

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

доктора медицинских наук

Москва – 2026

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна».

Научный консультант:

Самойлов Александр Сергеевич – доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН, руководитель научного направления ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова».

Официальные оппоненты:

Лубашев Яков Александрович – доктор медицинских наук, заслуженный врач РФ, начальник отдела лучевой диагностики, врач-рентгенолог Медицинского частного учреждения «Отраслевой клинко-диагностический центр ПАО «Газпром», профессор кафедры клинической медицины Университета «Реавиз»;

Мешков Николай Алексеевич – доктор медицинских наук, профессор, заслуженный врач РФ, академик РАЕН, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения «Российский научный центр рентгенорадиологии» Министерства здравоохранения Российской Федерации;

Сокольников Михаил Эдуардович – доктор медицинских наук, заслуженный деятель науки РФ, главный научный сотрудник, заведующий научно-исследовательской лабораторией исследований онкологических эффектов профессионального облучения Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Южно-Уральский федеральный научно-клинический центр медицинской биофизики» Федерального медико-биологического агентства России.

Ведущая организация: Медицинский радиологический научный центр имени А.Ф. Цыба – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения «Национальный медицинский исследовательский центр радиологии» Минздрава России (ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России), г. Обнинск Калужской области.

Защита состоится «26» ноября 2026 года в 10:00 часов на заседании диссертационного совета 68.1.003.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна» по адресу: г. Москва, ул. Живописная, д. 46. Тел.: +7 (495) 190-96-98.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России и на сайте: <https://fmbafmbc.ru/scientific-activities/dissertation-council>

Автореферат разослан 2026 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор медицинских наук

Шандала Н.К.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. В последние годы увеличивается численность работников (персонала) – лиц, которые постоянно или временно работают непосредственно с техногенными источниками ионизирующего излучения (ИИИ) на атомных электростанциях и радиационно опасных производствах (Государственный доклад Роспотребнадзора, 2026). Одновременно растет количество медицинских обследований этих лиц, при которых происходит их дополнительное облучение в малых дозах. 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 групп А и Б. Однако регламентируемые значения пределов доз облучения для персонала не включают в себя дозы, получаемые при проведении медицинских рентгенорадиологических процедур (СанПиН 2.6.1.2523-09).

Исходя из принципа оптимизации радиационной защиты, в проекте новых Норм радиационной безопасности в отличие от действующей редакции НРБ-99/2009 для отдельных категорий лиц планируется ввести верхнюю границу допустимых годовых доз медицинского диагностического облучения. К этим категориям относятся также работники (персонал) – лица, которые постоянно или временно работают непосредственно с техногенными ИИИ. Остаются неразработанными вопросы – чем и как заменять методы лучевой диагностики, сопровождающиеся облучением пациентов.

При оценке радиационного риска у населения к малым дозам ионизирующего излучения относят дозы, не превышающие 100 мГр (МР 2.6.1.0215-20). В радиобиологии существуют разные взгляды на эффекты малых доз – от обоснований их вреда и дополнительных радиационных рисков (Иванов И.В., 2010; Романович И.К. и др., 2023; Кашеев В.В., 2024; Мешков Н.А. и др., 2024, 2026; Ушаков И.Б. и др., 2026) до теории гормезиса и воззрений о том, что они не представляют опасности для здоровья человека (Котеров А.Н., 2023, 2025; Водоватов А.В. и др., 2025). Тем не менее, в настоящее время, в соответствии с рекомендациями Публикации 103 МКРЗ, принято руководствоваться концепцией беспорогового эффекта малых доз.

В диапазоне малых доз радиационные риски (с частотой до 0,1-0,3% от числа облученных лиц (МР 2.6.1.0215-20) по сравнению с рисками спонтанной онкологической смертности (14-16% во всей популяции) относительно невелики. Они должны приниматься во внимание, учитывая бóльшую выраженность хромосомных нарушений и летальных мутаций, индуцированных ионизирующим излучением, по сравнению со спонтанными, а также необходимость многократного проведения КТ-исследований у одного и того же пациента (при многофазных КТ-исследованиях и в динамике). Кроме того, важно учитывать постоянно увеличивающееся количество

таких исследований в целом по стране, а также возможное предшествующее облучение работников при ликвидации радиационных инцидентов.

Анализ показывает, что рост объёмов КТ-исследований является основным фактором увеличения дозы медицинского диагностического облучения в последние десятилетия. Исходя из вышеперечисленного, актуально создание регистров для учета вклада медицинского диагностического облучения в суммарную дозу облучения работников, профессионально связанных с техногенными ИИИ. В настоящее время подобные локальные регистры формируются (Осипов М.В., Сокольников М.Э., 2020; Котеров А.Н. и др., 2025), но для выбора метода лучевой диагностики на основе полученных доз 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 КТ 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 (Морозов С.П. и др., 2023), однако в них 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. Практическими врачами недостаточно используются возможности искусственного интеллекта вследствие отсутствия в автоматизированных программах по оценке радиационных рисков модулей для формирования рекомендаций в целях поддержки принятия решения врачом о выборе оптимального метода лучевой диагностики.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью получения надёжных оценок доз облучения пациентов, разработки алгоритма и рекомендаций по минимизации дозы медицинского диагностического облучения с сохранением диагностической информативности исследований в целях 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 проходящего лечение в многопрофильных клиниках ФМБА России.

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

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:

- 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 учёте 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 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 решения 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 ИИИ. 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 процесса.

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.

Методы исследования. Работа выполнялась в несколько этапов.

1. Анализ отечественной и зарубежной литературы по проблеме исследования.

2. Анализ базы данных о дозах при профессиональном облучении лиц из числа 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 диагностического облучения пациентов в 2020-2024 гг. при КТ-исследованиях и установление стандартных доз.

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.

9. 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 тканеэквивалентного фантома необходима для точного расчета эквивалентной дозы в органах и тканях при КТ с целью повышения точности оценки эффективной дозы облучения пациентов 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, планами. Диссертационная работа выполнена в соответствии с планом научных работ ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России в рамках 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 09.04.2026 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 исследования.

Достоверность исследования основана на большом массиве данных о средних дозах медицинского диагностического облучения в 2020-2024 гг., полученных при 9 182 КТ-исследованиях по 9 анатомическим областям сканирования у пациентов клиники, 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 эквивалентных доз в органах и тканях при фантомной дозиметрии, средних эффективных и стандартных доз облучения пациентов при КТ, а также регрессионный анализ – для оценки зависимостей дозы облучения пациентов от их массы тела. 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 опубликовано 51 научная работа, из них 26 – в рецензируемых научных изданиях, 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.

Объём 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.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Объекты и объём исследования

Объектами исследования являлись диагностические КТ- и МРТ-исследования, оценку количества которых проводили по данным годовой отчетности за 2020-2024 гг. на основании формы статистического наблюдения № 3-ДОЗ «Сведения о дозах облучения пациентов при проведении медицинских рентгенорадиологических исследований» и формы № 30 «Сведения о лечебно-профилактическом учреждении», и численность персонала, работающего с техногенными ИИИ, которую оценивали по данным формы статистического наблюдения № 1-ДОЗ «Сведения о дозах облучения лиц из персонала в условиях нормальной эксплуатации техногенных источников ионизирующих излучений» за тот же период.

Предметом исследования являлись уровни профессионального облучения персонала, работающего с техногенными ИИИ, и их медицинского облучения при прохождении ими КТ-исследований. При этом оценивали эффективную дозу облучения, рассчитывали значения стандартной дозы по двум методам: согласно методическим указаниям МУ 2.6.1.2944-11 (в редакции 2019 г.) и по дополнительному методу. Эквивалентные дозы на органы и ткани оценивали с использованием антропоморфного тканеэквивалентного фантома; дозиметрические измерения проводились на термолюминесцентном комплексе «ДВГ-02ТМ». Диагностическая сопоставимость парных КТ- и МРТ-исследований проводилась на основе клинических рекомендаций МЗ РФ путем экспертной оценки, выполненной восемью врачами-рентгенологами с опытом работы от 3 до 20 лет из отделений КТ и МРТ центра лучевой диагностики. Оценку трудовой функции врача-рентгенолога А/01.8, входящую в состав профессионального стандарта врача-рентгенолога, проводили с использованием разработанной бальной шкалы сложности МРТ-описаний. Экономическую эффективность от внедрения алгоритма снижения радиационных рисков при лучевой диагностике оценивали согласно НРБ-99/2009 по

эквиваленту экономического ущерба от облучения в дозе 1 чел-Зв сумме годового душевого национального дохода с учетом расходов на проведение МРТ по Тарифному соглашению обязательного медицинского страхования для г. Москва.

Материал и методы исследования

В ходе проведенного исследования были проанализированы дозы облучения в производственных условиях и при КТ-исследованиях у 658 пациентов из числа персонала, поступившего 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 137 188 пациентов, из них 86 479 пациентов (135 664 процедуры) 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. При сравнении трех методов расчёта стандартных доз облучения пациентов при КТ основных анатомических областей тела (голова, ОГК, ОБП, ОМТ) за 2024 год были сформированы 3 выборки: 1) 4 854 КТ-исследований пациентов с массой тела от 40 до 160 кг; 2) 1 203 КТ-исследований отобранных «стандартных» пациентов с массой тела 70 ± 5 кг, 3) 4 234 КТ-исследований пациентов с массой тела от 40 до 160 кг для расчетов стандартных доз по методу линейной аппроксимации.

Проведена экспертная оценка сопоставимости результатов КТ- и МРТ-исследований в 2024-2026 гг. у 106 пациентов (из них 54 мужчин и 52 женщины) в возрасте 21-82 года (всего 692 исследования по проанализированным органам сочетанной анатомической области).

Общие сведения о количестве исследований и распределение их по основным направлениям представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Распределение обследованных лиц по направлениям исследования

№ п/п	Направления (задачи) исследования	Подгруппы исследований	Кол-во лиц/ исследований	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 объёма лучевой диагностики при КТ и МРТ за 2020-2025гг. 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

Продолжение таблицы 1

№ п/п	Направления (задачи) исследования	Подгруппы исследований	Кол-во лиц/ исследований	Исследуемые показатели
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 4 008	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
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
4	Проанализировать и сравнить диагностические возможности КТ и МРТ методов лучевой диагностики 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 Поджелудочная 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.

Дозы облучения в производственных условиях установлены у 658 работников 23-65-летнего возраста (496 мужчин, 162 женщины), поступивших для диагностики и лечения в ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России в 2020-2024 гг. При сопоставительном анализе доз облучения при КТ-исследованиях сравнивали показатели пациентов из числа персонала, работающего с техногенными ИИИ, за 2020-2024 гг. и пациентов в 2024 г. (таблица 2).

Таблица 2 – Общие сведения об обследованных на КТ-сканерах пациентах из числа работников (за 2020-2024 гг.) и всех остальных пациентах клиники (2024 г.)

Показатели	Работники 2020-2024 гг.		Пациенты 2024 г.	
	КТ БКУ	КТ СКУ	КТ БКУ	КТ СКУ
Общее кол-во КТ-исследований	1 151		9 182	
Из них количество / доля (%) КТ-исследований	648 / 56,3%	503 / 43,7%	4 314 / 47%	4 868 / 53%
Количество / доля (%) КТ-исследований у мужчин	478 / 57%	361 / 43%	2 047 / 51,5%	1 927 / 48,5%
Количество / доля (%) КТ-исследований у женщин	170 / 54%	142 / 46%	2 267 / 43,5%	2 941 / 56,5%
Общее число обследованных лиц	658		5 728	
Из них число и доля (%) обследованных мужчин/женщин	496 (75,4%) / 162 (24,6%)		2441 (42,6%) / 3287 (57,4%)	
Возраст всего, М±m, лет	54,7±0,53		58,9±0,21	
Возраст мужчин, М±m, лет	54,8±0,65	57,2±0,65	56,5±0,38	60,9±0,32
Возраст женщин, М±m, лет	49,3±1,04	54,0±0,79	57,9±0,36	60,2±0,25
Масса тела всего, М±m, кг	82,0±1,16		78,0±0,31	
Масса тела мужчин, М±m, кг	86,2±0,71	84,8±0,87	86,9±0,61	83,5±0,4
Масса тела женщин, М±m, кг	69,1±1,1	73,3±1,24	72,0±0,35	72,5±0,4

В качестве исходных показателей для расчетов дозы облучения пациентов использовали CTDIvol (мГр) и DLP (мГр·см), которые после каждого КТ-исследования выводились на консоль КТ-сканера (рис. 1).

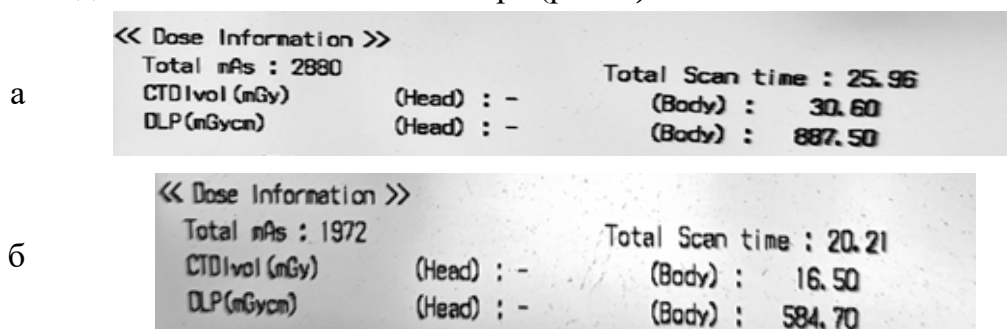


Рисунок 1 – Отчеты на консоли КТ сканера о значениях поглощенных доз CTDIvol и DLP при КТ-1 (а) и КТ-2 (б).

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 дозы на длину сканирования) – расчетный параметр, который отражает поглощенную дозу облучения при исследовании и вычисляется путем умножения CTDIvol (мГр) на протяжённость (см) сканируемой области тела.

В соответствии с МУК 2.6.7.3652-20 и с утвержденными методиками МУ 2.6.1.2944-11 (в редакции 2019 г.) на основании DLP рассчитывалась эффективная доза (Е, мЗв) с учетом коэффициента радиочувствительности органов и тканей (анатомической области) по стандартной формуле (1):

$$E = \sum DLP_i \cdot e_{DLP}^i, \text{ мЗв}, \quad (1)$$

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

Фантомная дозиметрия проведена с использованием гетерогенного антропоморфного фантома RANDO и детекторов ДТГ-4 из термолюминесцентных дозиметров (ТЛД) DTU-1 на основе кристаллического фтористого лития (LiF), активированного Mg, Ti. Используемый фантом (рис. 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 лёгких, с учетом стандартов ICRU-44; состоит из 35 горизонтальных слоёв, каждый слой толщиной 2,5 см содержит отверстия и гнёзда для установки детекторов. В гнёзда слоев фантома (рис. 3), устанавливались 95 детекторов, которые были равномерно распределены по 6 анатомическим областям: голова, шея, органы грудной клетки (ОГК), органы брюшной полости и забрюшинного пространства (ОБП и ЗБП), органы малого таза (ОМТ). В парных органах детекторы устанавливали в правой и левой половинах фантома в равных количествах.

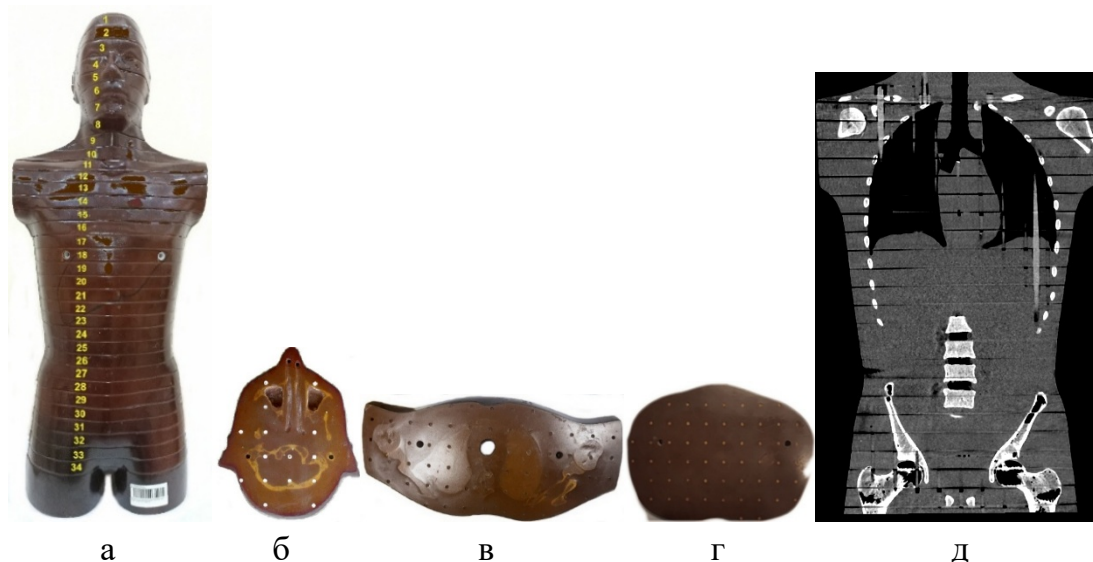


Рисунок 2 – Гетерогенный, антропоморфный фантом мужской типа: а – фантом в собранном виде; б – голова; в – верхняя треть легких, г – уровень малого таза; д – вид торса фантома при КТ-сканировании.

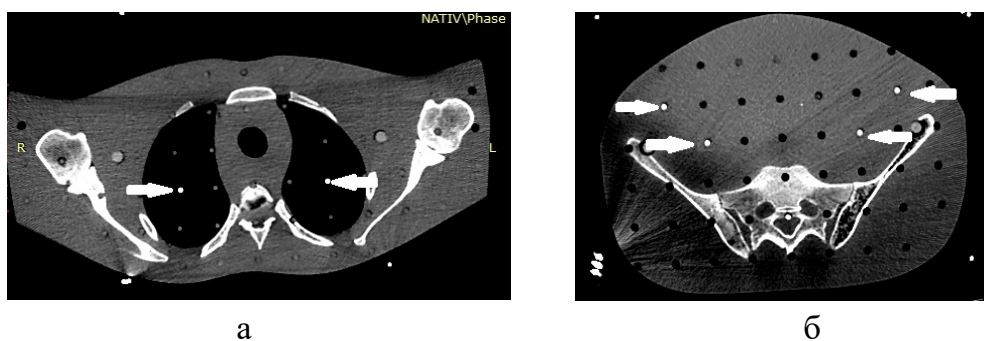


Рисунок 3 – Пример расположения детекторов на КТ изображениях фантома:
 а – КТ-изображение на уровне 11-го слоя фантома (верхушка лёгких),
 б – КТ-изображение на уровне 27-го слоя фантома (на уровне седалищных костей) в проекции гонад (яичников); стрелками указаны установленные детекторы.

Измерения дозы облучения при фантомной дозиметрии проведены на 64-срезовом КТ-сканере Toshiba Aquilion 64 при стандартных протоколах компьютерной томографии двух сочетанных областей тела: КТ-1 (органы грудной клетки, брюшной полости и малого таза) и КТ-2 (органы брюшной полости и малого таза).

После каждого КТ-исследования ТЛД-детекторы извлекали из фантома и на комплексе «ДВГ-02ТМ» для каждого детектора измеряли количество светового излучения (светосумма). Затем его переводили в поглощенную дозу (мГр) и по ней рассчитывали эквивалентную дозу (взвешивающий коэффициент рентгеновского излучения ($WR=1,0$)). В последующем были определены эффективные дозы (E) как суммы вклада доз органов и тканей, вычисленных с использованием взвешивающих коэффициентов ткани (W_T) в соответствии с НРБ-99/2009 и с ICRP-103 (табл. 3).

Таблица 3 – Размещение ТЛД детекторов и взвешивающие коэффициенты тканей для расчета дозы облучения органов и тканей

№	Орган / ткань	Номера слоёв фантома	Количество детекторов	Взвешивающий коэффициент ткани	
				НРБ-99/2009	ICRP- 103
1	Гонады (яичники и семенники)	26-29, 34	6	0,2	0,08
2	Красный костный мозг	14-16, 28-30	7 ^{а)}	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 ^{б)}	0,01	0,01
11	Клетки костной поверхности	14-16, 28-30	7 ^{а)}	0,01	0,01
12	Остальное ^{с)}	1-5, 16-18, 31-33	19	0,05	0,12
13	Всего	1-35	95/ 102 ^{д)}	1,0	1,0

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

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

- с) – 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;
- д) – количество детекторов с учетом того, что их показания были использованы дважды для оценки дозы разных тканей.

Расчеты и сопоставления стандартной дозы (СД) пациентов за 2024 год выполнены с использованием трех статистических методов:

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

$$\text{СД} = a + b \cdot X, \quad (2)$$

где СД – стандартная доза облучения пациента массой тела 70 кг при КТ-исследовании анатомической области n , мЗв;

a , b – коэффициенты уравнения регрессии, рассчитанные для основных анатомических областей;

X – масса тела «стандартного» пациента 70 кг.

Радиационный риск оценивали с использованием коэффициентов для групп по полу, возрасту и области сканирования (голова, ОГК+ОБП) на 100 000 человек на 1 мЗв. Для смежной области ОГК+ОБП+ЗБП+ОМТ коэффициент радиационного риска принят равным области ОГК в связи с тем, что он имеет наибольшее значение в совокупности эффектов. Использовали градации радиационного риска (минимальный, очень низкий, низкий, умеренный), установленные согласно МР 2.6.1.0215-20.

КТ-исследования пациентам из числа персонала, работающего с техногенными ИИИ, и всем пациентам клиники выполнялись на трех томографах с использованием параметров протоколов, применяемых в типичной клинической практике учреждения (табл. 4); 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 4 – Характеристика КТ-томографов и параметры использованных протоколов

Параметры	Значение параметров 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

МРТ-исследования выполнялись на четырех МРТ-сканерах: Siemens (напряженность магнитного поля 1,5 Т) и GE (напряженность магнитного поля 3 Т). Использовали режимы сканирования: T1, T2, DWI/ADC, STIR, T1 FS Dixon.

В рамках работы проводился анализ данных медицинской статистики в ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России в период 2020-2025 гг. по общему количеству КТ- и МРТ-исследований и процедур, проведенных по анатомическим областям и по основным классам (II-XXI) нозологий МКБ-10. При этом под КТ-исследованием подразумевается полный цикл обследования определенного органа (части тела) пациента, который может включать несколько процедур (сканирований). При применении внутривенного контрастирования КТ-исследование могло включать от двух до четырех процедур (фаз) в зависимости от клинической задачи. МРТ-исследование одной анатомической области соответствует одной процедуре и общее количество МРТ-исследований соответствует общему количеству пациентов.

При экспертных оценках сопоставимости визуализации патологии при КТ- и МРТ-исследованиях использованы данные из архива ЦЛД ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России. Учитывая, что часть КТ-исследований включала нативные и контрастные процедуры сканирования, общее число проанализированных исследований для экспертной оценки 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.

При разработке методик оценки трудовой функции по интерпретации результатов МРТ-исследований врачом-рентгенологом использовались два подхода:

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

При этом основывались на среднем количестве МРТ-описаний врачом отделения за полугодие, за месяц и за смену. Выполнены расчёты средней нормы объёма 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.

В обработку включены все виды МРТ-диагностики, проводимые в отделении, без и с контрастным усилением (БКУ и СКУ соответственно). При расчетах использована медицинская информационная система (МИС) ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России.

Экономический эффект от снижения дозы облучения пациентов из числа персонала, работающего с ИИИ, на 1 чел-мЗв (W , руб.) за 1 год рассчитывали по формуле (3):

$$W = 1 \text{ Зв} \cdot \text{ДНД} \cdot D_{\text{разн}} / 1000, \quad (3)$$

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

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

$D_{\text{разн}}$ – разность дозы облучения 1 пациента между дозой при использовании для лучевой диагностики только КТ и дозой без использования при лучевой диагностике КТ или с уменьшением числа процедур КТ, в том числе 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 (4):

$$Z = \sum W_1 \cdot n, \quad (4)$$

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 которых доза облучения была снижена на $D_{\text{разн}}$.

При расчете экономической эффективности от снижения доз облучения пациентов при замене КТ на МРТ учитывали разницу в стоимости тарифов.

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 производили по критерию достоверности Стьюдента при $p \leq 0,05$. Для показателей с распределением, отличающимся от нормального, рассчитывали медиану, 25% и 75% квантили

(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, распределении показателей по полу, возрасту, области сканирования и дозе облучения за исследование вычислялись доли (%) их значений в общей структуре. Были рассчитаны коэффициенты уравнений регрессии для оценки зависимостей дозы облучения от массы тела пациентов с целью вычисления стандартной дозы для пациента массой 70 кг.

При статистической обработке результатов оценок экспертов по визуализации патологии при КТ и МРТ рассчитывали долю совпадений (%) в обнаружении патологии при этих методах, а также коэффициенты (κ) по шкале Fleiss для оценки уровней согласованности между экспертами: 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 при КТ с оценкой при 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. При статистических расчетах использованы программы Microsoft Excel пакета Office 2016 и STATISTICA v.10.0.

Результаты исследования

Дозы облучения и радиационные риски у персонала, работающего с техногенными источниками ионизирующих излучений, в производственных условиях и при компьютерной томографии в 2020-2024 гг.

Анализ профессиональных доз облучения у 658 работников, направленных в ЦЛД для проведения КТ (рис. 4), 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).

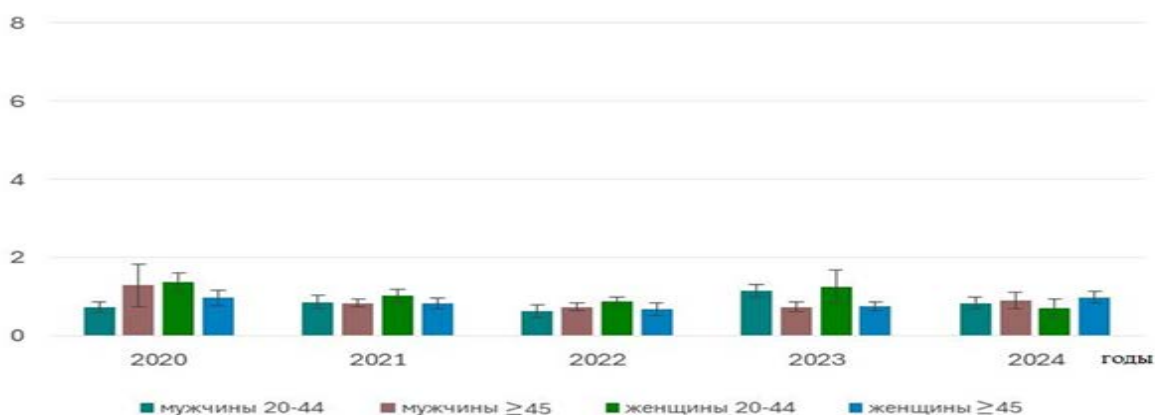


Рисунок 4 – Средние дозы облучения персонала в производственных условиях за год в зависимости от пола и возраста за 2020-2024 гг., $M \pm m$, мЗв; по оси абсцисс – календарный год, по оси ординат - доза профессионального облучения, мЗв.

При этом дозы облучения мужчин 20-44 лет были в основном ниже, чем у мужчин 45 лет и старше, а у женщин 20-44 лет преимущественно выше, чем у женщин 45 лет и старше. Как видно, дозы облучения работников, полученные в производственных условиях, во всех группах по полу и возрасту были ниже нормативных значений (НРБ-99/2009). При таких уровнях производственного 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/50 лет).

Согласно международным рекомендациям по радиационной защите персонала, при уровнях облучения, не превышающих установленные пределы, специальные медицинские обследования и лечение не требуются. Достаточным является анализ причин формирования доз и контроль условий труда. Ведется учет индивидуальных доз облучения персонала и их долговременное хранение в федеральном банке данных по индивидуальным дозам облучения персонала организаций (ФБД ДОП). При этом важно подчеркнуть, что суммарная лучевая нагрузка работников включает дозы облучения не только в условиях производственной деятельности, но и при прохождении медицинских диагностических процедур. При предварительных и периодических медицинских осмотрах у персонала методы обследования с лучевой нагрузкой, как правило, не применяются, они используются при диагностике и лечении заболеваний. В отличие от профессионального облучения, медицинское облучение не подлежит нормированию (НРБ-99/2009), его требуется ограничивать лишь при превышении у пациента накопленной годовой эффективной дозы 500 мЗв (СанПиН 2.6.4115-25).

В ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России за 2020-2024 годы у 658 работников, занятых на производствах с техногенными ИИИ, было выполнено всего 1 151 КТ-исследование. Результаты оценки эффективных доз (мЗв) облучения персонала и пациентов за одно КТ-исследование по анатомическим областям по всем КТ-сканерам представлены в таблице 5. Как видно, при КТ от 2020 к 2024 г. дозы облучения изменялись незначительно, при КТ БКУ дозы составляли от 1,0 до 13,2 мЗв, при КТ СКУ дозы были больше и составляли от 2,8 до 29,4 мЗв. Отмечено также следующее:

1) выявляется несомненная зависимость эффективной дозы облучения пациента от анатомической области и пропорциональность дозы облучения протяженности области КТ-сканирования: голова – 1,1-2,42 мЗв, ОГК – 3,6-11,05 мЗв, ОБП+ОМТ – 7,9-22,5 мЗв, ОГК+ОБП+ОМТ – 14,9-32,55 мЗв;

2) эффективные дозы облучения за одну фазу при КТ БКУ и КТ СКУ сопоставимы, при этом дозы за всё КТ-исследование с контрастным усилением в 1,5-3,0 раза выше, чем при КТ без контрастного усиления;

3) эффективные дозы облучения при КТ пациентов из числа персонала практически не отличаются от доз облучения остальных пациентов клиники ($p \leq 0,05$) и близки к уровням РДУ для России.

Таблица 5 – Оценка эффективной дозы облучения персонала и пациентов (мЗв) за одно КТ-исследование по анатомическим областям по всем КТ-сканерам (Me [25th, 75th], мЗв) 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 ЗБП 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, ЗБП 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 [5];

** – средние дозы за одно КТ-исследование по выборке профессионалов за каждый год соответственно в ЦЛД ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России;

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

Дозы на органы и ткани по результатам фантомной дозиметрии

По результатам оценки эквивалентной дозы (табл. 6) к органам и тканям с наибольшим вкладом в эффективную дозу облучения пациентов можно отнести гонады, красный костный мозг, толстый кишечник, лёгкое и желудок, эквивалентные 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 составляли соответственно 76,2% и 71,8%. На вторую по величинам эквивалентных 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 приходилось 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 приходилось соответственно 3,8% и 8,7%.

Таблица 6 – Оценка эквивалентных доз органов и тканей и их вклад в эффективную дозу по результатам фантомной дозиметрии при экспериментальных исследованиях КТ-1 и КТ-2

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

Сравнение доз, рассчитанных с учетом различий взвешивающих коэффициентов тканей, показало, что для гонад эквивалентная 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 эквивалентные дозы при оценке по НРБ-99/2009 и по рекомендациям ICRP-103 совпадают между собой или близки.

Сравнение эквивалентных доз облучения органов и тканей между двумя экспериментальными КТ-исследованиями (табл. 7) показало увеличение дозы облучения красного костного мозга и лёгких при КТ-1 (сочетанная зона сканирования

с захватом ОГК) по сравнению с КТ-2 (сочетанная зона сканирования без захвата ОГК): эквивалентная доза облучения увеличилась в красном костном мозге с $9,0 \pm 1,6$ мЗв до $20,7 \pm 1,4$ мЗв, в лёгких – с $5,6 \pm 1,2$ мЗв до $15,8 \pm 1,7$ мЗв. Для остальных органов и тканей (гонады, толстый кишечник, желудок, мочевого пузыря и др.), расположенных в зонах сканирования одинаковых для КТ-1 и КТ-2, значения эквивалентных доз были близки.

Как видно из таблицы 7, эффективные дозы, рассчитанные по результатам фантомных измерений, превышают значения, полученные исходя из поглощенной дозы (DLP) на консоли КТ-сканера: при КТ-1 – в 1,3 раза по НРБ-99/2009 и в 1,12 раза по ICRP-103; при КТ-2 – в 1,38 раза и 1,13 раза, соответственно. То есть превышения E при фантомных измерениях по сравнению с оценками 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 и из ICRP-103 – 12-13%.

Таблица 7 – Сопоставление доз, рассчитанных по значениям DLP на консоли КТ-сканера и по результатам фантомной дозиметрии, при КТ-1 и КТ-2

КТ-исследование	Расчеты E 1 ^{а)} по данным на консоли КТ-сканера				Расчеты E 2 и E 3 по данным фантомной дозиметрии, мЗв		Разность ^{д)} с консолью, мЗв		e^i_{DLP} по результатам фантомной дозиметрии, мЗв/(мГр·см)	
	CTDIvol (мГр)	DLP, мГр·см	e^i_{DLP} мЗв/(мГр·см) МУ 2.6.1.2944-11	E ^{а)}	E 2 ^{б)} НРБ-99/2009	E 3 ^{в)} 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: ^{а)} E 1 – эффективная доза рассчитана по данным DLP на консоли КТ-сканера с использованием взвешивающих коэффициентов для анатомической области из МУ 2.6.1.2944-11;

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

^{в)} E 3 – эффективная доза рассчитана на основании фантомной дозиметрии с использованием взвешивающих коэффициентов органов и тканей из ICRP-103;

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

Сопоставление методик расчета стандартных доз облучения

В таблице 8 сопоставлены стандартные дозы (СД) 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.

Для большинства анатомических областей (ОГК, ОБП, смежные области) СД, 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 ($p < 0,001$). Это может быть связано с тем, что в общей выборке средняя

масса тела пациентов в 1,1-1,2 раза превышала массу «стандартного пациента» (70 ± 5 кг). Для областей «Голова», «Шея и Кости», «суставы и мягкие ткани конечностей» зависимости дозы облучения от массы тела пациента не выявлено.

Таблица 8 – Стандартные дозы облучения ($Me [25^{th}, 75^{th}]$, мЗв) в группе пациентов 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	-
8. Кости, суставы и мягкие ткани конечностей	СД	2,2 [0,4;4,3]	2,65 [1,0;3,7]	-	-
	M $\pm$ m	79,3 $\pm$ 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 $\pm$ m	77,8 $\pm$ 1,56	70	75,7 $\pm$ 0,34	70
	N	162	38	2065	551
Всего	N	1932	445	2922	758

Примечания:

СД – стандартная доза облучения ($Me [25^{th}, 75^{th}]$), мЗв;

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

метод 2 – оценка по 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.

С использованием метода 3 были выполнены расчеты СД облучения пациентов, которым выполнялись КТ-исследования для ОГК и сочетанной области ОГК+ОБП+ЗБП+ОМТ, при этом СД определялись как E , мЗв для пациента массой 70 кг по рассчитанным моделям линейной аппроксимации зависимости дозы облучения от массы тела пациентов для этих анатомических областей при КТ без КУ и КТ с КУ (рис. 5). Метод 3 может применяться для вычисления СД при КТ анатомических областей, когда недостаточно наблюдений для использования методов 1 и 2.

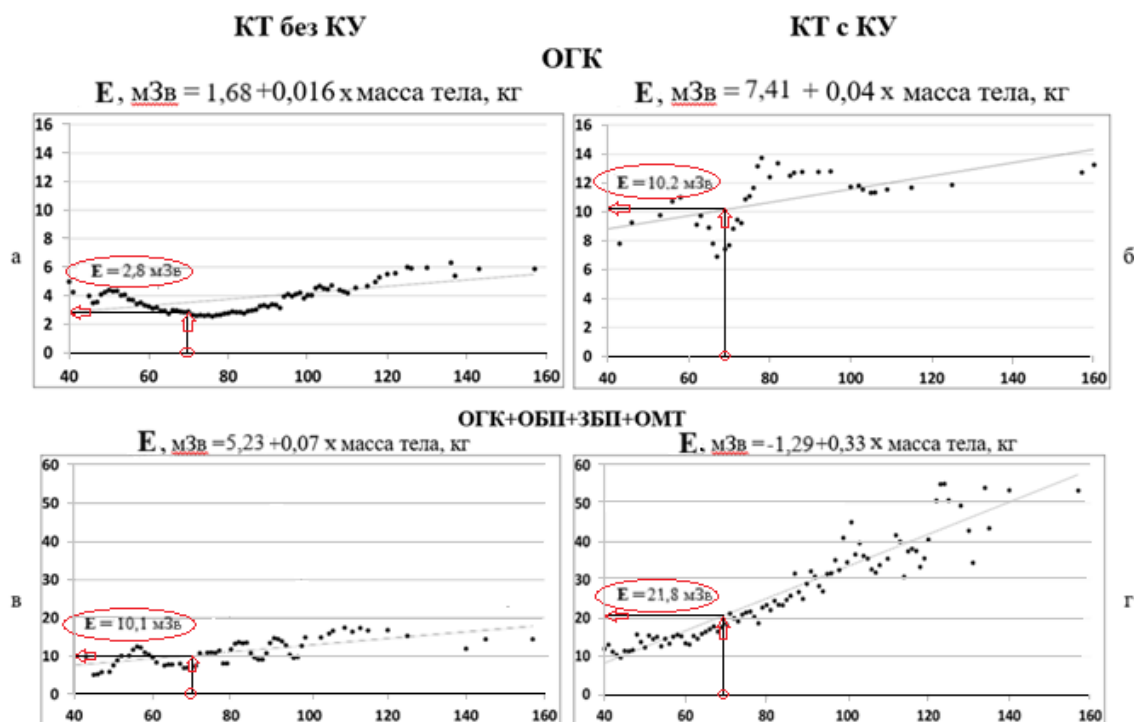


Рисунок 5 – Модели линейной аппроксимации для зависимостей эффективной дозы облучения (E , мЗв) от массы тела пациента (кг) при КТ БКУ (а, в) и при КТ СКУ (б, г) в 2024 г.; по оси абсцисс – масса тела пациента (кг); по оси ординат – эффективная доза облучения (мЗв) за одно КТ-исследование.

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. и коэффициентов пожизненного риска смерти на 1 мЗв (МР 2.6.1.0215-20) были выполнены расчеты средних значений рисков отдаленных последствий для мужчин и женщин в зависимости от возраста по основным анатомическим областям (табл. 9). Как видно, для большинства работников в условиях профессиональной деятельности риск оставался на «очень низком» и «минимальном» уровнях. Радиационные риски увеличивались по сравнению профессиональными при КТ без контрастного усиления с «очень низкого» (1-10 случаев на 10^5) до «низкого» (>10-100 случаев на 10^5), а при КТ с контрастным усилением – с «очень низкого» до «низкого» (>10-100 случаев на 10^5) и «умеренного» (>100-300 случаев на 10^5), особенно при сочетанных областях ОГК, ОБП, ЗБП и таза.

Таблица 9 – 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
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

Примечание: * 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: М – минимальный, ОН – очень низкий, Н – низкий, У – умеренный.

Однако, даже при соблюдении референтных значений доз облучения при КТ, риск отдаленных последствий для персонала при суммарной дозе облучения от профессиональной деятельности и при КТ-исследованиях значительно выше, чем от нормированных доз облучения только при профессиональной деятельности (рис. 6а), особенно при сочетании КТ ОГК, ОБП, ЗБП и таза (рис. 6.б). Риск увеличивается с уровня «очень низкий» до уровней «низкий» и даже «умеренный» в большей мере у лиц женского пола по сравнению с мужчинами, а также при молодом возрасте (20-24 года), особенно при КТ СКУ (рис. 6в).

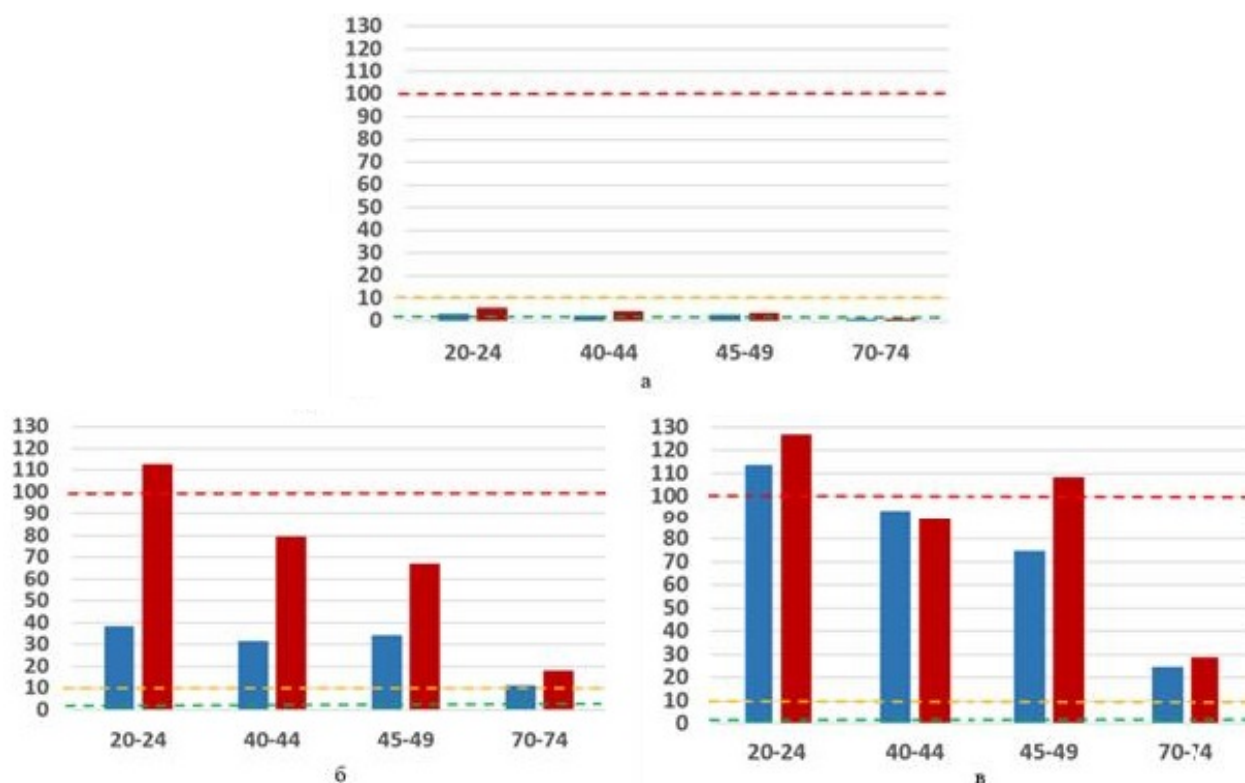


Рисунок 3.4 – Риск отдаленных последствий для персонала от доз облучения при профессиональной деятельности (а), при суммарной дозе облучения от профессиональной деятельности и при КТ-исследованиях сочетанной области (ОГК, ОБП, ЗБП и таза) без КУ (б) и с КУ (в) в зависимости от пола и возраста; по оси абсцисс – группы по возрасту (лет), по оси ординат – дополнительных случаев отдаленных последствий от облучения на 10^5 человек; пунктиром показаны границы градаций уровней рисков (случаев на 10^5 человек: >1-10 – «очень низкий», >10-100 – «низкий», >100-300 – «умеренный».

■ Мужчины ■ Женщины

Оценка общего количества КТ- и МРТ-исследований и структуры нозологий персонала, работающего с техногенными ИИИ, направленного на лучевую диагностику.

В ЦЛД ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России за 2020-2025 гг. всего было обследовано 137 188 пациентов. Им выполнили 135 664 КТ- и 50 639 МРТ-процедур (табл. 10).

Таблица 10 – Количество процедур и пациентов при КТ-исследованиях за 2020-2025 гг.

Показатели / годы	2020	2021*	2022	2023	2024	2025	Всего
Количество КТ 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
Количество КТ процедур на 1 пациента	1,43	1,16*	1,76	1,91	1,59	1,61	1,57

Примечание: * в год эпидемии COVID-19 преобладали однофазные КТ-исследования ОГК из 1 процедуры.

В результате анализа установлено увеличение общего количества КТ-процедур с 2020 к 2025 г. с 13 806 до 31 315 (рис. 7) или в 2,27 раза, то есть в 2025 г. относительно 2020 г. прирост составил 17 509 КТ-процедур (126,8%).

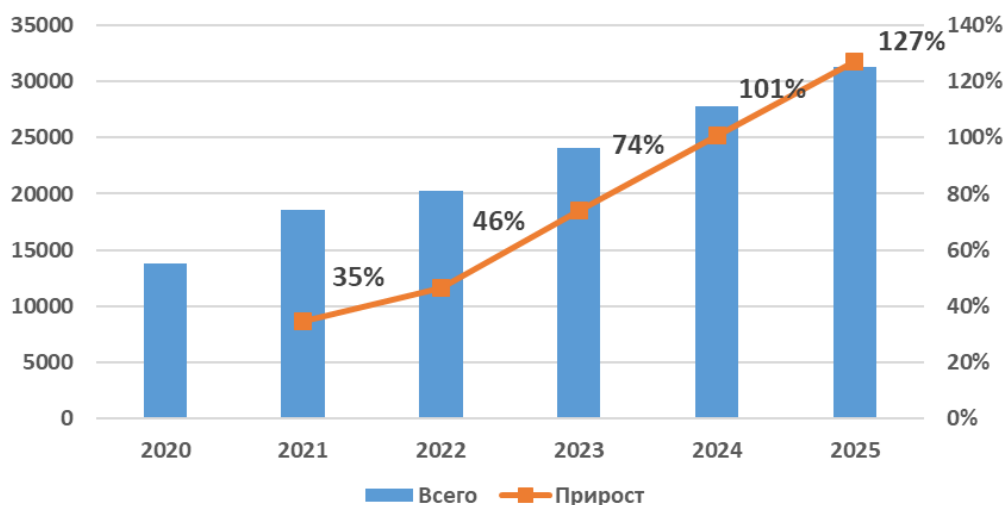


Рисунок 7 – Динамика общего количества КТ-процедур в 2020-2025 гг.; по оси абсцисс – календарный год, по осям ординат: слева – количество КТ-процедур, справа – прирост количества КТ-процедур к 2020 году (%).

При анализе количества МРТ-исследований (табл. 11) установлено их ежегодное увеличение с 5 589 в 2020 г. до 11 146 в 2025 г.; прирост в 2025 г. относительно 2020 г. составил 102 % (рис. 8).

Таблица 11 – Количество МРТ-исследований за 2020-2025 г.

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

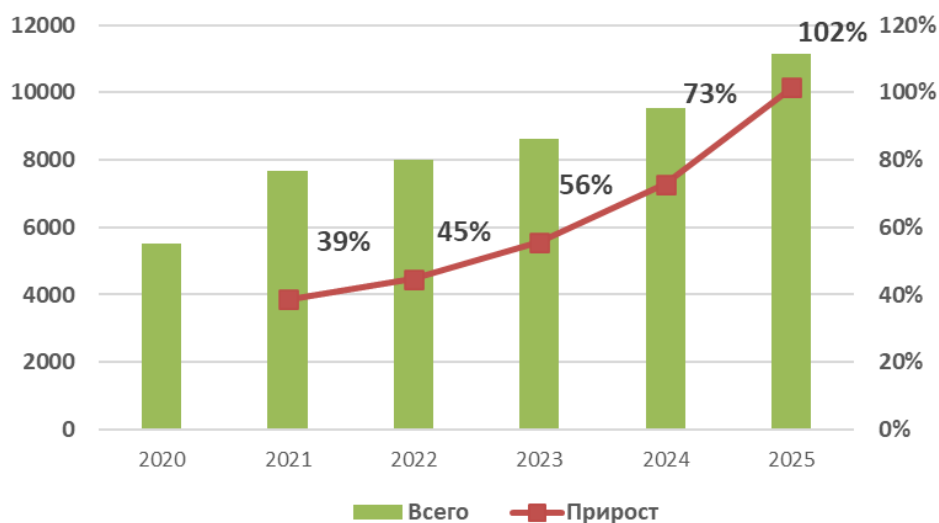


Рисунок 8 – Динамика количества МРТ-исследований в 2020-2025 гг.; по оси абсцисс – календарный год, по осям ординат: слева – количество МРТ-исследований, справа – прирост количества МРТ-исследований к 2020 году (%).

Выполнена оценка средних эффективных доз облучения за одно КТ-исследование пациентов из числа персонала, направляемых в 2020-2024 гг. в ЦЛД из отделений многопрофильной клиники ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России по основным классам МКБ и по анатомическим областям. При этом установлено, что суммарные дозы облучения работников, проходивших КТ БКУ, были 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); и 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).

При выполнении КТ СКУ средние дозы облучения работников от этих диагностических процедур были в несколько раз больше, чем при КТ БКУ. Максимальными (от 32,66 до 35,6 мЗв) они были у прошедших КТ СКУ 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 СКУ составили от 8,67 до 19,54 мЗв.

Как показывает анализ общей структуры заболеваний пациентов, направляемых на КТ-исследования, при КТ БКУ (рис. 9а) 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 СКУ (рис. 9б) по сравнению с КТ БКУ в 3,7 раза увеличился 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%.

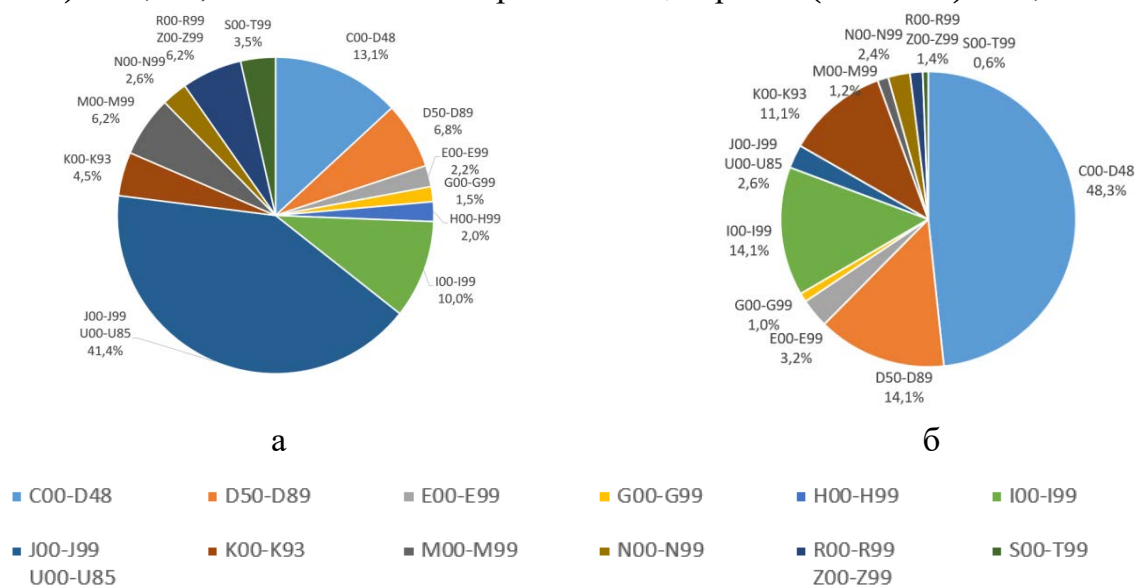


Рисунок 9 – Структура заболеваний (%) лиц из числа персонала, направляемых на КТ-исследования без контрастного усиления (а) и с контрастным усилением (б) в 2020-2024 годах; условные обозначения: классы заболеваний по МКБ-10.

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. При КТ БКУ 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, выявленные при клинических и лабораторных исследованиях (R00-R99) – 12,3% и болезни органов пищеварения (K00-K93) – 6,9%; у мужчин 45 лет и старше занимали 2 и 3 места новообразования (C00-D48) – 19,5% и болезни системы кровообращения (I00-I99) – 14,9%, с превышением группы до 45 лет в 3,6 и 3,2 раза соответственно.

При КТ БКУ 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 лет превысили 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 СКУ у всех работников независимо от пола и возраста ведущими заболеваниями были новообразования (C00-D48) – от 29,7 до 76,9%. При КТ СКУ у мужчин на 2-4 местах как в группе до 45 лет, так и 45 лет 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 СКУ у женщин распределение по долям в обеих группах до 45 лет и 45 лет и старше 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 молодого возраст до 45 лет в целом меньший спектр заболеваний, по которым им было назначено проведение КТ СКУ.

Проведенный анализ частоты назначений КТ-исследований анатомических областей в зависимости от классов заболеваний в 2020-2024 гг. показал, что наиболее часто пациентам назначали КТ-исследования следующих анатомических областей:

- ОГК без КУ при болезнях класса X Болезни органов дыхания (J00-J99) – 46% и класса II Новообразования (C00-D48) – 11,6%; с КУ при болезнях класса XI Болезни органов пищеварения (K00-K93) – 63%;

- ОБП, ЗБП и таза без КУ 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%, болезнях XI Болезни органов пищеварения (K00-K93) – 18,9%;

- позвоночника и спинного мозга без КУ 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, так и с КУ 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 БКУ и при КТ СКУ.

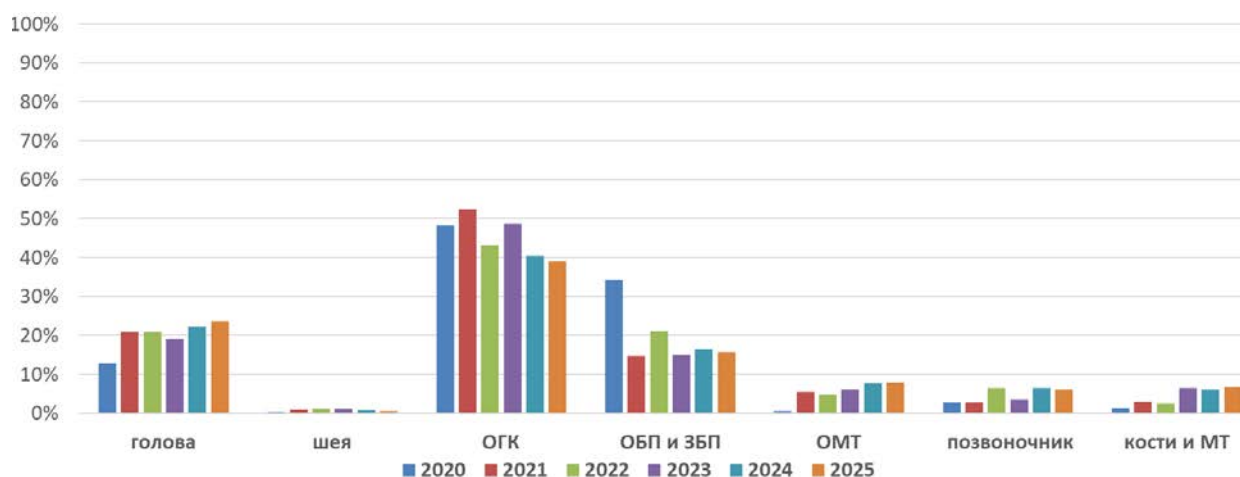
При диагностике новообразований (C00-D48), болезней крови (D50-D89) и болезней органов дыхания (J00-J99) максимальная доля исследований при КТ БКУ приходится на область ОГК (от 45 до 66%), а при КТ СКУ – на сочетанную область ОГК, ОБП, ЗБП, ОМТ и таз (от 76 до 85%).

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

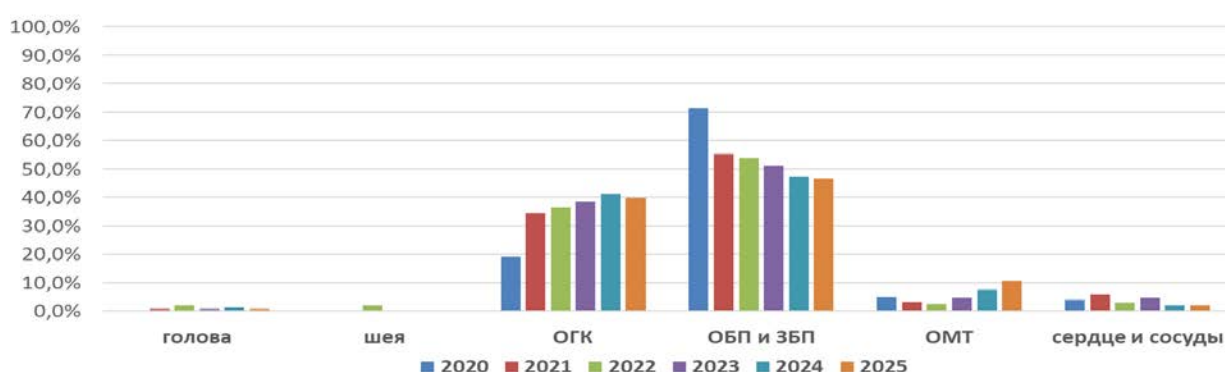
При болезнях органов дыхания (J00-J99) при КТ БКУ на ОГК приходилось 53%, а на голову – 44%, что обусловлено необходимостью сканирования придаточных пазух носа, так как в класс J00-J99 включены пациенты с заболеваниями органов верхних дыхательных путей – синуситы, полип носа, тонзиллит и др.

Анализ количества КТ БКУ по анатомическим областям показывает (рис. 10), что в 2025 г. по отношению к 2020 г. прослеживается рост исследований головы в 1,6 раз и снижение количества исследований ОБП и ЗБП в 2,4 раза. При анализе КТ СКУ отмечено увеличение количество исследований ОГК в 3,3 раза. В тоже время прослеживается снижение КТ СКУ исследований 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 других областей варьировало из года в год, но в целом изменялось незначительно.

Анализ вклада КТ БКУ и СКУ в структуру общего количества КТ-исследований крайне важен, так как он позволил установить нозологии и области сканирования, при которых высока доля КТ СКУ, а при таких многофазных исследованиях дозы облучения пациентов значительно выше и пропорциональны количеству процедур (фаз) сканирования.



а



б

Рисунок 10 – Структура КТ БКУ (а) и КТ СКУ (б) по анатомическим областям за 2020-2025 гг.; по оси абсцисс – области КТ-сканирования и календарный год, по оси ординат – вклад (%) в структуру общего количества исследований.

Анализ частоты МРТ-исследований по анатомическим областям представлен на рисунке 11. Как видно, 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.

При анализе соотношения количества выполненных КТ и МРТ-исследований по различным анатомическим областям за 2020-2025 гг. (рис. 12) установлено, что на протяжении рассматриваемого периода исследования области ОБП и ЗБП проводятся преимущественно с помощью КТ (82-96%), однако к 2025 г. отмечается небольшое перераспределение их на долю МРТ. Доля КТ-исследований ОМТ к 2025 г. по сравнению с 2020 гг. увеличилась в 1,6 раза за счет снижения доли МРТ-исследований, при росте абсолютного количества как КТ- (с 425 до 1 830), так и МРТ-исследований (с 852 до 1 530).

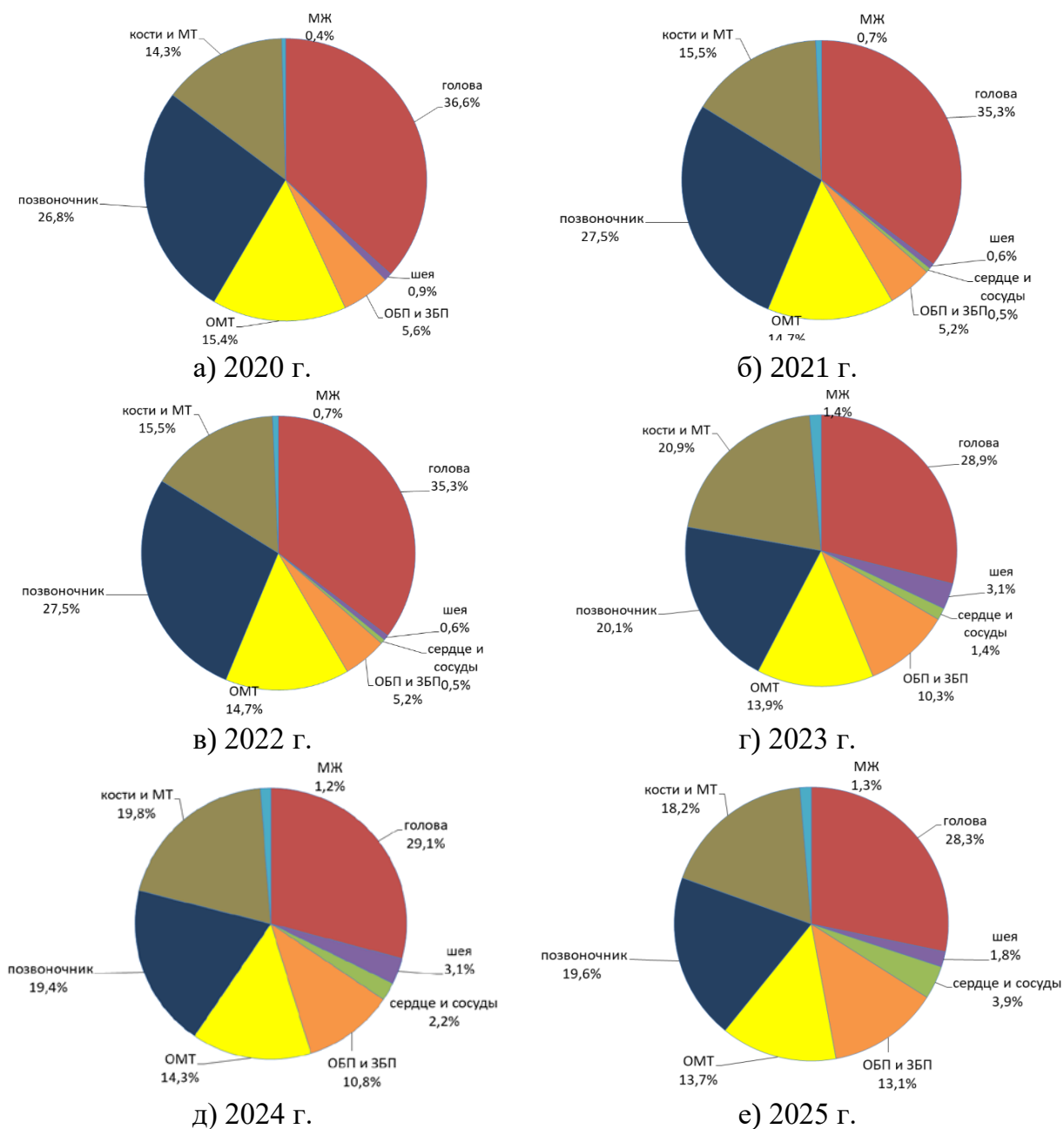
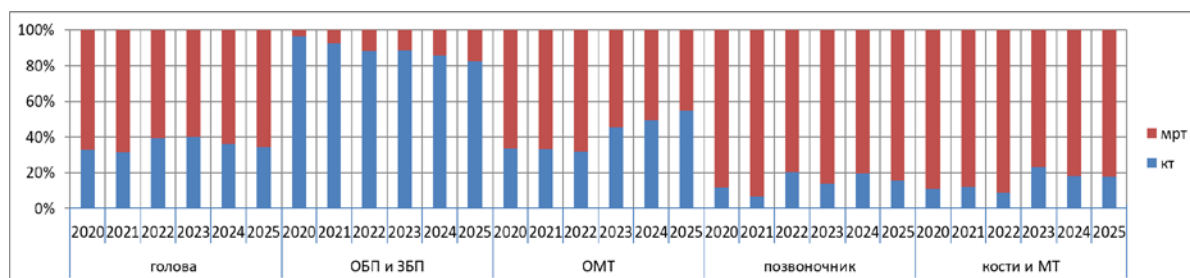


Рисунок 11 – Структура МРТ-исследований (%) по основным анатомическим областям за 2020-2025 гг. (а-е).



Как видно на рисунке 12, наибольшее преобладание КТ над МРТ отмечено для анатомической области ОБП и ЗБП (с увеличением 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 характерны невысокая дозовая нагрузка, разные диагностические возможности КТ и МРТ, а также специфические показания к проведению этих методов диагностики.

Сопоставление возможностей по визуализации патологии при КТ и МРТ-исследованиях по методическим рекомендациям и собственным наблюдениям.

Проведённый анализ отечественных методических рекомендаций по применению методов лучевой диагностики показал, что при многих заболеваниях и клинических ситуациях КТ и МРТ 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 её, прежде всего при оценке мягкотканых структур, опухолевых процессов, воспалительных изменений и сосудистых осложнений. В то же время при ряде состояний (ургентная патология, оценка кальцинатов, газовых структур и мочекаменной болезни) метод КТ сохраняет ведущую роль.

При оценке парных КТ- и МРТ-исследований органов брюшной полости и забрюшинного пространства (табл. 12), выполненных одним и тем же пациентам с интервалом не более 30 дней по большинству анализируемых признаков установлена умеренная, существенная или почти полная межэкспертная согласованность (κ Fleiss = 0,31-0,89), что свидетельствует о высокой воспроизводимости результатов визуализации. Наиболее высокая согласованность наблюдалась при выявлении кистозных образований и образований размером 10 мм и более. Сравнение результатов КТ и МРТ показало значительную и существенную сходимость методов при диагностике солидных и кистозных образований, а также очагов размером 10 мм и более (κ Козна = 0,44-0,72; совпадение результатов 82-88%). Наименьшая согласованность между методами отмечена при выявлении образований размером до 10 мм без контрастного усиления (κ = 0,17; совпадение результатов 60%).

Установлено, что МРТ обеспечивает сопоставимую с КТ визуализацию большинства образований ОБП и ЗБП. При этом на МРТ чаще выявлялись мелкие (до 10 мм) и множественные образования, особенно при использовании контрастного усиления. Учитывая облучение пациентов при КТ ОБП и ЗБП в относительно высокой дозе (10,08 мЗв без контрастного усиления и 25,12 мЗв с контрастным усилением) и отсутствие лучевой нагрузки при МРТ, метод МРТ целесообразно

рассматривать в качестве предпочтительного при динамическом наблюдении ранее выявленных солидных и кистозных образований у пациентов из числа персонала, работающего с техногенными ИИИ.

Таблица 12 – Анализ согласованности оценок КТ- и МРТ-методов визуализации и их сходимости между экспертами при лучевой диагностике органов брюшной полости и забрюшинного пространства (72 пар КТ БКУ и МРТ БКУ и 69 пар КТ СКУ и МРТ СКУ)

Характер выявляемого образования	Анализируемые пары 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%***	
Солидное	КТ БКУ МРТ БКУ	0,55 ³	0,77 ⁴	86	0,58	0,35-0,81	2. Умеренная
	КТ СКУ МРТ СКУ	0,72 ⁴	0,76 ⁴	87	0,69	0,49-0,88	4. Существенная
Кистозное	КТ БКУ МРТ БКУ	0,73 ⁴	0,77 ⁵	82	0,44	0,24-0,65	3. Значительная
	КТ СКУ МРТ СКУ	0,86 ⁵	0,89 ⁵	88	0,72	0,526-0,914	4. Существенная
Количество – одно образование	КТ БКУ МРТ БКУ	0,66 ⁴	0,58 ³	76	0,46	0,25-0,67	2. Умеренная
	КТ СКУ МРТ СКУ	0,67 ⁴	0,71 ⁴	78	0,51	0,304-0,711	3. Значительная
Количество – два и более образований	КТ БКУ МРТ БКУ	0,69 ⁴	0,62 ⁴	64	0,32	0,14-0,51	1. Незначительная
	КТ СКУ МРТ СКУ	0,61 ⁴	0,74 ⁴	80	0,53	0,31-0,74	3. Значительная
Размер – менее 10 мм	КТ БКУ МРТ БКУ	0,41 ³	0,31 ²	60	0,17	0,03-0,36	1. Незначительная
	КТ СКУ МРТ СКУ	0,58 ³	0,49 ³	75	0,53	0,29-0,71	3. Значительная
Размер – 10 мм и более	КТ БКУ МРТ БКУ	0,73 ⁴	0,7 ⁴	83	0,67	0,49-0,84	4. Существенная
	КТ СКУ МРТ СКУ	0,68 ⁴	0,83 ⁵	88	0,7	0,51-0,89	4. Существенная

Примечание: * 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;

** 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;

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

Результаты данного исследования по оценке диагностических возможностей методов лучевой диагностики, выполненного на современных КТ- и МРТ-сканерах многопрофильной клиники ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, согласуются с положениями клинических рекомендаций. Эти результаты подтверждают на конкретных наблюдениях возможность более широкого

применения МРТ при лучевой диагностике ряда заболеваний ОБП, ОМТ, ЗБП и МТ, а также при других заболеваниях, когда необходимо проведение сканирования этой сочетанной области. Для этого в целях снижения дозы облучения пациентов необходимо выполнение следующих мероприятий:

- 1) контроль за обоснованностью назначения КТ и расширение показаний к применению МРТ при заболеваниях ОБП, ОМТ, ЗБП и МТ в рамках клинических рекомендаций;
- 2) сокращение количества фаз КТ при многофазных исследованиях до минимально достаточного числа;
- 3) внедрение маршрутизации пациентов на процедуры лучевой диагностики с учётом анатомической области сканирования, характера выявляемой патологии, пола и возраста пациентов, суммарной дозы медицинского и профессионального облучения в предшествующий период, ожидаемых радиационных рисков от диагностической процедуры.

Реализация этих мероприятий направлена на снижение медицинской лучевой нагрузки на пациентов и радиационных рисков без ухудшения диагностической эффективности исследований, что соответствует приоритетным направлениям совершенствования радиационной защиты при медицинском облучении населения, определенным МАГАТЭ на период до 2035 г., а также национальным проектам Российской Федерации в области здравоохранения «Продолжительная и активная жизнь» и «Новые технологии сбережения здоровья». Осуществление этих мероприятий важно для сохранения здоровья и профессионального долголетия работников радиационных производств.

Алгоритм снижения радиационных рисков при лучевой диагностике у персонала, работающего с техногенными ИИИ, и оценка экономической эффективности от его внедрения

Расчеты доз облучения пациентов и радиационных рисков при КТ крайне трудоёмки ввиду вариантности исходных показателей и клинических ситуаций. Для их автоматизации применяются разные программные продукты. Они позволяют с учетом их предназначения и определенных ограничений оценивать эффективные дозы облучения и радиационного риска при КТ. Однако ни одна из проанализированных программ не предусматривает возможности формирования рекомендации альтернативного метода лучевой диагностики, основанного на экспертных оценках диагностической сопоставимости КТ и МРТ. Это затрудняет лечащим врачам и врачам-рентгенологами принимать решения по обоснованию медицинского облучения пациентов при выборе метода лучевой диагностики.

На основании радиобиологических закономерностей, результатов расчётов доз и радиационного риска, а также данных экспертного сопоставления диагностических возможностей КТ и МРТ, был разработана автоматизированная программа

«ФОРМЕД» – формирования медицинских рекомендаций по выбору метода лучевой диагностики с учетом комплекса радиобиологических факторов и особенностей визуализации патологии и алгоритм снижения радиационных рисков при лучевой диагностике у персонала, работающего с техногенными ИИИ. 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. 13 б-д). По результатам расчетов определяются прогнозируемые значения эффективной дозы и радиационного риска при КТ-исследовании, а также формируются рекомендации по выбору рационального метода лучевой диагностики в конкретном клиническом случае (рис. 13 е).

The image displays the 'FORMED' application interface, which is a system for supporting decision-making for CT or MRT. The interface is divided into several sections:

- а (Main Screen):** Shows the application title 'ФОРМЕД КТ или МРТ' and the purpose: 'Программа выбора оптимального метода лучевой диагностики'. It includes icons for 'Параметры исследования', 'Клинические данные', and 'Рекомендации выбора', and a 'Начать работу' button.
- б (Step 1):** 'Данные пациента (Блок 1)'. Fields include 'Возраст (лет)' (24), 'Пол' (Male), 'Радиационный анамнез' (Professional dose: 2.4, Medical dose: 0), and a 'Далее' button.
- в (Step 2):** 'Планируемое исследование'. Fields include 'Анатомическая область' (Abdominal cavity), 'Количество фаз КТ' (2), 'Соответствие клиническим рекомендациям' (Yes), and a 'Лицензионное соглашение' section.
- г (Step 3):** 'Клинико-экспертная оценка (Блок 2)'. Fields include 'Срочность исследования' (Planned), 'Способность лежать неподвижно' (Yes), 'Планируются ли повторные исследования' (No), and 'Наличие онкоанамнеза' (No).
- д (Step 4):** 'Характеристики патологии (только для брюшной полости)'. Fields include 'Размер образования' (10 mm and less), 'Количество образований' (Single), and a 'Рассчитать рекомендацию' button.
- е (Recommendation Screen):** 'Рекомендация выбора метода'. It shows 'Наиболее предпочтительно выполнение МРТ' with a 'Низкий' risk level. It also displays a 'Показатель целесообразности МРТ (Q): 11 баллов' and a 'При выборе КТ предполагаемая лучевая нагрузка: 10.4 мЗв'.

Рисунок 13 – Интерфейс программы «ФОРМЕД»: а – титульная страница, б-д – формы (шаги) 1-4 для ввода исходных данных, е – форма вывода медицинских рекомендаций по выбору метода лучевой диагностики с учетом комплекса радиобиологических факторов и диагностических возможностей методов визуализации

Применение разработанного алгоритма позволяет в ряде клинических ситуаций заменить КТ на МРТ, что приводит к снижению доз медицинского облучения пациентов. Экономическая оценка показала, что уменьшение дозовой нагрузки сопровождается снижением потенциального экономического ущерба от отдалённых последствий радиационного воздействия и обеспечивает положительный экономический эффект даже с учётом возможного увеличения стоимости отдельных процедур. Расчет экономической эффективности формализуется следующим образом (формулы 5-7).

$$D_{\text{снижения за } N \text{ лет}} = D_2 - D_1 / N, \quad (5)$$

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.

$$f = D_{\text{снижения за } N \text{ лет}} \cdot U, \quad (6)$$

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

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

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

$$F = f - V, \quad (7)$$

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 2025 г. в сумме 1 457 549 руб. экономический эффект от снижения дозы облучения пациента на 1 мЗв в год составит:

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

$$f_{\text{у 1000 человек}} = 1457,55 \text{ руб.} \cdot 1000 = 1\,457\,550 \text{ руб. в год.}$$

Значения V определяется исходя из дополнительной стоимости при замене методов лучевой диагностики (табл. 13).

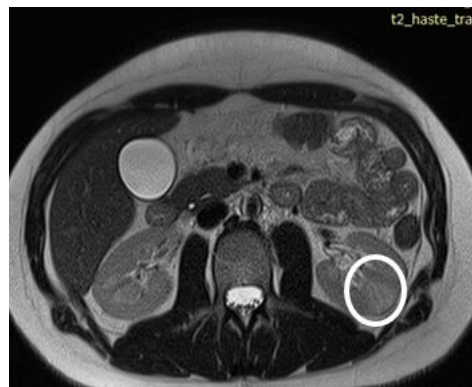
Таблица 13 – Стоимость базовой процедуры лучевой диагностики и при разных вариантах замены процедур согласно тарифному соглашению

Условия проведения (описания результатов МРТ-исследований)	Увеличение стоимости при заменах, руб.		
	МРТ БКУ вместо КТ БКУ	МРТ СКУ вместо КТ СКУ	МРТ БКУ вместо КТ СКУ
Амбулаторно	349,38	3 121,81	0
Стационарно	349,38	2 917,58	0

Замена КТ СКУ на КТ БКУ в совокупности с выполнением МРТ БКУ при диагностике острого пиелонефрита позволила снизить дозу облучения пациентки А. на 13,9 мЗв при сохранении высокого уровня визуализации патологии (рис. 14). У пациентки Л. при динамическом контроле образований в печени вместо каждого исследования КТ СКУ было обосновано и выполнялось равно эффективное по визуализации патологии МРТ СКУ, в результате исключалось облучение в дозе 21,7 мЗв. Расчет экономического эффекта представлен в таблице 14.



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 чёткой 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 14 – Результаты визуализации у пациентки А. острого пиелонефрита по данным МРТ (а, б) в сравнении с КТ СКУ другого пациента (г) и конкрементов в почке по данным КТ БКУ (в).

Таблица 14 – Результаты расчета экономического эффекта использования алгоритма маршрутизации на примере двух нозологий

Нозология	Доза при КТ, мЗв	Доза по алгоритму, мЗв	Снижение дозы по алгоритму, мЗв	Эффект от снижения дозы, тыс. руб	Увеличение стоимости при замене КТ на МРТ, тыс. руб.	Итоговый эффект у числа пациентов, тыс. руб.	
						1	100
Острый пиелонефрит, конкременты в почке	21,7	7,8	13,9	20,260	нет	20,26	2 026,0
Очаговые новообразования в печени	21,7	0	21,7	31, 629	2,918	28,71	2 871,1

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 это приведет к замене ряда КТ-исследований на МРТ и, как следствие, к резкому увеличению нагрузки на врачей-рентгенологов кабинетов и отделений МРТ по описанию МРТ-исследований.

Методика оценки трудовой функции врачей-рентгенологов по общему числу МРТ-описаний не стимулировала врачей на описания сложных МРТ-исследований, что снижало общий объём 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. В зависимости от сложности (трудоемкости) МРТ-описания по затрачиваемому времени и сложности выявления патологии предлагается использовать 4-бальную градацию коэффициента сложности. Это позволит повысить заинтересованность врачей и в итоге приведёт к увеличению в кабинетах или отделениях МРТ числа МРТ-описаний как за смену, так и за месяц.

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. Это соответствует направлениям по обеспечению радиационной безопасности пациентов в Российской Федерации при диагностическом медицинском облучении (Водоватов А.В., Романович И.К. и др., 2024; Водоватов А.В., Чипига Л. А. и др. 2025). Внедрение данного алгоритма в практику медицинских организаций является основой системного управления снижением доз облучения и радиационных рисков у персонала при лучевой диагностике (рис. 15), что особенно актуально, учитывая планируемое введение граничных доз при медицинском облучении для отдельных категорий лиц. Данный подход обеспечивает экономическую эффективность по критерию предотвращения ущерба от последствий возрастающего в последние годы облучения населения при медицинских диагностических процедурах и не требует существенной реорганизации отделений лучевой диагностики.

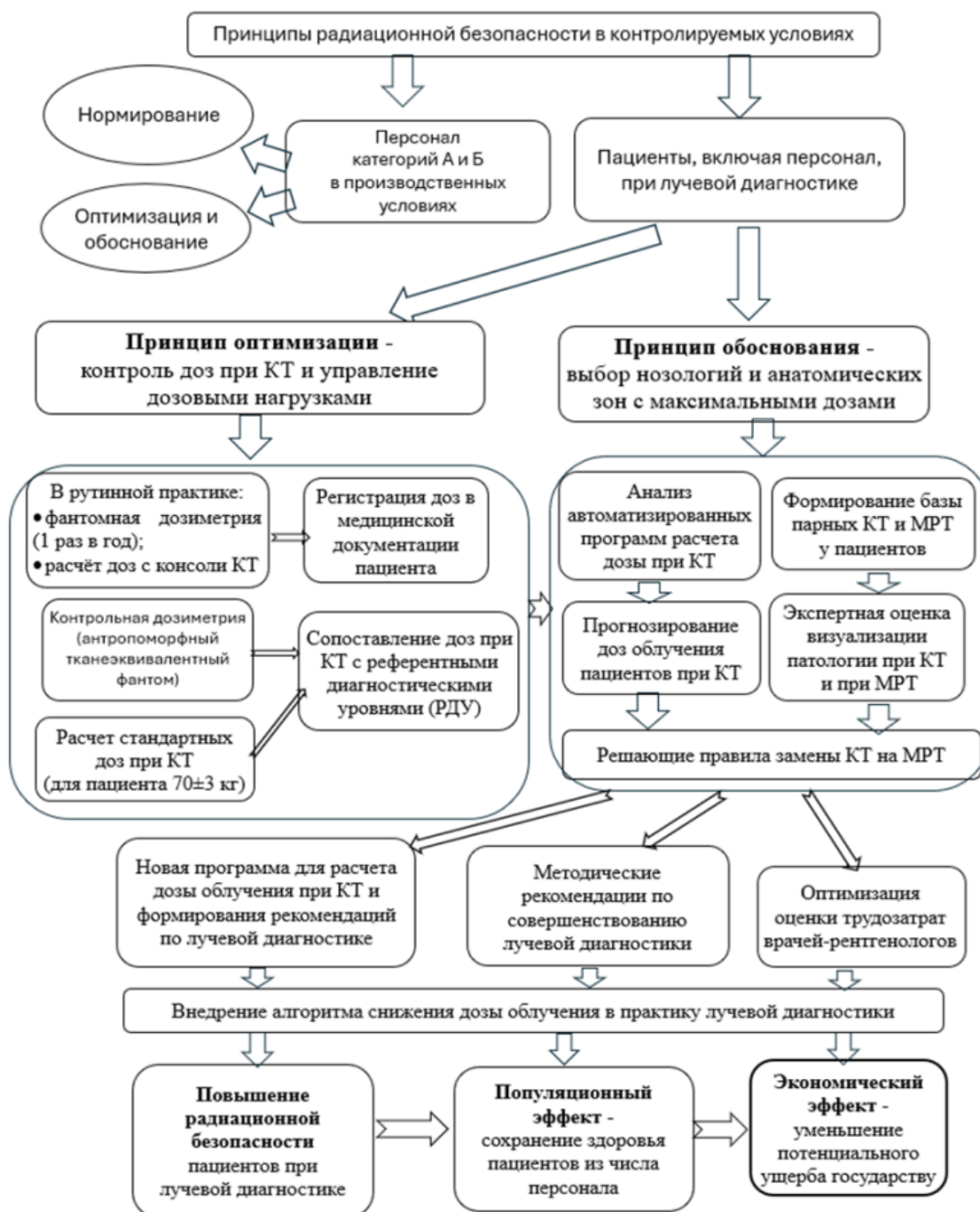


Рисунок 15 – Системное управление дозой облучения при лучевой диагностике персонала, работающего в условиях воздействия техногенного ИИИ.

Выполненное радиобиологическое исследование в комплексе с разработанными организационными мероприятиями по оптимизации работы отделений МРТ позволяет решить важную научно-прикладную проблему по научному обоснованию и внедрению здоровьесберегающей медицинской технологии, минимизирующей радиационные риски при лучевой диагностике у пациентов, в том числе из числа персонала, работающего с техногенными ИИИ.

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.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. В практической деятельности врача-рентгенолога центра лучевой диагностики (ЦЛД) рекомендуется:

1) 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 трёх методик оценки: а) при наличии более 20 исследований – по средним значениям доз в группе; б) при наличии более 20 исследований – по отобранным пациентам со стандартной массой тела 70-75 кг; в) в случаях менее 20 исследований – по методу линейной аппроксимации с интерполяцией дозы для пациента 70 кг; это позволит корректно сравнивать эффективные дозы облучения пациентов для разных центров лучевой диагностики ФМБА России;

2) 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 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);

3) по результатам фантомной дозиметрии на тканеэквивалентном фантоме уточнять дозовый коэффициент на область сканирования (e_{DLP}^i мЗв/(мГр·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).

2. В диагностической практике врача-рентгенолога ЦЛД необходимо:

1) 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;

2) используя базу данных 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;

3) для областей сканирования с максимальной дозой облучения пациентов, в том числе с контрастным усилением, применять новый разработанный на основе анализа радиобиологических закономерностей алгоритм снижения радиационных рисков при лучевой диагностике у персонала, работающего с техногенными ИИИ.

3. В разработанном программе (рис. 13) исходными данными являются масса, 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. 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 дозу радиационного воздействия или полностью избежать его за счет замены КТ на МРТ.

4. Исходная информация о дозах медицинского облучения персонала ФМБА России может быть получена в сформированной в проведенном исследовании базе данных по персоналу за 2020-2024 годы, в последующем необходимо продолжить ведение этой базы и объединить её с базой доз облучения персонала в производственных условиях.

5. При использовании предлагаемого алгоритма снижения радиационных рисков при лучевой диагностике у персонала, работающего с техногенными ИИИ, при визуализации патологии у которых будет применяться МРТ вместо КТ, значительно увеличится количество МРТ. Соответственно увеличится и нагрузка на врачей-рентгенологов по описанию МРТ. Это потребует оптимизации оценок трудовой функции по описанию МРТ-исследований и применения нового, разработанного в исследовании метода расчета трудовой функции и системы оплаты труда врачей-рентгенологов с учетом коэффициента сложности МРТ-исследования. Внедрение этой системы позволит стимулировать врачей в материальном плане более объективно оценивать их трудозатраты и в целом позволит увеличить количество МРТ-описаний врачами отделения в месяц.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ
Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК
 (* – индексируемые в международной базе данных SCOPUS)

1. **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.
2. **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.
3. **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.
4. 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.
5. **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.
6. 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.
7. **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.
8. **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.
9. Современные возможности методов лучевой диагностики в оценке тяжести жирового гепатоза при неалкогольной жировой болезни печени (клинический случай) / **Е. И. Маткевич**, А. Н. Башков, Е. А. ИONOва [и др.] // Медицинская радиология и радиационная безопасность*. – 2023. – Т. 68, № 6. – С. 73-79.
10. Оценка параметров электромагнитных полей и микроклимата в радионуклидном отделении центра позитронно-эмиссионной томографии / Н. Н. Забрoда, Ю. В. Жернов, А. В. Захарова, **Е. И. Маткевич** // Медицина труда и промышленная экология*. – 2023. – Т. 63, № 12. – С. 830-834.

11. Оценка результатов визуализации структур среднего мозга при изменении протокола МРТ 3 Тл в диагностике болезни Паркинсона / **Е. И. Маткевич**, Е. А. Ладик, Е. В. Бриль [и др.] // Медицинская радиология и радиационная безопасность*. – 2024. – Т. 69, № 4. – С. 71-76.
12. 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.
13. 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.
14. **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.
15. Компьютерная томография новообразования мелких сосудов печени в дифференциальном диагнозе гиперваскулярных образований (клинический случай) / А. Н. Башков, М. В. Шабалин, А. Ю. Веселкова, Е. А. Дубова, **Е. И. Маткевич**, А. П. Дунаев // Медицинская радиология и радиационная безопасность*. – 2025. – Т. 70, № 4. – С. 78-81.
16. Использование методик лучевой диагностики при травматическом пневмотораксе (клинический случай) / **Е. И. Маткевич**, А. Н. Башков, Ю. А. Бажанова [и др.] // Медицинская радиология и радиационная безопасность*. – 2025. – Т. 70, № 5. – С. 87-92.
17. **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.
18. **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.
19. Патология пересаженной печени в отдалённые сроки после трансплантации: анализ реальной клинической практики / С. Э. Восканян, В. Е. Сюткин, А. И. Сушков, С. В. Лищук, Е. А. Дубова, В. С. Рудаков, А. С. Лукьянчикова, Е. А. Ионова, А. Н. Башков, **Е. И. Маткевич** // Трансплантология*. – 2026. – Т. 18, № 1. – С. 32-49.

20. 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.

21. 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.

22. Эффективные дозы облучения пациентов при компьютерной томографии сочетанных областей тела по данным фантомной дозиметрии / **Е. И. Маткевич**, П. П. Ганцовский, А. Г. Сивенков [и др.] // Радиационная гигиена*. – 2026. – Т. 19, № 1. – С. 44-55.

23. Лучевая диагностика рецидивирующего папиллярного некроза правой почки как осложнение хронического пиелонефрита (клинический случай) / А. А. Сажина, А. Н. Башков, Ю. Д. Удалов, **Е. И. Маткевич**, С. В. Лищук // Медицинская радиология и радиационная безопасность*. – 2026. – Т. 71, № 2. – С. 122-128.

24. Computed and magnetic resonance imaging in the diagnosis of focal nodular hyperplasia in the liver in cancer patients during chemotherapy / A. Dunaev, A. Bashkov, Zh. Sheikh, T. Kudryavtseva, E. Esin, S. Voskanyan, I. Shipuleva, M. Popov, **E. Matkevich**, O. Lazebnaya // Journal of Clinical Physiology and Pathology*. – 2024. – Vol. 3, № 2. – P. 21-23.

25. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2026622165 Российская Федерация. «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» : заявл. 28.04.2026 : опубл. 14.05.2026 / **Е. И. Маткевич**, Ю. Д. Удалов ; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна».

26. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2026664297 Российская Федерация. «Программа «ФОРМЕД» – формирование медицинских рекомендаций по выбору метода лучевой диагностики с учетом комплекса радиобиологических факторов и диагностических возможностей визуализации» : заявл. 28.04.2026 : опубл. 14.05.2026 / **Е. И. Маткевич**, И. С. Милтых; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна».

Монографии и учебно-методические пособия

1. **Маткевич, Е. И.** Направления оптимизации лучевой нагрузки при компьютерной томографии : Научно-практическое руководство / Е. И. Маткевич, В. Е. Сеницын, И. В. Иванов. – Москва-Воронеж : Элист, 2018. – 200 с.
2. **Matkevich, E.** Radiation Doses and Risk Assessment during Computed Tomography of the Chest in COVID-19 Patients / E. Matkevich, I. Ivanov // Computed-Tomography (CT) Scan. – London : IntechOpen, 2022. – DOI 10.5772/intechopen.95180.
3. Магнитно-резонансная томография в отделении лучевой диагностики. Подготовка пациентов к исследованию : учебное пособие / **Е. И. Маткевич**, Е. А. ИONOва, А. Н. Башков [и др.]. – Москва : ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2026. – 66 с.
4. Использование лучевых методов исследований в практике многопрофильной клиники в интересах снижения воздействия ионизирующего излучения на пациентов. Учебное пособие. / **Е. И. Маткевич**, Е. А. ИONOва, А. Н. Башков [и др.]. – Москва : ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2026. – 48 с.
5. Планирование плоскостей сканирования при МРТ-исследовании сердца : Учебное пособие / Т. А. Немировская, С. А. Рыжкин, **Е. И. Маткевич** [и др.]. – Москва : Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования, 2025. – 93 с.
6. Мультидисциплинарный подход в диагностике и лечении гепатоцеллюлярного рака / А. Н. Башков, Ю. Д. Удалов, С. Э. Восканян, Е. А. Дубова, Е. А. ИONOва, Т. А. Аносова, Ж. В. Шейх, **Е. И. Маткевич**, А. А. Сажина, А. П. Дунаев, А. К. Кондаков. – Москва : ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2026. – 72 с.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ЗБП – забрюшинное пространство

ИИИ – источники ионизирующих излучений

КТ БКУ – компьютерная томография без контрастного усиления

КТ SKU – компьютерная томография с контрастным усилением

МФ – многофазная компьютерная томография

ОГК+ОБП+ОМТ – органы грудной клетки, брюшной полости и малого таза

ОФ – однофазная компьютерная томография

РДУ – референтный диагностический уровень

CTDIvol – (Computed Tomography Dose Index volume) – объёмный взвешенный индекс дозы КТ – мера поглощенной дозы облучения в 1 томографическом срезе (мГр)

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