICRP Publication 89. Basic anatomical and physiological data for use in radiological protection : Reference values / J. Valentin, C. Streffer // *Annals of*

- the ICRP. – 2002. – Vol. 32, № 3-4. – 265 p. – DOI: 10.1016/S0146-6453(03)00002-2.
169. ICRU Report 48. Phantoms and computational models in therapy, diagnosis and protection // Journal of the ICRU. – 1992. – Vol. 25, № 1. – [III], 194 p.
 170. ICRU Report 87. Radiation dose and image-quality assessment in computed tomography // Journal of the ICRU. – 2012. – Vol. 12, № 1. – 149 p. – DOI: 10.1093/jicru/ndt007.
 171. Jones, J. Multifocal pyelonephritis : Case study / J. Jones. – Текст : электронный // Radiopaedia. – URL: <https://radiopaedia.org/cases/24190> (дата обращения: 14.07.2026). – DOI:10.53347/rID-24190.
 172. Ko, S. E. Evaluation of liver metastasis in patients with breast cancer: comparison of single-phase abdominopelvic CT and multi-phase liver CT / S. E. Ko, K. D. Song, D. I. Cha // Abdominal Radiology (NY). – 2023. – Vol. 48, № 4. – P. 1320-1328. – DOI: 10.1007/s00261-023-03857-6.
 173. Li, X. T-shirt size as a classification for body habitus in computed tomography (CT) and development of size-based dose reference levels for different indications / X. Li, D. Steigerwalt, M. M. Rehani // European Journal of Radiology. – 2022. – Vol. 151, № 3. – Article: 110289. – DOI: 10.1016/j.ejrad.2022.110289.
 174. Local clinical diagnostic reference levels for chest and abdomen CT examinations in adults as a function of body mass index and clinical indication: a prospective multicenter study / H. Brat, F. Zanca, S. Montandon [et al.] // European Radiology. – 2019. – Vol. 29, № 12. – P. 6794-6804. – DOI: 10.1007/s00330-019-06257-x.
 175. Martella, M. Diagnostic Technology: Trends of Use and Availability in a 10-Year Period (2011-2020) among Sixteen OECD Countries / M. Martella, J. Lenzi, M. M. Gianino. // Healthcare 2023. – Vol. 11, № 14. – Article: 2078. – DOI: 10.3390/healthcare11142078.

176. MRI versus CT for the detection of pulmonary nodules: a meta analysis / H. Liu, R. Chen, C. Tong, X.-W. Liang // *Medicine (Baltimore)*. – 2021. – Vol. 100, № 42. – Article: e27270. – DOI: 10.1097/MD.00000000000027270.
177. MRI versus CT in the detection of brain lesions in patients with infective endocarditis before or after cardiac surgery / P. Vitali, F. Savoldi, F. Segati [et al.] // *Neuroradiology*. – 2022. – Vol. 64, № 5. – P. 905-913. – DOI: 10.1007/s00234-021-02810-y.
178. Newly appearing hepatic lesion after curative surgery for colorectal cancer: single-phase CT findings implying metastasis / J. H. Jung, Jin K. Kim, T. Kim, D. K. Kim // *Current Medical Imaging*. – 2023. – Vol. 19, № 9. – P. 1096-1104. – DOI: 10.2174/1573405618666220907162616.
179. Occupational radiation protection / International Atomic Energy Agency. – Vienna: IAEA, 2018. – 335 p. – (General Safety Guide No. GSG-7).
180. Organ dose conversion coefficients in CT scans for Korean adult males and females / C. Lee, T. Won, Y. S. Yeom [et al.] // *Nuclear Engineering and Technology*. – 2022. – Vol. 54, № 2. – P. 681-688. – DOI: 10.1016/j.net.2021.08.008.
181. Patient-Specific Organ and Effective Dose Estimates in Adult Oncologic CT / Y. Gao, U. Mahmood, T. Liu [et al.] // *American Journal of Roentgenology*. – 2020. – Vol. 214, № 4. – P. 738-746. – DOI: 10.2214/AJR.19.21197.
182. Presurgical Evaluation of Pancreatic Cancer: A Comprehensive Imaging Comparison of CT Versus MRI / F. M. Chen, J.-M. Ni, Z.-Y. Zhang [et al.] // *AJR. American Journal of Roentgenology*. – 2016. – Vol. 206, № 3. – P. 526–535. – DOI: 10.2214/AJR.15.15236.
183. Rehani, M. M. Dose, dose, dose, but where is the patient dose? / M. M. Rehani, X. G. Xu // *Radiation Protection Dosimetry*. – 2024. – Vol. 200, № 10. – P. 945-955. – DOI: 10.1093/rpd/ncae137.
184. Röntgenanwendungen Referenzwerte. A.25. Diagnostische Referenzwerte für diagnostische und interventionelle Röntgenanwendungen (RS-Handbuch) [Electronic resource]. – 22 Juni 2016 (BAnz AT 15.07.2016 B8). – URL:

- http://www.bfs.de/DE/themen/ion/anwendung-medicin/diagnostik/referenzwerte/referenzwerte_node.html (accessed: 14 Jul. 2026).
185. Sohrabi, M. Determination of national diagnostic reference levels in computed tomography examinations of Iran by a new quality control-based dose survey method / M. Sohrabi, M. Parsi, F. Mianji // *Radiation Protection Dosimetry*. – 2018. – Vol. 179, № 3. – P. 206-215. – DOI: 10.1093/rpd/ncx252.
 186. The Alderson Radiation Therapy Phantom. – Текст : электронный // *Radiology Support Devices* : официальный сайт. – URL: <https://rsdphantoms.com/product/the-alderson-radiation-therapy-phantom/> (дата обращения: 14.07.2026).
 187. Triple-phase CT evaluation of hepatic lesions in the Saudi population: Assessing diagnostic accuracy / A. Musa, I. Hadadi, O. Loaz [et al.] // *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*. – 2025. – Vol. 18, № 1. – Article: 101251. – DOI: 10.1016/j.jrras.2024.101251.
 188. Tsalafoutas. I. A. Patient dose considerations in computed tomography examinations / I. A. Tsalafoutas, G. V. Koukourakis // *World Journal of Radiology*. – 2010. – Vol. 2, № 7. – P. 262-268. – DOI: 10.4329/wjr.v2.i7.262.
 189. U.S. diagnostic reference levels and achievable doses for 10 adult CT examinations / K. M. Kanal, P. F. Butler, D. Sengupta [et al.] // *Radiology*. – 2017. – Vol. 284, № 1. – P. 120-133. – DOI: 10.1148/radiol.2017161911.
 190. UNSCEAR 2020/2021. Volume I. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation to the General Assembly. Annex A: Evaluation of medical exposure to ionizing radiation / United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. – New York : United Nations, 2022. – [VI], 344 p.
 191. Updated Australian diagnostic reference levels for adult CT / K. L. Lee, T. Beveridge, M. Sanagou, P. Thomas // *Journal of Medical Radiation Sciences*. – 2020. – Vol. 67, № 1. – P. 5-15. – DOI: 10.1002/jmrs.372.

192. Wale, A. Diagnostic certainty in characterizing liver lesions in rectal cancer: abbreviated liver MRI versus CT / A. Wale, H. Harris, G. Brown // *Annals of Surgical Oncology*. – 2025. – Vol. 32, № 4. – P. 2435-2445. – DOI: 10.1245/s10434-024-16468-2.
193. Zewde, N. Organ doses and cancer risk assessment in patients exposed to high doses from recurrent CT exams / N. Zewde, F. Ria, M. M. Rehani // *European Journal of Radiology*. – 2022. – Vol. 149. – Article: 110224. – DOI: 10.1016/j.ejrad.2022.110224.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А. Иллюстративный материал по информационному анализу и пояснения по методикам исследования (справочное)

А1. Интерфейсы программ и калькуляторов для автоматизированного расчета доз облучения пациентов при компьютерной томографии

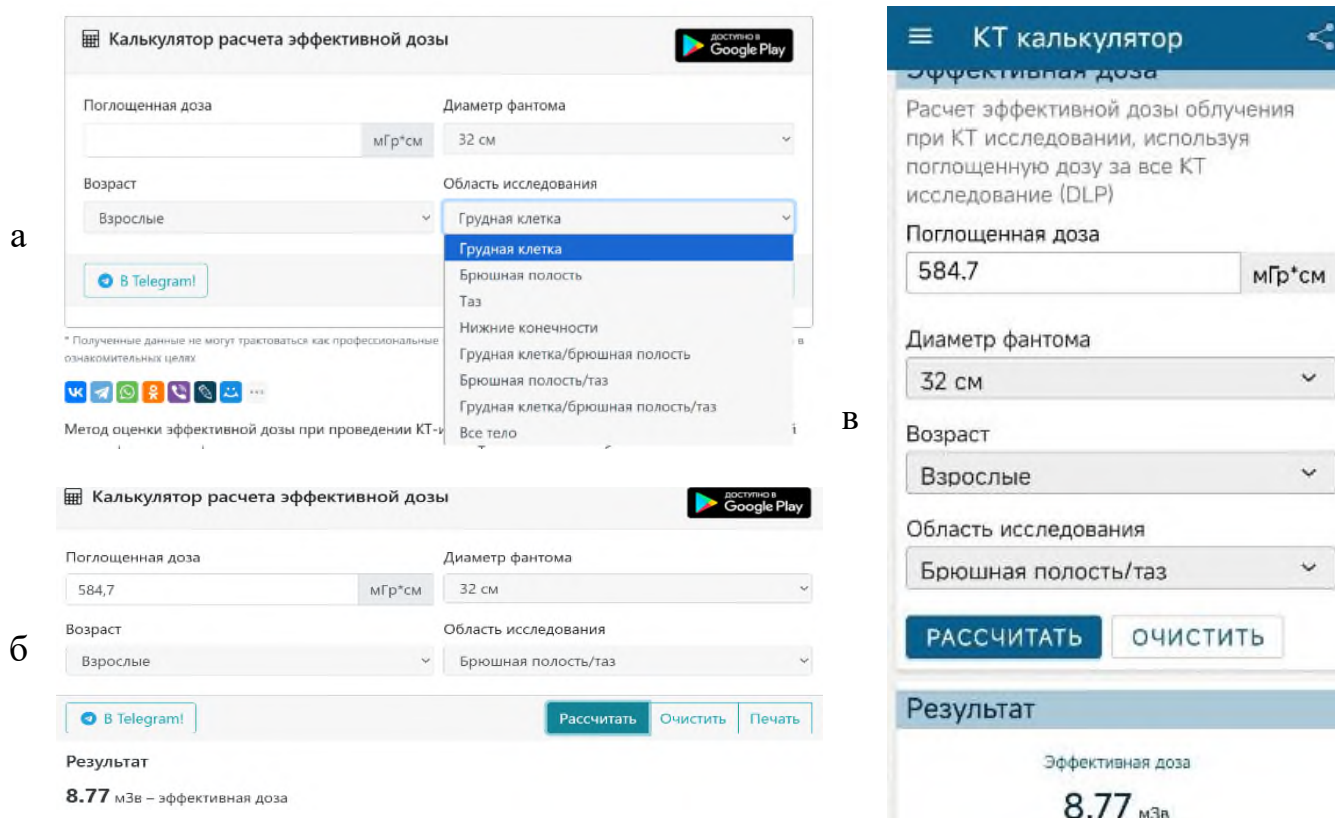


Рисунок А-1 – Примеры расчета на онлайн-калькуляторах 1.1. [38] и 1.2. [141] эффективной дозы для КТ-исследования органов брюшной полости взрослого человека при вводе типового значения DLP 584,7 мГр·см: а – интерфейс программы-калькулятора 1.1.; б, в – примеры расчета эффективной дозы $E=8,77$ мЗв с использованием калькуляторов 1.1 и 1.2.

Выберите калькулятор

Эффективной дозы при компьютерной томографии

Эффективной дозы при компьютерной томографии

Эффективной дозы при проведении радионуклидных исследований с диагностическими РФЛП

Эффективной дозы при проведении радионуклидных исследований с диагностическими РФЛП совмещенных с рентгеновской компьютерной томографией

Эффективной дозы при интервенционном исследовании

Эффективной дозы при рентгенологическом исследовании общего назначения

а

Выберите калькулятор

Эффективной дозы при компьютерной томографии

1. Поглощенная доза (DLP)

584,7 мГр·см

2. Возраст

взрослые

3. Диаметр фантома

32 см

4. Область исследования

Брюшная полость/Таз

РАССЧИТАТЬ

СБРОСИТЬ

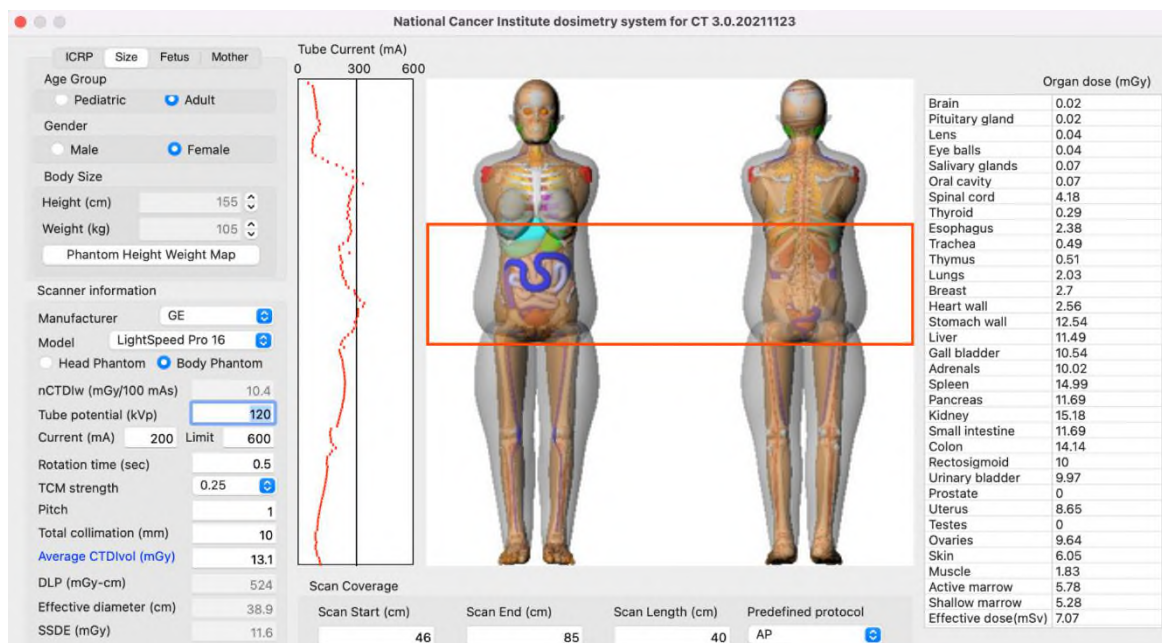
Результат

Эффективная доза при компьютерной томографии

8,8 мЗв

б

Рисунок А-2 – Интерфейс программы «Калькулятор» Центра диагностики и телемедицины [32]: а – перечень исследований, для которых возможно применение калькулятора, б – пример расчета эффективной дозы при поглощенной дозе 584,7 мГр·см, диаметре фантома 32 см, взрослый пациент, область исследования – брюшная полость, результат 8,8 мЗв.



а

б

в

г

Рисунок А-3 – Интерфейс программы NCICT для расчета дозы облучения при КТ-исследовании органов брюшной полости у женщины [17]: а – форма для ввода исходных данных, б – сила тока трубки (мА) в процессе КТ-сканирования, в – зона сканирования спереди, сзади и длина зоны сканирования (40 см), г – поглощенные дозы излучения в органах и тканях (мГр) и эффективная доза облучения пациента. Результат 7,07 мЗв.

Patient Phantoms: Normal Weight Male
 Mode: Scanner Selection CTD_{vol}

Sex: Male
 Age: 40
 Height (cm): 175
 Weight (kg): 80

Scan Protocol: Abdomen/Pelvis
 CT Manufacturer: Toshiba/Canon
 Scanner Name: Aquilion Prime (medium bowtie filter)
 Bowtie filters: Head Body

kVp: 120
 Beam Collimation(mm): 4
 Tube Current Modulation: No Yes
 mAs: 100

CTD_{iw} (per 100mAs): 16.5
 Pitch: 1
 Organ Weighting Scheme: ICRP103 ICRP60

Z-Over Scan Length(mm): No Yes

Calculate Dose
 Create PDF Report

а

VirtualDose
A product of VirtualPhantoms, Inc.

CT Dose Report

Report Date: 10/19/2025 06:00 AM

Scan Parameters	
Protocol	Abdomen/Pelvis
CT Scanner	Toshiba/Canon Aquilion Prime (medium bowtie filter)
kVp	120
Collimation	4 mm
Bowtie filter	body
mAs	100
nCTDI _w	16.51 mGy
Pitch	1
TCM applied	Yes
CTDI _{vol}	16.51 mGy

Phantom Used: Normal Weight Male

Organ Dose	
Organ/Tissue Name	Dose (mGy)
Bladder	15.66
Bone Surface	8.15
Bone-marrow (red)	7.25
Brain	0.28
Breast	2.21
Colon	21.70
Gonads	2.49
Liver	23.83
Lung	4.25
Oesophagus	0.80
Remainder Tissues (ICRP 103)	12.64
Salivary glands	0.52
Skin	6.15
Stomach	16.63
Thyroid	0.61
Effective Dose (mSv)	9.75

Remainder Organs	
Organ/Tissue Name	Dose (mGy)
Adrenals	23.38
Extrathoracic Region	0.35
Gall Bladder	15.78
Heart	3.14
Kidneys	23.77
Lens of the eye	0.34
Lymphatic Nodes	10.20
Muscle	9.01
Oral mucosa	0.46
Pancreas	19.27
Small intestine	22.16
Spleen	25.02
Thymus	1.19
Uterus/Cervix (female) or Prostate (male)	10.56

б

в

Рисунок А-4 – Программа VirtualDoseCT [103] с примером расчета поглощенной дозы в органах и тканях и эффективной дозы облучения пациента при КТ–исследовании органов брюшной полости и малого таза на томографе Toshiba:

а – интерфейс ввода данных, б – выбор зоны сканирования, в – вид сформированного отчета.

а

б

в

Рисунок А-5 – Программа ESCORR [116], пример расчета дозы облучения при КТ-исследовании органов брюшной полости без контрастного усиления у мужчины 40 лет, интерфейс окон программы со справочными значениями Е, и вычисленными значениями DALY и DAR: а – форма для ввода параметров КТ-исследования, б – отчет за одно КТ-исследование, в – отчет за серию из двух КТ-исследований у одного пациента.

a

б

в

Study: **Abdomen and Pelvis CT**

Gender: Male ☒ Female ☐

Age at Time of Study: 40 (years)

Number of Exams: 1

Effective Dose: (mSv)

DLP (Optional for CT): 584,7 (mGy · cm)

Calculate **Add This Exam to your Report**

г

Your X-ray Risk Report

Study	Gender	Age	# of exams	Dose (mSv)	Additional Cancer Risk(%)
Abdomen and Pelvis CT	Male	40	1	10.512	0.069983% X
Chest CT (Standard)	Male	40	1	4.95	0.032954% X
Totals:			2	15.462	0.102937%

An Additional Cancer Risk of 0.102937% is equal to 1 in 971 chances.
Or said another way, a 99.897063% chance of having no effect of the above studies.

ASRT American Society of Radiologic Technologists
AngioCalc Cerebral and Peripheral Anisurym Calculator

Рисунок А-6 – Онлайн-калькулятор X-RAY RISK [31]: а – главная страница, б – меню выбора вида лучевого исследования или лучевой терапии, в – окно ввода исходной информации о пациенте о пациенте, количестве выполненных КТ, DLP = 584,7 мГр·см и вывода рассчитанных параметров (суммарной эффективной дозы за выполненные КТ-исследования, а также показателей риска), г – отчет о серии из двух КТ-исследований.

Таблица А-1 – Используемые для расчетов коэффициенты пожизненного риска смерти с учетом вреда от снижения качества жизни, рассчитанные на 1 мЗв эффективной дозы, при равномерном облучении организма и для медицинских исследований, указанных анатомических областей [91].

Возраст, лет	Равномерное облучение		Голова		Шея		Грудная клетка		Брюшная полость	
	М*	Ж**	М	Ж	М	Ж	М	Ж	М	Ж
0-4	7,6E-05	1,8E-04	1,2E-04	2,2E-04	7,2E-05	2,6E-04	5,6E-05	2,2E-04	5,8E-05	1,1E-04
5-9	6,6E-05	1,5E-04	1,1E-04	1,7E-04	6,0E-05	1,9E-04	5,0E-05	1,8E-04	5,3E-05	9,9E-05
10-14	5,8E-05	1,2E-04	1,3E-04	1,5E-04	5,0E-05	1,5E-04	4,6E-05	1,4E-04	4,6E-05	7,8E-05
15-19	5,1E-05	9,8E-05	1,0E-04	1,1E-04	3,7E-05	1,0E-04	4,4E-05	1,0E-04	4,2E-05	6,2E-05
20-24	4,3E-05	8,2E-05	7,9E-05	9,5E-05	2,7E-05	7,1E-05	4,0E-05	8,1E-05	3,9E-05	5,6E-05
25-29	3,8E-05	6,9E-05	7,0E-05	8,0E-05	2,2E-05	5,1E-05	3,8E-05	7,1E-05	3,4E-05	4,8E-05
30-34	3,5E-05	5,8E-05	6,3E-05	6,7E-05	1,8E-05	3,6E-05	3,6E-05	6,3E-05	3,0E-05	4,1E-05
35-39	3,1E-05	4,9E-05	5,6E-05	5,6E-05	1,5E-05	2,6E-05	3,4E-05	5,6E-05	2,6E-05	3,5E-05
40-44	2,8E-05	4,6E-05	5,3E-05	6,9E-05	1,3E-05	2,2E-05	3,3E-05	5,7E-05	2,2E-05	3,2E-05
45-49	2,4E-05	3,7E-05	4,6E-05	5,5E-05	1,1E-05	1,6E-05	2,9E-05	4,9E-05	1,9E-05	2,6E-05
50-54	2,0E-05	3,0E-05	3,9E-05	4,2E-05	8,3E-06	1,1E-05	2,6E-05	4,1E-05	1,5E-05	2,0E-05
55-59	1,6E-05	2,4E-05	3,2E-05	3,2E-05	6,4E-06	8,1E-06	2,1E-05	3,4E-05	1,2E-05	1,6E-05
60-64	1,2E-05	1,8E-05	2,6E-05	2,4E-05	4,8E-06	5,8E-06	1,7E-05	2,7E-05	8,5E-06	1,1E-05
65-69	8,9E-06	1,3E-05	2,1E-05	1,7E-05	3,6E-06	3,8E-06	1,3E-05	2,0E-05	6,0E-06	7,6E-06
70-74	6,2E-06	8,2E-06	1,6E-05	1,1E-05	2,6E-06	2,4E-06	9,5E-06	1,3E-05	4,0E-06	4,6E-06
75-79	4,1E-06	4,7E-06	1,2E-05	6,6E-06	1,8E-06	1,4E-06	6,4E-06	7,9E-06	2,5E-06	2,5E-06
80-84	2,7E-06	2,7E-06	8,4E-06	3,9E-06	1,2E-06	7,8E-07	4,3E-06	4,6E-06	1,6E-06	1,4E-06
85+	1,4E-06	7,6E-07	5,9E-06	2,2E-06	7,7E-07	3,3E-07	2,1E-06	1,3E-06	8,6E-07	4,2E-07

Примечание: *М – мужчины; **Ж – женщины.

Таблица А-2 – Уровни радиационного риска (индивидуальный пожизненный риск) для здоровья пациента, связанные с медицинским облучением во время диагностических исследований или лечебных процедур [91].

Уровни радиационного риска	Радиационный риск	
	Случаев	Случаев на 100 000 человек
ПРЕНЕБРЕЖИМО МАЛЫЙ	$<10^{-6}$ (менее 1 случая на 1 000 000 человек)	$<0,1$
МИНИМАЛЬНЫЙ	$10^{-6}-10^{-5}$ (1-10 случаев на 1 000 000 человек)	0,1-1
ОЧЕНЬ НИЗКИЙ	$10^{-5}-10^{-4}$ (1-0 случаев на 100 000 человек)	2-10
НИЗКИЙ	$10^{-4}-10^{-3}$ (1-0 случаев на 10 000 человек)	11-100
УМЕРЕННЫЙ	$10^{-3}-3 \cdot 10^{-3}$ (1-3 случая на 1 000 человек)	101-300

Таблица А-3. Возможности методов лучевой диагностики (обзорной рентгенографии, КТ и МРТ, радионуклидных методов, ультразвуковой диагностики) по основным анатомическим областям [28] .

Анатомическая область	Обзорная рентгенография (РГ)	Компьютерная томография (КТ)	Магнитно-резонансная томография (МРТ)	Радионуклидные методы (ОФЭКТ и ПЭТ/КТ, скинтиграфия)	Ультразвуковая диагностика (УЗИ)
1. Головной мозг	Обзорная РГ не рассматривается как рекомендованный метод визуализации головного мозга, ввиду крайне низкой информативности. Искключение – обзорная РГ черепа в качестве вспомогательного метода при подозрении на нарушение целостности или миграции компонентов шунтирующей системы у пациентов гидроцефалией с установленным вентрикулоперитонеальным шунтом.	КТ без контрастирования – метод выбора при черепно-мозговой травме, подозрении на внутримозговое кровоизлияние, острое нарушение мозгового кровообращения (особенно первые часы инсульта), а также при отеке мозга и костных повреждениях основания черепа. Высокая доступность, скорость выполнения и устойчивость к артефактам движения делают КТ незаменимой в ургентной неврологической практике. КТ с контрастом показана при подозрении на опухоль, абсцессы, тромбоз венозных синусов, а также при вторичных осложнениях инфекционного процесса, позволяет визуализировать сосуды головного мозга и выявить аневризмы, стенозы, артериовенозные мальформации.	Демонстрирует высокую чувствительность к ишемии, что позволяет выявлять очаги ишемии. Метод выбора при подозрении на воспалительные заболевания (энцефалиты, менингиты), демиелинизирующие патологии (например, рассеянный склероз), опухоли головного мозга, эпилепсию и при нейродегенеративных заболеваниях. Особое значение МРТ приобретает в диагностике патологий задней черепной ямки, гипоплазии, орбит, нервов и сосудистых мальформаций. Протоколы ангио- и венографии (MRA/MRV) позволяют без контраста визуализировать артериальные и венозные структуры, снижая лучевую нагрузку.	Используются в неврологии для оценки метаболической активности мозга при деменции (болезнь Альцгеймера, лобно-височная деменция и др.), эпилепсии, опухолях и дифференцировке постоперационных и новых активных зон. ПЭТ/КТ с ¹⁸ F-ФДГ используется при деменции и метастазах, ПЭТ с ¹¹ C-метионином — при глиомах, ОФЭКТ с дофаминовыми транспортерами – при паркинсонизме для оценки нейромедиаторных нарушений.	Ультразвук ограничен в применении и используется, в основном, при исследовании сосудов шеи и экстракраниальных отделов сонных и позвоночных артерий.

Продолжение таблицы А-3

Анатомическая область	Обзорная рентгенография (РГ)	Компьютерная томография (КТ)	Магнитно-резонансная томография (МРТ)	Радионуклидные методы (ОФЭКТ и ПЭТ/КТ, скинтиграфия)	Ультразвуковая диагностика (УЗИ)
2. Органы грудной клетки (ОГК)	Диагностика заболеваний органов грудной клетки традиционно начинается с обзорной РГ, которая остается основным методом при обострении хронической обструкционной болезни легких (ХОБЛ), пневмонии, туберкулезе и подозрении на пневмоторакс.	Наиболее информативной становится КТ, особенно низкодозная КТ (НДКТ), которая рекомендована как метод скрининга рака легкого у групп риска. КТ с внутривенным контрастированием показана при подозрении на опухоли плевры и средостения, а также при тромбоэмболии легочной артерии.	МРТ в данной области применяется ограниченно (для визуализации органов средостения) ввиду низкой плотности протонов в воздухоподдерживающих структурах и подверженности артефактам от дыхания.	ПЭТ/КТ целесообразен при стадировании рака легкого, а также при выборе участка для биопсии. Метод позволяет проводить дифференциальную диагностику доброкачественных и злокачественных процессов, в том числе при интерстициальных поражениях и узлах в легких.	Ультразвуковое исследование используется как дополнительный метод для оценки жидкостных полостей – плевральной и перикардальной.
3. Сердце и сосуды	Обзорная РГ органов грудной клетки может быть использована как дополнительный метод оценки формы и размеров сердца.	КТ применяется для оценки степени стеноза коронарных артерий, наличия коронарного кальция (сoponagу calcіum scoring), анатомии аорты, легочной артерии и вен. КТ с контрастом используется при подозрении на ТЭЛА, расслаивающую аневризму, врожденные аномалии сосудов, постоперационные изменения. Метод требует четкого контроля ЧСС.	МРТ сердца предоставляет информацию о сократимости, фиброзе, отеке и перфузии миокарда, используется при миокардитах, кардиомиопатиях, врожденных пороках, ишемии и инфаркте миокарда. МР-ангиография позволяет оценить сосудистую анатомию без контрастирования — важный аспект при противопоказаниях к КУ.	Скintiграфия – наиболее чувствительный метод при хронической тромбоэмболической болезни. Перфузионная скintiграфия миокарда используется для оценки функционально значимого стеноза коронарных артерий.	Ультразвуковое исследование - эхокардиография (ЭхоКГ) остается основным методом визуализации сердца в рутинной клинической практике. Он позволяет оценить размеры камер, систолическую функцию, состояние клапанов, признаки легочной гипертензии, выпот в перикарде и сократимость миокарда. Чреспищеводная ЭхоКГ применяется при оценке тромбов в ушке левого предсердия, инфекционного эндокардита, а также уточнения состояния восходящей аорты при подозрении на ее аневризму или расслоение.

Продолжение таблицы А-3

Анатомическая область	Обзорная рентгенография (РГ)	Компьютерная томография (КТ)	Магнитно-резонансная томография (МРТ)	Радионуклидные методы (ОФЭКТ и ПЭТ/КТ, сцинтиграфия)	Ультразвуковая диагностика (УЗИ)
4. Органы брюшной полости (ОБП)	Применяется ограниченно и преимущественно в экстренной практике: при подозрении на кишечную непроходимость, перфорацию полого органа, инородные тела.	КТ с внутривенным контрастированием остается методом выбора при острых болях в животе неясного генеза, подозрении на аппендицит, дивертикулит, кишечную непроходимость, ишемию кишечника, а также при оценке абсцессов и онкопатологии. КТ позволяет визуализировать не только органную патологию, но и сосудистые изменения, жидкость, газ, инородные тела.	МРТ в абдоминальной диагностике демонстрирует высокую эффективность в подострой и плановой диагностике, применяется при визуализации печени при хроническом гепатите, жировой инфильтрации, гемохроматозе, а также при дифференциации фокальных образований (гемангиом, ФНО, аденом, ГЦК), как альтернатива КТ при противопоказаниях к йодсодержащим контрастам. Специализированные протоколы — МР-холангиография и МР-энтерография — являются ценными инструментами в диагностике патологии желчных протоков и воспалительных заболеваний кишечника.	Радионуклидные методы дают функциональную информацию при онкопатологии, уточнении метастатического поражения, стадировании рака желудочно-кишечного тракта.	УЗИ – приоритетный метод, который применяется как на догоспитальном, так и на госпитальном этапе. УЗИ позволяет выявить патологические образования всех паренхиматозных органов, а также оценить наличие свободной жидкости. Чувствительность УЗИ ограничена при кишечнике с обильным количеством газа и у пациентов с избыточной массой тела.

Продолжение таблицы А-3

Анатомическая область	Обзорная рентгенография (РГ)	Компьютерная томография (КТ)	Магнитно-резонансная томография (МРТ)	Радионуклидные методы (ОФЭКТ и ПЭТ/КТ, скинтиграфия)	Ультразвуковая диагностика (УЗИ)
5. Забрюшинное пространство – почки и надпочечники	Обзорная РГ может быть полезна, в основном, при мочекаменной болезни. В остальных ситуациях применяется только в случае недоступности других методов исследования.	КТ без контраста является золотым стандартом при диагностике мочекаменной болезни — она позволяет выявить камни и проследить их в динамике. КТ с внутривенным контрастом (КТ-урография) незаменима при подозрении на опухоли, травмы, обструкции и аномалии развития. Метод позволяет получить выделительную функцию - анатомию мочевых путей на всем протяжении. КТ позволяет визуализировать надпочечники при подозрении на опухоли (аденома, карцинома, феохромоцитома) и метастазы.	МРТ используется при противопоказаниях к КТ с контрастом. МРТ также применяется для оценки сложных кист, опухолей, тромбоза вен и воспалительных процессов. МРТ полезен для дифференциации липидных и нелипидных опухолей почек и надпочечников. МР-урография также позволяет визуализировать мочевые пути на всем протяжении, но занимает большее количество времени, чем КТ-урография.	Функциональная скинтиграфия с использованием MAG3 и DMSA — позволяет оценить структуру и дренажную способность почек. Сцинтиграфия с MIBG и SRS для выявления опухолей надпочечников. Меченый холестерин для диагностики первичного гиперальдостеронизма (синдром Кона).	УЗИ является методом первичной визуализации при подозрении на мочекаменную болезнь, гидронефроз, кистозные образования, аномалии развития. Метод позволяет оценить размеры почек, структуру паренхимы, наличие расширения чашечно-лоханочной системы, объем остаточной мочи. Однако чувствительность метода ограничена при ожирении и при визуализации мочеточников.

Продолжение таблицы А-3

Анатомическая область	Обзорная рентгенография (РГ)	Компьютерная томография (КТ)	Магнитно-резонансная томография (МРТ)	Радионуклидные методы (ОФЭКТ и ПЭТ/КТ, скинтиграфия)	Ультразвуковая диагностика (УЗИ)
6. Органы малого таза (гинекология и урология)	Обзорная РГ органов малого таза не рассматривается как самостоятельный метод диагностический метод ввиду малой информативности.	КТ используется преимущественно при оценке распространения опухолевого процесса и травме малого таза. В гинекологии имеет ограниченное применение, однако незаменим при подозрении на осложненный воспалительный процесс (например, тубоовариальный абсцесс), распространение онкологического процесса на забрюшинные структуры, а также в экстренных ситуациях, таких как разрыв кисты или апоплексия яичника при нестабильной гемодинамике.	МРТ применяется в случаях, когда необходимо уточнить характер образования, его распространенность и степень инвазии при подозрении на эндометриоз, опухоли тела и шейки матки, а также при врожденных аномалиях развития матки и влагалища. МРТ незаменима при планировании операций у пациенток с бесплодием, при подозрении на опухоли яичников и при дифференциации доброкачественных и злокачественных процессов. МРТ применяется при раке предстательной железы, в сочетании с биопсией под контролем МРТ/УЗИ	ПЭТ-КТ применяется для стадирования, выявления рецидивов и оценки ответа на лечение при злокачественных опухолях органов малого таза: раке шейки матки, эндометрия, яичников, а также при нейроэндокринных опухолях. Метод позволяет оценить метаболическую активность, выявить отдаленные метастазы и дифференцировать послеоперационные изменения от рецидива.	У женщин трансабдоминальное и трансвагинальное УЗИ является основным методом первичной визуализации. Метод позволяет быстро и безопасно оценить структуру матки, эндометрия, яичников, а также выявить воспалительные изменения, миомы, кисты, гидросальпинкс, аномалии развития. В урологии УЗИ также является методом выбора для оценки мочевого пузыря, предстательной железы и семенных пузырьков у мужчин.

Продолжение таблицы А-3

Анатомическая область	Обзорная рентгенография (РГ)	Компьютерная томография (КТ)	Магнитно-резонансная томография (МРТ)	Радионуклидные методы (ОФЭКТ и ПЭТ/КТ, скинтиграфия)	Ультразвуковая диагностика (УЗИ)
7. Позвоночник	Обзорная РГ используется как первичный метод при подозрении на деформации, остеохондроз, спондилез, сколиоз, компрессионные переломы. Несмотря на ограниченную информативность в оценке мягкотканых и спинальных структур, она остается доступным методом скрининга в амбулаторной практике.	КТ имеет преимущество при визуализации костных структур и применяется при острых травмах (в том числе высокоэнергетических), при подозрении на нестабильность, а также в предоперационном планировании и оценке деструктивных процессов, например, при туберкулезном спондилите. КТ позволяет точно оценить состояние тел позвонков, дуг, и корешковых каналов.	МРТ является золотым стандартом при патологии спинного мозга, межпозвонковых дисков, связочного аппарата, при подозрении на опухоли, миелопатию, остеомиелит и эпидуральный абсцесс. Протоколы МРТ позволяют проводить детальную оценку позвоночного канала и содержимого, особенно при хронических болях и радикулопатии.	Применяются для выявления воспалительных и метастатических поражений позвоночника. ПЭТ/КТ особенно ценна при онкопоиске, диагностике рецидивов опухолей и при дифференциации инфекционного и опухолевого поражения при неоднозначных данных КТ и МРТ.	Не применяется.

Продолжение таблицы А-3

Анатомическая область	Обзорная рентгенография (РГ)	Компьютерная томография (КТ)	Магнитно-резонансная томография (МРТ)	Радионуклидные методы (ОФЭКТ и ПЭТ/КТ, сцинтиграфия)	Ультразвуковая диагностика (УЗИ)
8. Мягкие ткани	Обзорная РГ мягких тканей в методических рекомендациях рассматривается только как дополнительный метод вспомогательный метод при наличии металлических инородных тел, кальцинатов или оссификатов. Для полноценной оценки мягкотканых структур обзорная РГ не рекомендуется.	КТ в данной области имеет ограниченное применение — преимущественно при подозрении на кальцификации, плотные компоненты, костную инвазию или при МРТ.	МРТ обладает максимальной контрастностью для мягкотканых структур и служит золотым стандартом при оценке распространенности опухолей, дифференциации доброкачественных и злокачественных процессов, а также при планировании хирургического вмешательства. МРТ с контрастом позволяет оценить васкуляризацию, периневральное и сосудистое вовлечение, инвазию в кости.	ПЭТ/КТ используется при наблюдении и стадировании сарком мягких тканей, при контроле ответа на химиотерапию и при подозрении на рецидив. Позволяет дифференцировать послеоперационные изменения от рецидивов и отслеживать распространение опухолевого процесса.	УЗИ остается методом выбора при оценке поверхностных образований, кист, гематом, воспалительных инфильтратов и инородных тел. Метод УЗИ применяется при пункционных и биопсийных манипуляциях, а также при послеоперационном наблюдении за пациентом.
9. Конечности	При патологии конечностей рентгенография остается первым этапом диагностики при травмах, болевых синдромах, воспалительных и дегенеративных изменениях суставов. Широко применяется при подозрении на переломы, остеоартрит, остеомиелит и подагру (визуализация тофусов и эрозий).	Компьютерная томография применяется при сложных и множественных переломах, планировании остеосинтеза, особенно в области мелких суставов (стопа, кисть). Метод используется также при оценке сращения переломов и при 3D-моделировании в ортопедии.	МРТ обеспечивает точную визуализацию внутрисуставных структур — менисков, хрящей, связок, сухожилий и кости. Метод незаменим при хронической боли, нестабильности сустава и после травм.	Методы применяются при остеомиелите, скрытых стресс-переломах, опухолях кости и при определении активности воспалительного процесса в суставе.	УЗИ позволяет оценить сухожилия, связки, синовиальные оболочки, выявить выпоты и кисты (например, Бейкера). Он используется в травматологии, ревматологии и спортивной медицине.

Продолжение таблицы А-3

Анатомическая область	Обзорная рентгенография (РГ)	Компьютерная томография (КТ)	Магнитно-резонансная томография (МРТ)	Радионуклидные методы (ОФЭКТ и ПЭТ/КТ, сцинтиграфия)	Ультразвуковая диагностика (УЗИ)
Преимущества метода диагностики	У обзорной РГ высокая доступность, низкая стоимость, быстрая визуализация, возможность выполнить у нестабильных пациентов.	Высокая точность, быстрая выполнения процедуры (от 5 до 15 минут), универсальность.	Для МРТ характерна высокая визуализация мягких тканей и отсутствие воздействия на пациента ионизирующего излучения.	Высокая специфичность и чувствительность, функциональный подход, возможность выявления патологии на раннем этапе.	Для УЗИ свойственна неинвазивность, мобильность, отсутствие лучевой нагрузки на пациента.
Ограничения метода диагностики	Обзорная РГ имеет низкую чувствительность к изменениям мягких тканей, не дает функциональной информации и зависит от наложения других структур на 2D изображении.	Лучевая нагрузка на пациента, противопоказания к введению рентгеноконтраста.	Длительность процедуры (от 20 до 45 минут), высокая стоимость, наличие определенных противопоказаний (металлические конструкции и импланты, кардиостимуляторы, клаустрофобия и др.), точность диагностики снижается при исследовании костей и легких.	Высокая стоимость, ограниченная доступность, лучевая нагрузка на пациента.	Результаты зависят от квалификации врача-оператора, сложность визуализации при метеоризме и ожирении, низкая точность при оценке патологии структур, глубоко расположенных от поверхности тела пациента.

Таблица А-4 – Бланк опросника для врача-рентгенолога-эксперта

Уважаемый эксперт! Просим Вас проставить оценки о характере патологии в базе КТ (МРТ) исследований по шкале 1 – нет (не визуализируется); 2 – да (визуализируется).

№	Орган (ткань)	Характер патологии		Количество патологических образований		Размер патологии	
		кистозная	солидная	один	два и более	до 10 мм	10 мм и более
1	Печень						
2	Желчный пузырь, желчные протоки*						
3	Поджелудочная железа						
4	Селезенка						
5	Почки						
6	Надпочечники**						
7	Клетчатка брюшной полости						

Примечания: * – дополнительная оценка наличия конкрементов и оценки стенок протоков;

** – характер патологии дифференцируется между жировым и солидным.

Таблица А-5 – Общая классификация заболеваний по МКБ-10, учитываемых при анализе структуры заболеваний пациентов

№ п/п	Класс МКБ	Рубрики МКБ	Название классов заболеваний (нозологий)
1	I*	A00-B99	Некоторые инфекционные и паразитарные болезни
2	II	C00-D48	Новообразования
3	III	D50-D89	Болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм
4	IV	E00-E90	Болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ
5	V*	F00–F99	Психические расстройства и расстройства поведения
6	VI	G00-G99	Болезни нервной системы
7	VII	H00-H59	Болезни глаза и его придаточного аппарата
8	VIII	H60-H95	Болезни уха и сосцевидного отростка
9	IX	I00-I99	Болезни системы кровообращения
10	X	J00-J99	Болезни органов дыхания
11	XI	K00-K93	Болезни органов пищеварения
12	XII	L00-L99	Болезни кожи и подкожной клетчатки
13	XIII	M00-M99	Болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани
14	XIV	N00-N99	Болезни мочеполовой системы
15	XV*	O00-O99	Беременность, роды и послеродовой период
16	XVI*	P00-P96	Отдельные состояния, возникающие в перинатальном периоде
17	XVII*		Врожденные аномалии (пороки развития), деформации и хромосомные нарушения
18	XVIII	R00-R99	Симптомы, признаки и отклонения от нормы, выявленные при клинических и лабораторных исследованиях, не классифицированные в других рубрика

Продолжение таблицы А-5

№ п/п	Класс МКБ	Рубрики МКБ	Название классов заболеваний (нозологий)
19	XIX	S00-T98	Травмы, отравления и некоторые другие последствия воздействия внешних причин
20	XX		Внешние причины заболеваемости и смертности
21	XXI		Факторы, влияющие на состояние здоровья населения и обращения в учреждения здравоохранения
22	XXII	U80-U85	Временные обозначения диагнозов неясной этиологии или для использования в чрезвычайных ситуациях

Примечание: * – классы МКБ-10, не соответствующие профилю клиники ФГБУ
ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России

ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Дополнительная информация по исследованию

Таблица Б.1 – Средние дозы облучения персонала в процессе профессиональной деятельности и при КТ-исследованиях в ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России по классам заболеваний в 2020-2024 гг. в зависимости от пола и возраста работников

Классы заболеваний по МКБ*	При КТ-исследованиях без контрастного усиления				При КТ-исследованиях с контрастным усилением					
	Обследованные лица		Средняя доза облучения одного работника, М±т, мЗв		Обследованные лица		Средняя доза облучения одного работника, М±т, мЗв			
	Кол-во	%	Медицинское (КТ)	Профессиональное	Суммарная доза	Кол-во	%	Медицинское (КТ)	Профессиональное	Суммарная доза
1. Класс II. (C00-D48)										
Новообразования	85	13,1	6,72±0,53	0,71±0,2	7,43	243	48,3	20,15±0,69	0,73±0,09	20,88
всего, из них										
мужчины <45	7	5,4	4,53±0,45	4,98±2,54	9,51	19	29,7	22,45±1,89	2,15±0,86	24,6
мужчины ≥45	68	19,5	6,89±0,63	0,54±0,11	7,43	127	42,8	22,98±0,98	0,69±0,11	23,67
женщины <45	2	3,0	3,65±0,74	0,07	3,72	20	76,9	11,89±1,45	0,19±0,03	12,08
женщины ≥45	8	7,8	7,96±1,5	0,39±0,13	8,35	77	66,4	17,06±1,10	0,58±0,06	17,64
2. Класс III. (D50-D89)										
Болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм всего, из них	44	6,8	4,6±0,55	1,11±0,25	5,71	71	14,1	26,67±1,37	1,06±0,2	27,73

Продолжение таблицы Б.1

Классы заболеваний по МКБ*	При КТ-исследованиях без контрастного усиления					При КТ-исследованиях с контрастным усилением				
	Обследованные лица		Средняя доза облучения одного работника, М±т, мЗв			Обследованные лица		Средняя доза облучения одного работника, М±т, мЗв		
	Кол-во	%	Медицинское (КТ)	Профессио-нальное	Суммарная доза	Кол-во	%	Медицинское (КТ)	Профессио-нальное	Суммарная доза
Классы заболеваний по МКБ*	7	5,3	8,29±2,21	1,64±0,56	9,93	11	17,2	27,35±4,46	0,83±0,24	28,18
	22	6,3	3,65±0,41	1,44±0,45	5,09	40	13,5	26,26±1,79	1,39±0,35	27,65
	7	10,4	4,89±1,46	0,31±0,16	5,2	3	11,5	31,03±5,92	0,05	31,08
	8	7,8	3,74±0,80	0,78±0,12	4,52	17	14,7	26,44±2,33	0,67±0,08	27,11
3. Класс IV. (E00-E99) Болезни эндокринной системы, расстройств питания и нарушения обмена веществ всего, из них	14	2,2	4,84±0,51	0,68±0,12	5,52	16	3,2	22,98±3,16	2,41±0,4	25,39
	1	0,8	1,2	1,11	2,31	1	1,6	16,2	0,05	16,25
	9	2,6	5,12±0,62	0,76±0,16	5,88	10	3,4	23,54±4,14	2,72±0,59	26,26
	1	1,5	5,9	0,73	6,63	0	0	-	-	-
	3	2,9	4,87±0,80	0,26±0,01	5,13	5	4,3	23,22±5,65	1,95±0,37	25,17
4. Класс VI. (G00-G99) Болезни нервной системы всего, из них	10	1,5	3,25±0,46	0,27±0,07	3,52	5	1,0	8,2±3,82	0,47±0,06	8,67
	1	0,8	3,3	0,05	3,35	2	3,1	3,15±0,39	0,31	3,46
	4	1,1	4,53±0,73	0,24±0,08	4,77	2	0,7	15,65±6,68	0,45	16,1
	4	6,0	2,18±0,26	0,34±0,13	2,52	1	3,8	3,4	0,67	4,07
	1	1,0	2,4	0,05	2,45	0	0	-	-	-

Продолжение таблицы Б.1

Классы заболеваний по МКБ*	При КТ-исследованиях без контрастного усиления				При КТ-исследованиях с контрастным усилением					
	Обследованные лица		Средняя доза облучения одного работника, М±m, мЗв		Обследованные лица		Средняя доза облучения одного работника, М±m, мЗв			
	Кол-во	%	Медицинское (КТ)	Профессиональное	Суммарная доза	Кол-во	%	Медицинское (КТ)	Профессиональное	Суммарная доза
5. Класс VII. (H00-H59) Болезни глаза и его придаточного аппарата Класс VIII. (H60-H99) Болезни уха и сосцевидного отростка всего, из них	13	2,0	2,82±0,62	0,72±0,17	3,54	0	0	-	-	-
	1	0,8	1,8	2,4	4,2	0	0	-	-	-
	8	2,3	3,19±0,95	0,51±0,11	3,7	0	0	-	-	-
	2	3,0	1,5±0,21	0,75±0,06	2,25	0	0	-	-	-
	2	1,9	3,2	0,05	3,25	0	0	-	-	-
6. Класс IX. (I00-I99) Болезни системы кровообращения всего, из них	65	10,0	3,92±0,49	0,54±0,07	4,46	71	14,1	18,71±1,88	0,83±0,15	19,54
	6	4,6	5,65±2,04	0,87±0,15	6,52	9	14,1	18,84±5,02	0,59±0,3	19,43
	52	14,9	3,58±0,37	0,52±0,07	4,1	55	18,5	19,04±2,15	0,88±0,19	19,92
	1	1,5	4,8	0,05	4,85	1	3,8	42,4	0,37	42,77
	6	5,8	1,72	0,27±0,09	1,99	6	5,2	11,5±4,97	0,92±0,23	12,42
7. Класс X. (J00-J99) Болезни органов дыхания всего за, из них	249	38,5	2,81±0,08	1±0,07	3,81	13	2,6	31,6±2,79	1,06±0,14	32,66

Продолжение таблицы Б.1

	При КТ-исследованиях без контрастного усиления				При КТ-исследованиях с контрастным усилением			
	Обследованные лица		мЗв		Обследованные лица		мЗв	
	Кол-во	%	Медицинское (КТ)	Профессиональное	Средняя доза облучения одного работника, М±т,	Суммарная доза	Медицинское (КТ)	Профессиональное
Классы заболеваний по МКБ*								
мужчины <45	58	44,6	2,65±0,16	1,15±0,14	3,8	1	40,3	1,55
мужчины ≥45	121	34,8	2,94±0,12	0,82±0,08	3,76	11	30,05±3,07	1,02±0,16
женщины <45	29	43,2	2,66±0,26	1,06±0,08	3,72	0	-	-
женщины ≥45	41	39,8	2,74±0,17	1,21±0,22	3,95	1	39,9	1,03
8. Класс XI. (K00-K93)								
Болезни органов пищеварения	29	4,5	3,4±0,47	0,65±0,19	4,05	56	25,75±1,67	1,25±0,25
всего, из них								27,00
мужчины <45	9	6,9	3±0,61	1,45±0,51	4,45	12	22,69±1,42	0,56±0,13
мужчины ≥45	13	3,7	3,12±0,43	0,4±0,21	3,52	35	29,64±2,21	1,39±0,37
женщины <45	3	4,4	7,65±3,78	1,1±0,23	8,75	1	6,5	1,43
женщины ≥45	4	3,8	3,1±0,89	0,18±0,09	3,28	8	15,74±3,14	1,51±0,49
9. Класс XIII. (M00-M99)								
Болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани	40	6,2	3,95±0,49	1,08±0,15	5,03	6	19,65±5,78	0,23±0,11
всего, из них								19,88
мужчины <45	6	4,6	4,15±1,09	1,25±0,63	5,4	2	35,95±2,37	0,02
мужчины ≥45	22	6,3	4,89±0,72	1,05±0,21	5,94	4	11,5±4,91	0,3±0,14
женщины <45	5	7,5	1,74±0,39	1,33±0,11	3,07	0	-	-
женщины ≥45	7	6,8	2,41±0,73	0,8±0,12	3,21	0	-	-

Продолжение таблицы Б.1

Классы заболеваний по МКБ*	При КТ-исследованиях без контрастного усиления				При КТ-исследованиях с контрастным усилением					
	Обследованные лица		Средняя доза облучения одного работника, М±т, мЗв		Обследованные лица		Средняя доза облучения одного работника, М±т, мЗв			
	Кол-во	%	Медицинское (КТ)	Профессиональное	Суммарная доза	Кол-во	%	Медицинское (КТ)	Профессиональное	Суммарная доза
10. Класс XIV. (N00-N99)										
Болезни мочеполовой системы всего, из них	17	2,6	10,54±1,37	0,65±0,08	11,19	12	2,4	26,85±3,33	1,35±0,28	28,2
мужчины <45	8	6,2	11,36±2,35	0,93±0,08	12,29	2	3,1	23,55±1,03	0,48±0,03	24,03
мужчины ≥45	5	1,4	10,98±2,3	0,24±0,09	11,22	10	3,4	27,51±3,97	1,7±0,35	29,21
женщины <45	3	4,5	7,47±1,57	0,73±0,02	8,2	0	0	-	-	-
женщины ≥45	1	1,0	10,9	0,61	11,51	0	0	-	-	-
11. Класс XVIII. (R00-R99)										
Симптомы, признаки и отклонения от нормы, выявленные при клинических и лабораторных исследованиях, не классифицированные в других рубриках всего, из них	7	1,1	3,4±0,51	0,71±0,19	4,11	3	0,6	24,57±4,76	0,1	24,67
мужчины <45	3	2,3	3,77±0,95	1,19±0,05	4,96	2	3,1	21,65±6,19	0,1	21,75
мужчины ≥45	4	1,1	3,13±0,51	0,59±0,24	3,72	1	0,3	30,4	0,1	30,5
женщины <45	0	0	-	-	-	0	0	-	-	-
женщины ≥45	0	0	-	-	-	0	0	-	-	-

Продолжение таблицы Б.1

Классы заболеваний по МКБ*	При КТ-исследованиях без контрастного усиления				При КТ-исследованиях с контрастным усилением					
	Обследованные лица		Средняя доза облучения одного работника, М±т, мЗв		Обследованные лица		Средняя доза облучения одного работника, М±т, мЗв			
	Кол-во	%	Медицинское (КТ)	Профессиональное	Суммарная доза	Кол-во	%	Медицинское (КТ)	Профессиональное	Суммарная доза
12. Класс XIX. (S00-T99) Травмы, отравления и некоторые другие последствия воздействия внешних причин всего, из них	23	3,5	2,22±0,5	1,08±0,15	3,3	3	0,6	34,33±12,4	1,27±0,52	35,6
	7	5,4	2,39±0,41	1,72±0,17	4,11	3	4,7	34,33±12,4	1,27±0,52	35,6
	6	1,7	3,13±1,56	0,73±0,15	3,86	0	0	-	-	-
	2	3,0	3,35±1,87	0,81	4,16	0	0	-	-	-
	8	7,8	1,1±0,31	0,8±0,28	1,9	0	0	-	-	-
13. Класс XX (U00-U85) Временные обозначения новых диагнозов неясной этиологии или для использования в ЧС, всего из них	19	2,9	3,09±0,08	0,82±0,1	3,91	0	0	-	-	-
	3	2,3	3,23±0,12	0,98±0,05	4,21	0	0	-	-	-
	9	2,6	3,09±0,03	0,77±0,11	3,86	0	0	-	-	-
	4	6,0	3±0,33	0,33±0,03	3,33	0	0	-	-	-
	3	2,9	3,1±0,08	1,46±0,27	4,56	0	0	-	-	-

Продолжение таблицы Б.1

Классы заболеваний по МКБ*	При КТ-исследованиях без контрастного усиления				При КТ-исследованиях с контрастным усилением					
	Обследованные лица		Средняя доза облучения одного работника, М±т, мЗв		Обследованные лица		Средняя доза облучения одного работника, М±т, мЗв			
	Кол-во	%	Медицинское (КТ)	Профессиональное	Суммарная доза	Кол-во	%	Медицинское (КТ)	Профессиональное	Суммарная доза
14. Класс XXI (Z00-Z99) Факторы, влияющие на состояние здоровья и обращения в учреждения здравоохранения всего, из них	33	5,1	3,63±0,65	1,5±0,49	5,13	4	0,8	27,48±4,72	0,35±0,15	27,83
	13	10,0	2,81±0,25	0,81±0,30	3,62	0	0	-	-	-
	5	1,4	8,06±3,64	0,78±0,05	8,84	2	0,6	20,25±4,84	0,05	-6,9
	4	6,0	3,13±0,41	1,3±0,13	4,43	0	0	-	-	-
	11	10,7	2,77±0,2	2,6±1,28	5,37	2	1,7	34,7±3,68	0,64	5,84
	648	100	4,46±0,13	0,98±0,05	5,44	503	100	23,35±0,41	0,91±0,07	24,26
	130	100	3,85±0,32	1,14±0,69	4,99	64	100	24,40±1,55	1,14±0,69	25,54
	348	100	4,26±0,19	0,9±0,31	5,16	297	100	23,71±0,75	0,9±0,31	24,61
	66	100	3,61±0,45	0,72±0,05	4,33	26	100	14,73±2,13	0,72±0,05	15,45
	103	100	3,19±0,24	0,99±0,05	4,18	116	100	18,82±1,01	0,99±0,05	19,81

Таблица Б.2 – Основной и сопутствующий диагнозы пациентов из числа работников с болезнями органов дыхания J00-J99, которым выполнялось КТ с контрастным усилением сочетанной области ОГК, ОБП, ЗБП и ОМТ

№ п/п	Основной диагноз	Сопутствующий диагноз
1	J12.8 Другая вирусная пневмония	N20 Камни почки и мочеточника
2	J12.9 Вирусная пневмония неуточненная	C54. 9 Злокачественное новообразование тела матки неуточненной локализации D38.1 Новообразование неопределенного или неизвестного характера трахеи, бронхов и легкого D44.1 Новообразование неопределенного или неизвестного характера надпочечника
3	J18.9 Пневмония неуточненная	D50. 9 Железодефицитная анемия неуточненная I11.9: Гипертензивная болезнь с преимущественным поражением сердца без (застойной) сердечной недостаточности K31.9 Болезнь желудка и двенадцатиперстной кишки неуточненная
4	J40 Бронхит, не уточненный как острый или хронический	D38.1 Новообразование неопределенного или неизвестного характера трахеи, бронхов и легкого N40 Аденома предстательной железы
5	J41.0 Простой хронический бронхит	C16. 2 Злокачественное новообразование тела желудка
6	J42 Хронический бронхит неуточненный	C16. 2 Злокачественное новообразование тела желудка

Таблица Б.3 – Визуализация образований органов брюшной полости и забрюшинного пространства при КТ и МРТ по данным опроса экспертов

Характер выявляемого образования	Количество пар исследований КТ и МРТ		Количество экспертов с ответами*							
			КТ да МРТ да		КТ да МРТ нет		КТ нет МРТ да		КТ нет МРТ нет	
	БКУ	СКУ	БКУ	СКУ	БКУ	СКУ	БКУ	СКУ	БКУ	СКУ
Солидное	72	69	10	16	3	4	7	5	52	44
Кистозное	72	69	40	48	3	4	15	3	14	14
1 образование	72	69	14	14	13	13	4	2	41	40
2 и более	72	69	27	41	3	5	23	9	19	14
До 10 мм	72	69	10	29	5	8	24	9	33	23
10 мм и более	72	69	34	47	5	4	7	4	26	14

Примечание: * да – видно на исследовании, нет – не видно на исследовании.

ПРИЛОЖЕНИЕ В. Сведения о реализации результатов исследования

Таблица В.1 – Рекомендуемая форма протокола учета накопленной дозы у пациента при проведении лучевой диагностики

1. ФИО пациента _____						
2. Возраст _____						
3. Пол _____						
№	Дата исследования	Название медицинской организации	Вид исследования*	Область исследования	Значение первичного показателя для расчета эффективной дозы**	Эффективная доза за исследование (мЗв)***

Примечания: *– рентгенография, флюорография, рентгеноскопия, компьютерная томография (КТ);

** – при рентгенографии общего назначения, стоматологических рентгенологических исследованиях и маммографии – DAP, при КТ – DLP;

*** – при расчете эффективной дозы облучения используются дозовые коэффициенты из МУ 2.6.1.2944-11. «Ионизирующее излучение, радиационная безопасность. Контроль эффективных доз облучения пациентов при проведении медицинских рентгенологических исследований. Методические указания (в редакции 2.6.1.3584-19).

Таблица В.2 – Клинический чек-лист по лучевой диагностике

№	Раздел	Параметр	Варианты / формат ответа	Заполняет врач
1	Общие данные	ID пациента	Текст / номер	Лечащий
2		Возраст	Число (лет)	Лечащий
3		Пол	М / Ж	Лечащий
4	Радиационный риск	Накопленная профессиональная доза	мЗв (если известно)	Лечащий
5		Накопленная медицинская доза	мЗв (если известно)	Лечащий
6	Клиническая задача	Предварительный диагноз	Текст	Лечащий
7		Срочность исследования	Срочное / плановое	Лечащий
8	Характер исследования	Анатомическая область	ГМ/ ОГК / ОБП / ОМТ / сустав / позвоночник	Лечащий
9		Предполагаемое количество фаз КТ	1, 2, 3, 4	Рентгенолог
10	Противопоказания	Для КТ	Беременность, аллергия, ХБП	Лечащий / рентгенолог
11		Для МРТ	Имплантированные медицинские изделия, ХБП, клаустрофобия	Лечащий / рентгенолог
12	Характер предполагаемого патологического очага	Размер менее 10 мм	Да / нет	Рентгенолог
13		Количество очагов	1/ 2 и более	Рентгенолог



Рисунок В.1 – Свидетельство о государственной регистрации базы данных
«№ 2026622165 от 14.05.2026 г. (Маткевич Е.И., Удалов Ю.Д.)



Рисунок В.2 – Свидетельство о государственной регистрации программы «Программа ФОРМЕД - формирования медицинских рекомендаций по выбору метода лучевой диагностики с учетом комплекса радиобиологических факторов и особенностей визуализации патологии» № 2026664297 от 28.04.2026 г.

(Маткевич Е.И., Милтых И.)



Рисунок В.3 – Учебные пособия и методические рекомендации, разработанные по результатам исследования

Акты внедрения результатов диссертационного исследования

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального директора по науке –
начальник Управления радиационной медицины
ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И.Бурназяна
ФМБА России

А.Ю. Бушманов

«17» 06 2026 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ №..

Базы данных

«База данных диагностических признаков очаговых образований органов брюшной полости при выполнении парных лучевых методов исследований (КТ и МРТ с интервалом до 30 дней) для оптимизации диагностического и обучающего процессов»

г. Москва

«17» июня 2026 г.

Мы нижеподписавшиеся, руководитель Центра лучевой и радиоизотопной диагностики А.Н. Башков, заведующая кафедрой лучевой диагностики с курсом радиологии Е.А. Ионова, доцент кафедры лучевой диагностики с курсом радиологии Т.А. Аносова оформили настоящий акт внедрения о том, что в Центре лучевой диагностики ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России и на кафедре лучевой диагностики с курсом радиологии внедрена база данных «База данных диагностических признаков очаговых образований органов брюшной полости при выполнении парных лучевых методов исследований (КТ и МРТ с интервалом до 30 дней) для оптимизации диагностического и обучающего процессов».

База данных используется в научной и практической деятельности ординаторов кафедры и врачей рентгенологов при формировании представления о диагностической сопоставимости лучевых характеристик объёмных образований органов брюшной полости при использовании методов КТ и МРТ диагностики. Потенциальная область применения: многопрофильные медицинские организации, кафедры лучевой диагностики.

Члены комиссии:

Руководитель Центра лучевой и радиоизотопной диагностики

А.Н.Башков

Заведующая кафедрой лучевой диагностики
с курсом радиологии

Е.А. Ионова

Доцент кафедры лучевой диагностики
с курсом радиологии

Т.А. Аносова

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального директора по науке –
начальник Управления радиационной медицины
ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И.Бурназяна
ФМБА России

_____ А.Ю. Бушманов

« 17 » _____ 20 26 г.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ №..

Программы для ЭВМ

«Программа «ФОРМЕД» - формирования медицинских рекомендаций по выбору метода лучевой диагностики с учетом комплекса радиобиологических факторов и диагностических возможностей визуализации»

г. Москва

«17» июня 2026 г.

Мы нижеподписавшиеся, руководитель Центра лучевой и радиоизотопной диагностики А.Н. Башков, заведующая кафедрой лучевой диагностики с курсом радиологии Е.А. Ионова, заведующий отделением рентгенологии В.И. Дога оформили настоящий акт внедрения о том, что в Центре лучевой и радиоизотопной диагностики ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России и в отделении рентгенологии внедрена Программы для ЭВМ «Программа «ФОРМЕД» - формирования медицинских рекомендаций по выбору метода лучевой диагностики с учетом комплекса радиобиологических факторов и диагностических возможностей визуализации.

Программа «ФОРМЕД» - формирования медицинских рекомендаций по выбору метода лучевой диагностики с учетом комплекса радиобиологических факторов и диагностических возможностей визуализации» используется для поддержки принятия решения врачами клинических специальностей в согласовании с врачами рентгенологами при выборе метода лучевой диагностики (компьютерная томография или магнитно-резонансная томография) с учётом анамнестических, клинических и радиобиологических факторов. Потенциальная область применения: многопрофильные медицинские организации, центры реабилитации пациентов после ликвидации радиационных аварий.

Члены комиссии:

Руководитель Центра лучевой и радиоизотопной диагностики _____ А.Н.Башков

Заведующая кафедрой лучевой диагностики
с курсом радиологии

_____ Е.А. Ионова

Заведующий отделение рентгенологии

_____ В.И. Дога

"УТВЕРЖДАЮ"
 Первый проректор -
 проректор по научной работе РУДН
 д.м.н., профессор,
 Член-корреспондент РАН
 Костин А.А.



2026 г.

**Акт внедрения результатов научно-исследовательской работы
 «Оптимизация радиационных рисков путем совершенствования лучевой
 диагностики у персонала, работающего с техногенными источниками
 ионизирующего излучения»**

Наименование предложения: внедрить в учебный процесс ординаторов, аспирантов по специальности «Лучевая диагностика» результаты изучения оптимизации радиационных рисков путем совершенствования лучевой диагностики у персонала, работающего с техногенными источниками ионизирующего излучения.

Аннотация: Современный этап развития лучевой диагностики характеризуется значительным расширением спектра используемых методов визуализации, включая рентгенологические исследования, компьютерную томографию, магнитно-резонансную томографию, ультразвуковую диагностику и радионуклидные методы. В условиях роста доступности высокотехнологичных методов визуализации особую актуальность приобретает проблема обоснованного выбора диагностической тактики, обеспечивающей достижение максимальной клинической информативности при минимально возможной лучевой нагрузке на пациента. Исследование посвящено решению данной проблемы с позиции современной радиобиологии и радиационной гигиены - оптимизации лучевой диагностики. В работе обоснованно акцентировано внимание на сравнительном анализе возможностей методов компьютерной томографии и магнитно-резонансной томографии, а также на оценке перспектив их рационального сочетания в клинической практике. Впервые выполнена комплексная оценка радиационных рисков при лучевой диагностике у пациентов, из числа персонала, на основании анализа индивидуальных доз медицинского облучения при проведении компьютерной томографии, что позволило выделить группы повышенного риска с учетом пола, возраста и анатомической зоны сканирования. Впервые уточнены дозовые коэффициенты для расчета эффективной дозы из поглощенной при КТ исследованиях сочетанных анатомических областей. Обоснована необходимость применения специального подхода к оценке средних дозовых

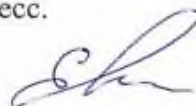
показателей при анализе малых выборок. В работе определены клинические ситуации и анатомические области, при которых дозовые нагрузки максимальны, показаны возможности замены компьютерной томографии на магнитно-резонансную томографию без снижения диагностической значимости.

Эффект от внедрения: внедренные учебно-методические разработки используются при подготовке медицинских специалистов, повышают уровень компетенций врачей-рентгенологов в раннем выявлении патологий без дополнительной лучевой нагрузки по сравнению со стандартными протоколами и улучшают обоснованность выбора методов визуализации в повседневной практике многопрофильных клиник. Слушатели программ повышения квалификации обучаются методам расчета стандартных эффективных доз облучения и оценки радиационных рисков при КТ-исследованиях.

Место использования предложения: кафедра лучевой диагностики и медицинской визуализации Факультета непрерывного медицинского образования медицинского института ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов им. П. Лумумбы»

Форма внедрения: внедрение в учебный процесс.

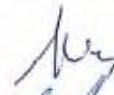
Автор: к.м.н. Маткевич Елена Ивановна.



Ответственный за внедрение предложения: к.м.н., доц. А.П. Дунаев



Зав. кафедрой лучевой диагностики и медицинской визуализации ФНМО МИ
РУДН им. П. Лумумбы
д.м.н., профессор



Ж.В. Шейх

Начальник управления образовательной политики,
кандидат психологических наук



Воробьева А.А.

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор
ФГБНУ НИИ медицины труда
имени академика Н.Ф.Измерова
доктор медицинских наук, профессор,
академик РАН

Бухтияров И.В.

« 15 » _____ 2026 г.

М.П.

АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов исследований Маткевич Елены Ивановны
на тему «Оптимизация радиационных рисков путем совершенствования
лучевой диагностики у персонала, работающего с техногенными
источниками ионизирующего излучения» в практику работы клиники
профессиональных и производственно обусловленных заболеваний
ФГБНУ НИИ медицины труда имени академика Н.Ф.Измерова.

Мы, нижеподписавшиеся, комиссия в составе председателя – заместителя директора Института по клинической и научной работе доктора медицинских наук Л. А. Стрижакова, и членов комиссии: заведующего отделением рентгенологических исследований и томографии врача-рентгенолога А. А. Славинского, врача-рентгенолога Э. И. Гилязовой подтверждаем, что результаты исследований автора Маткевич Елены Ивановны (ФГБУ «ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России», г. Москва, 123098, Москва, ул. Маршала Новикова, д. 23) на тему «Оптимизация радиационных рисков путем совершенствования лучевой диагностики у персонала, работающего с техногенными источниками ионизирующего излучения», изложенные в учебных пособиях

- «Использование лучевых методов исследований в практике многопрофильной клиники в интересах снижения воздействия ионизирующего излучения на пациентов. Учебное пособие. М.:ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2026.—48 с.»,

• «Магнитно-резонансная томография в отделении лучевой диагностики. Подготовка пациентов к исследованию. Учебное пособие. М.: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2026. – 66 с.»,

• а также в научной публикации «Оценка трудовой функции врачей-рентгенологов по описанию результатов магнитно-резонансной томографии / Е. И. Маткевич // Медицина труда и промышленная экология. – 2026. – Т. 66, № 1. – С. 56-63»,

применяются в практической работе отделения рентгенологических исследований и томографии клиники профессиональных и производственно обусловленных заболеваний ФГБНУ НИИ медицины труда имени академика Н.Ф.Измерова.

Использование данных материалов позволяет повысить уровень специальных знаний врачей-рентгенологов при освоении программ повышения квалификации. Изложенные в учебных пособиях разработанные Е.И. Маткевич алгоритмы выбора и назначения методов лучевой диагностики, успешно применяются врачебным персоналом клиники в целях совершенствования мероприятий по обеспечению радиационной безопасности пациентов. Внедрение методических разработок Е.И.Маткевич имеет важное научно-практическое значение – способствует формированию у врачей навыков обоснования рационального (с учетом минимизации последующих радиационных рисков) применения методов лучевой диагностики при обследованиях пациентов.

Председатель комиссии

Заместитель директора по научной и лечебной работе

доктор медицинских наук



Л.А. Стрижаков

Члены комиссии:

Заведующий отделением рентгенологических исследований и томографии, врач-рентгенолог



А.А. Славинский

Врач-рентгенолог отделения рентгенологических исследований и томографии



Э.И. Гилязова

**ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Практические рекомендации по оценке дозы облучения
пациентов при компьютерной томографии и их маршрутизации при выборе
методов лучевой диагностики
(СПРАВОЧНОЕ)**

Аннотация. В разработанных практических рекомендациях с радиобиологических позиций научно обосновываются пути применения и внедрения принципов МКРЗ «оптимизации» и «обоснования» радиационной защиты, что позволит снизить популяционный радиационный риск у пациентов, в том числе из числа персонала, работающего с источниками ионизирующего излучения. Практические рекомендации направлены на улучшение здоровья работников ФМБА, Росатома России, населения в целом и на достижение экономического эффекта от уменьшения популяционной дозы и радиационных последствий облучения в медицинских диагностических целях. Они предназначены врачам разных специальностей и врачам-рентгенологам для обоснования и оценке целесообразности использования компьютерной томографии (КТ) и магнитно-резонансной томографии (МРТ) в отделениях и центрах лучевой диагностики медицинских организаций.

Введение. В последние годы в медицинских организациях ФМБА России и в целом по стране значительно возросло количество компьютерных томографов и компьютерно-томографических исследований. Это позволяет улучшить диагностику заболеваний, но приводит к увеличению медицинских доз облучения персонала, работающего с источниками ионизирующего излучения (ИИИ). В связи с этим важно разрабатывать мероприятия по ее снижению.

В соответствие с нормативными документами по результатам периодического контроля доз облучения пациентов, рассчитанных по параметрам на консоли КТ-сканера, для каждой анатомической области и каждого КТ-сканера необходимо сопоставлять эти дозы с национальными референтными диагностическими уровнями (РДУ), анализировать и корректировать протоколы КТ-исследований в случае превышения РДУ.

I. Оценка дозы облучения пациентов при компьютерной томографии

В практической деятельности врача-рентгенолога центра лучевой диагностики рекомендуется:

- при статистической оценке доз облучения пациентов при КТ-диагностике в медицинской организации рассчитывать стандартные дозы (для пациента стандартной массы 70 кг) при сканировании каждой из основных анатомических областей тела по одной из трех методик оценки: 1) при наличии более 20 исследований по средним значениям доз в группе, 2) при наличии более 20 исследований по отобраным пациентам со стандартной массой тела 70-75 кг, 3) в случаях менее 20 исследований методом линейной аппроксимации для пациента 70 кг; это позволит корректно сравнивать эффективные дозы облучения пациентов для разных центров лучевой диагностики ФМБА России;
- периодически выполнять фантомную дозиметрию как со стандартными фантомами диаметром 16 и 32 см (что делается раз в год в рамках метрологической оценки), так и на тканеэквивалентном антропоморфном фантоме с использованием ТЛД-детекторов; при этом дозиметры должны быть откалиброваны не только по ^{135}Cs , но и по рентгеновскому излучению КТ-сканера (так для КТ сканера Тошиба-64 этот коэффициент составил 1,25);
- по результатам фантомной дозиметрии на антропоморфном тканеэквивалентном антропоморфном фантоме уточнять дозовый коэффициент на область сканирования ($\text{eIDLP мЗв}/(\text{мГр}\cdot\text{см})$) для всех используемых при лучевой диагностике КТ сканеров и областей сканирования, что позволит более точно оценивать эффективную дозу облучения пациента при выполнении данной процедуры (исследования).

II. Использование алгоритма снижения радиационных рисков при лучевой диагностике у персонала, работающего с техногенными ИИИ

В диагностической практике врача-рентгенолога центра лучевой диагностики необходимо:

- по материалам статистической отчетности медицинской организации периодически анализировать структуру заболеваний по МКБ-10 пациентов из числа работников, которые направляются на лучевую диагностику, чтобы выяснить, какие нозологии и области сканирования преобладают при лучевой диагностике;
- используя базу данных ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России оценивать дозы облучения по органам и по областям сканирования пациентов, ранжировать их по величине, с целью выявления КТ-исследований, при которых пациенты получают максимальную дозу облучения.

Для областей сканирования с максимальной дозой облучения пациентов, в том числе с рентгеновским контрастированием, применять новый разработанный на основе анализа радиобиологических закономерностей алгоритм снижения радиационных рисков при лучевой диагностике у персонала, работающего с техногенными ИИИ. В алгоритме исходными данными являются возраст, пол пациента, доза облучения в производственных условиях, суммарная доза облучения при предшествовавших медицинских обследованиях, область предполагаемого КТ-сканирования, указание на число фаз КТ-сканирования, предполагаемые диагноз и характер патологии. В качестве выходных параметров выводятся планируемая эффективная доза облучения, которую может получить этот пациент при КТ данной анатомической области, радиационный риск от этого КТ-сканирования, а также рекомендации врачу по методу лучевой диагностики, который будет диагностически информативен и позволит снизить радиационный риск за счет замены КТ на МРТ.

БЛАГОДАРНОСТИ

Материалы диссертации были получены в ходе комплексных исследований, проводимых в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна».

В заключение автор считает своим долгом выразить искреннюю благодарность Генеральному директору ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России доктору медицинских наук А.Ю. Удалову, руководству и сотрудникам центра, которые содействовали проведению диссертационной работы и ее завершению.

Благодарна научному консультанту доктору медицинских наук, профессору, члену-корреспонденту РАН А.С. Самойлову, который одобрил выбранное мной направление исследований, за его постоянную поддержку и ценные наставления.

От всей души благодарю за глубокий анализ диссертационной работы, внимательное отношение и полезные замечания официальных оппонентов: доктора медицинских наук, заслуженного врача РФ Лубашева Якова Александровича; доктора медицинских наук, профессора, заслуженного врача РФ, академика РАЕН Мешкова Николая Алексеевича; доктора медицинских наук, заслуженного деятеля науки РФ Сокольникова Михаила Эдуардовича.

Признательна за действенную помощь на всех этапах выполнения диссертационного исследования докторам медицинских наук, профессорам А.Ю. Бушманову, В.А. Резонтову, И.В. Иванову, Ж.В. Шейх, В.Е. Сеницыну. Благодарна доктору биологических наук Л.А. Чипиге, кандидату биологических наук А.В. Водоватову за критические замечания и советы, высказанные в процессе обсуждения материалов диссертации, врачу-рентгенологу кандидату медицинских наук Н.Ю. Класовской и ординатору И. Милтых за сотрудничество.

Хочу выразить благодарность всему коллективу Центра лучевой диагностики ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России и его руководителю кандидату медицинских наук А.Н. Башкову, А.Г. Сивенкову, П.П. Ганцовскому, другим сотрудникам лаборатории радиационно-гигиенических исследований и ее руководителю кандидату медицинских наук А.Г. Цовьянову за помощь в проведении дозиметрических экспериментов и плодотворное сотрудничество. Высоко ценю профессионализм научного коллектива ГБУЗ города Москвы «Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы».

Особые слова благодарности – моей семье за неизменную поддержку, терпение и вдохновение, без которых мне было бы трудно завершить эту работу.