

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2024

Читать онлайн
Read online**Жернов Ю.В.^{1,2}, Захарова А.В.¹, Заброда Н.Н.¹, Лыткина А.О.¹, Казимов А.Э.^{1,3}**

Радиационная безопасность персонала при проведении радионуклидной диагностики

¹ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова

Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет), 119435, Москва, Россия;

²Научно-исследовательский институт экологии человека и гигиены окружающей среды имени А.Н. Сысина, ФГБУ «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» Федерального медико-биологического агентства, 119121, Москва, Россия;³ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий» Федерального медико-биологического агентства, 115682, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Введение. Примерно 30% радиационной нагрузки в Москве исходит от медицинских источников, в структуре которых основной вклад принадлежит исследованиям с применением компьютерной томографии (КТ) (61,5%) и радионуклидным процедурам (12,1%). С учётом роста количества исследований и увеличения доз для медперсонала проблема радиационной безопасности сохраняет актуальность. Авторами представлен обзор радиационных рисков для медицинского персонала в ядерной медицине на примере ПЭТ/КТ сканирования с мечеными препаратами (на примере Москвы) с учётом возможных долгосрочных угроз для здоровья. Акцент исследования сделан на оптимизации протоколов радиационной безопасности, особенно в педиатрической практике. Подчёркивается роль врачебного опыта в обеспечении безопасности и обучении персонала.

Цель исследования – систематизация радиационных рисков для персонала в радионуклидной диагностике и разработка рекомендаций для безопасного применения препарата¹⁸F.

Материалы и методы. В исследовании применены комплексные методические подходы на основе радиационного контроля, гигиенического анализа, изучения отчётных форм и научной литературы. Проведён опрос 120 сотрудников радионуклидного отделения анкетно-опросным методом. В исследовании применены описательные и аналитические методы.

Результаты. Анализ показал влияние малых доз радиации на иммунитет и здоровье персонала, выявлены проблемы в систематизации учёта дозовой нагрузки. Оценены риски воздействия ионизирующего излучения на женщин, в том числе при наступившей беременности или её планировании. Представлена информация о радиационной безопасности в педиатрии.

Ограничения исследования. В статье проведён анализ радиационных доз, получаемых персоналом одного ПЭТ-центра в ограниченный промежуток времени.

Заключение. Результаты исследования показали, что существующие системы мониторинга и законодательство в России недостаточны для полноценного учёта радиационных рисков. Медицинские работники женского пола, особенно в период беременности либо её планирования, а также дети, проходящие ПЭТ-сканирование, требуют повышенного внимания и мер безопасности. Работа подтверждает необходимость обновления протоколов и дальнейших исследований в этой области.

Ключевые слова: радиофармпрепарат; радионуклидное отделение; радиационная безопасность; индивидуальная дозиметрия; циклотрон; фтор-18; медицинская сестра; малые дозы

Соблюдение этических стандартов. Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) (протокол заседания № 02-23 от 26.01.2023 г.), проведено согласно общепринятым научным принципам Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (ред. 2013 г.).

Для цитирования: Жернов Ю.В., Захарова А.В., Заброда Н.Н., Лыткина А.О., Казимов А.Э. Радиационная безопасность персонала при проведении радионуклидной диагностики. Гигиена и санитария. 2024; 103(10): 1160–1166. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-10-1160-1166> <https://elibrary.ru/ormqdb>

Для корреспонденции: Захарова Анастасия Владимировна, e-mail: zakharova_a_v_3@staff.sechenov.ru

Участие авторов: Жернов Ю.В. – концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, статистическая обработка, написание текста; Захарова А.В. – сбор и обработка материала, статистическая обработка, написание текста; Заброда Н.Н. – концепция и дизайн исследования, редактирование; Лыткина А.О. – сбор и обработка материала, подготовка текста; Казимов А.Э. – сбор материала исследования, написание текста. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование не имело финансовой поддержки.

Поступила: 05.07.2024 / Поступила после доработки: 15.08.2024 / Принята к печати: 02.10.2024 / Опубликована: 19.11.2024

Yury V. Zhernov^{1,2}, Anastasia V. Zakharova¹, Nadezhda N. Zabroda¹, Aleksandra O. Lytkyna¹, Alexander E. Kazimov^{1,3}

Radiation safety for staff while conducting radionuclide diagnostics

¹I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, 119435, Russian Federation;

²A.N. Sysin Research Institute of Human Ecology and Environmental Hygiene, Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation;

³Federal Scientific and Clinical Center for Specialized Types of Medical Care and Medical Technologies of the Federal medical and biological agency, Moscow, 115682, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. Approximately 30% of radiation exposure in medical settings primarily stems from CT scanning (61.5%) and radionuclide procedures (12.1%). With the increasing number of examinations and doses administered to medical personnel, the issue of radiation safety is becoming increasingly pertinent. This study reviews the radiation risks for medical personnel in nuclear medicine, exemplified by PET/CT scanning with labelled compounds in Moscow, considering potential long-term health threats. The research focuses on optimizing radiation safety protocols, particularly in pediatric practice, emphasizing the importance of experienced doctors in ensuring safety and training new staff.

The study aims to systematize radiation risks for personnel in radionuclide diagnostics and develop recommendations for the safe use of ¹⁸F compounds.

Materials and methods. The study is based on comprehensive methodological approaches, including radiation control and hygienic analysis, using data from reports and scientific literature. A survey was conducted among one hundred twenty employees of a radionuclide department using a questionnaire method. Descriptive and analytical methods were applied in the research.

Results. The analysis revealed the impact of low doses of radiation on the immune system and health of the personnel, highlighting issues in the systematization and accounting of dose loads. Risks of radiation exposure to female staff, as well as during planning and pregnancy, were assessed. Information on radiation safety in pediatrics is presented.

Limitations. The article presents an analysis of the radiation doses received by the staff of a single PET center over a limited period of time.

Conclusion. The findings indicate existing monitoring systems and legislation in Russia to be insufficient to fully account for radiation risks. Special attention is necessary for women and pregnant medical workers, as well as children undergoing PET scanning. The study underscores the need for updating protocols and further research in this area.

Keywords: radiopharmaceutical; radionuclide department; radiation safety; individual dosimetry; cyclotron; fluorine-18; nurse; low doses

Compliance with ethical standards. The study was approved by the local ethical committee of the I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), 119435, Moscow, Russian Federation (meeting protocol No. 02-23 dated 26/01/2023), and the Helsinki Declaration of the World Medical Association (as amended 2013) was carried out.

For citation: Zhernov Y.V., Zakharova A.V., Zabroda N.N., Lytkyna A.O., Kazimov A.E. Radiation safety for staff while conducting radionuclide diagnostics. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal*. 2024; 103(10): 1160–1166. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-10-1160-1166> <https://elibrary.ru/ormqdb> (In Russ.)

For correspondence: Anastasia V. Zakharova, e-mail: zakharova_a_v_3@staff.sechenov.ru

Contribution: Zhernov Y.V. – the concept and design of the study, collection and processing of material, statistical processing, writing text; Zakharova A.V. – collection and processing of material, statistical processing, writing text; Zabroda N.N. – the concept and design of the study, editing; Lytkyna A.O. – collection and processing of material, writing text; Kazimov A.E. – collecting research material, writing text. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgment. The study had no sponsorship.

Received: July 5, 2024 / Revised: August 15, 2024 / Accepted: October 10, 2024 / Published: November 19, 2024

Введение

Примерно 30% радиационной нагрузки в Москве исходит от медицинских источников, в структуре которых основной вклад принадлежит исследованиям с применением компьютерной томографии (КТ) (61,5%) и радионуклидным процедурам (12,1%). С учётом роста количества исследований и увеличения доз для медперсонала проблема радиационной безопасности сохраняет актуальность. Медицинский персонал, участвующий в диагностических процедурах с радионуклидами, подвергается в течение длительного времени воздействию малых доз радиации, что представляет долгосрочный риск для здоровья даже при соблюдении стандартов. Особую опасность представляют изменения в иммунной системе, способствующие различным патологиям [1, 2].

В России наиболее часто используется сканирование с ¹⁸F-фтордезоксиглюкозой (¹⁸F-ФДГ), при котором дозовая нагрузка оставляет 7–8 мЗв за процедуру. Персонал радионуклидных отделений регулярно облучается на всех этапах своей работы [3].

Непосредственный контакт с радионуклидом имеют следующие сотрудники: радиохимики, химики-аналитики, радиофизики, инженеры-радиохимики, лаборанты, меди-

цинские сёстры и фельдшеры, сотрудники, выполняющие контроль качества на рабочих местах (помещения для приготовления мишеней, лаборатории синтеза, сервисная зона в лаборатории контроля качества, процедурная комната ПЭТ-сканера, комната ожидания для активных пациентов). На рис. 1 показано распределение дозовой нагрузки на персонал при технологических процессах.

В отделениях радионуклидной диагностики медицинских учреждений ключевую роль в обеспечении контроля облучения играют лица, ответственные за радиационную безопасность. Эти специалисты не только отвечают за текущую безопасность, но и занимаются подготовкой и обучением нового персонала. Регулярные тренинги, мониторинг и аудиты являются обязательными для поддержания высоких стандартов безопасности. Хотя риск острого радиационного облучения для медперсонала относительно низок, возможно долгосрочное воздействие малых доз облучения при расширении применения радионуклидных методов [4–6].

Цель исследования – систематизация радиационных рисков для персонала отделений радионуклидной диагностики и разработка рекомендаций, обеспечивающих безопасное применение препаратов ¹⁸F.

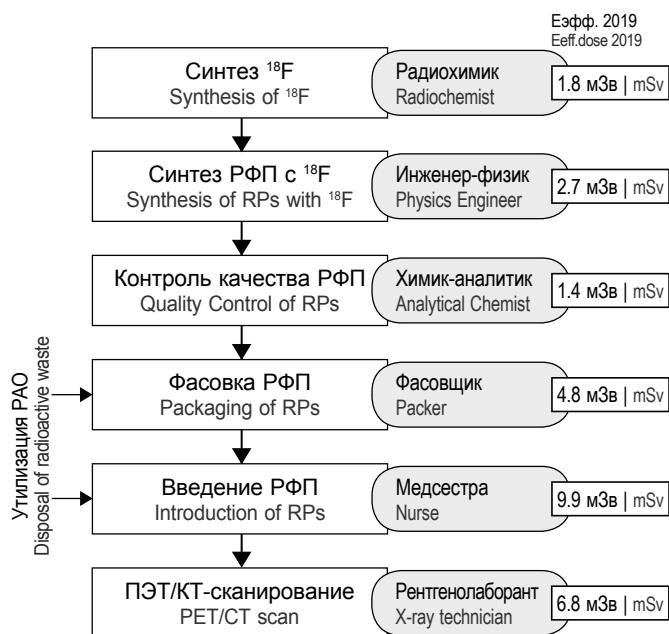


Рис. 1. Распределение дозовой нагрузки на рабочих местах в технологическом процессе ПЭТ/КТ с препаратами ¹⁸F.

РФП – радиофармпрепараты, РАО – радиоактивные отходы.

Fig. 1. Distribution of dose load at workplaces in the technological process of PET/CT with ¹⁸F preparations. RP – Radiopharmaceuticals.

Материалы и методы

В работе применены разнообразные методы, в том числе радиационный контроль и гигиенический анализ, использованы статистические и литературные данные. Исследование анкетно-опросным методом проведено среди 120 сотрудников ПЭТ-центра, из которых 44 работают в радионуклидном отделении. В группу риска вошли 23 человека, подвергающиеся воздействию ионизирующего излучения: рентгенолаборанты, медицинские сёстры и сотрудники, осуществляющие фасовку препаратов. Данные получены из отчётов UNSCEAR, паспортов радиационной безопасности Москвы и России, а также актуальной научной литературы.

Результаты

Радионуклидная диагностика позволяет исследовать организм на различных уровнях. Этот гибридный метод уникален, поскольку даёт возможность одновременно изучать всё тело. Особенно широк он применяется в онкологии, где по распределению изотопов в тканях оценивают характер патологии, эффективность выбранного лечебного подхода, наличие рецидивов [7].

При анализе облучения медперсонала выявлены значительные колебания доз в течение рабочей смены. При коротком контакте с источником дозы могут резко возрастать, но не превышать нормы. Текущие правила, основанные на СП 2.6.1.2612-10 ОСПОРБ-99/2010, не полностью учитывают эту особенность и требуют пересмотра [8, 9].

В ранее проведённых исследованиях Чипига Л.А. с соавт. показали тенденцию расширения применения в России ПЭТ-сканирования на основе данных из 19 центров в 12 регионах страны. Анализ показал, что число медицинских организаций с возможностью ПЭТ-сканирования увеличивается. При этом существуют проблемы с единой стандартизацией процедур, подготовкой пациентов, обучением персонала и соблюдением мер радиационной безопасности. Разнообразие используемых сканеров и методик приводит к

несогласованным и зачастую избыточным дозам радиационного облучения за процедуру для пациента, тем самым влияя на дозы, получаемые персоналом [10].

На момент проведения исследования отчётными формами, отражающими дозы облучения персонала и пациентов, были Система единого мониторинга и регистрации персональных уровней радиации у граждан (ЕСКИД), процесс сбора данных в которой отображён на рис. 2, и радиационно-гигиеническая паспортизация – компонент подсистемы Минздрава России в Общегосударственной автоматизированной системе радиационного мониторинга (ЕГАСКРО).

Система сбора и анализа данных о радиационной безопасности в ядерной медицине России, несмотря на недавние обновления в нормативно-правовой базе, оставляет много вопросов о достоверности данных. Например, статистические формы, такие как ЕСКИД и радиационно-гигиенические паспорта, не дают полных характеристик проводимых исследований, используемого оборудования и радиационной экспозиции как для пациентов, так и медицинского персонала. Эти недостатки указывают на необходимость дополнительных исследований и оптимизации существующей нормативно-правовой базы и систем накопления информации для обеспечения высокого уровня радиационной безопасности в ПЭТ-центрах [11]. Согласно отчёту Научного комитета ООН по действию атомной радиации (UNSCEAR – United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), в Российской Федерации в контакте с радионуклидами работают 1240 человек (отчёт UNSCEAR 2020/2021, Научное приложение А «Оценка медицинского воздействия ионизирующего излучения»). Данные представлены в таблице. Наибольшая эффективная доза отмечается у среднего медицинского персонала, и большинство в данной профессиональной группе составляют женщины [12].

В ходе анкетирования работников радионуклидного отделения ($n = 120$) была проведена оценка восприятия ими потенциальных рисков ионизирующего излучения на рабочем месте. Использованная анкета содержала 47 вопросов, разделённых на четыре блока: первый блок – социально-демографические характеристики респондентов; второй – осведомлённость о потенциальных рисках для здоровья на рабочем месте; третий – соблюдение радиационной безопасности и использование средств индивидуальной защиты; четвёртый – состояние здоровья участников.

Анализ четвёртого блока анкеты «Оценка состояния здоровья» показал, что у 65% сотрудников радионуклидного отделения, имевших прямой контакт с радионуклидами, респираторные болезни возникали 4–6 раз в год, при этом наблюдалось учащение с момента начала работы. В то же время 0,83% респондентов связывали наличие аллергических реакций с профессиональной деятельностью, 27,2% предполагали возможную связь, а 71,97% не отмечали аллергических реакций.

В связи с особенностями репродуктивной системы медицинским работникам-женщинам во время беременности следует уделять особое внимание мерам радиационной безопасности, чтобы минимизировать риски для плода (смерть, врождённые аномалии, задержка умственного и физического развития, новообразования). Установлено, что при соблюдении установленных нормативов радиационной безопасности (дозовая нагрузка не более 50 мЗв за весь период беременности и не более 5 мЗв в месяц) риск для здоровья беременной женщины и плода отсутствует. Для обеспечения безопасных условий труда беременных или планирующих беременность женщин необходим регулярный мониторинг получаемых доз [13, 14].

Для минимизации радиационного риска медперсонала следует придерживаться принципа ALARA, обеспечивая минимально возможное излучение. Необходима эффективная защита (двуухсекционные фартуки и щиты для глаз). Рекомендуется использовать два дозиметрических бейджа во

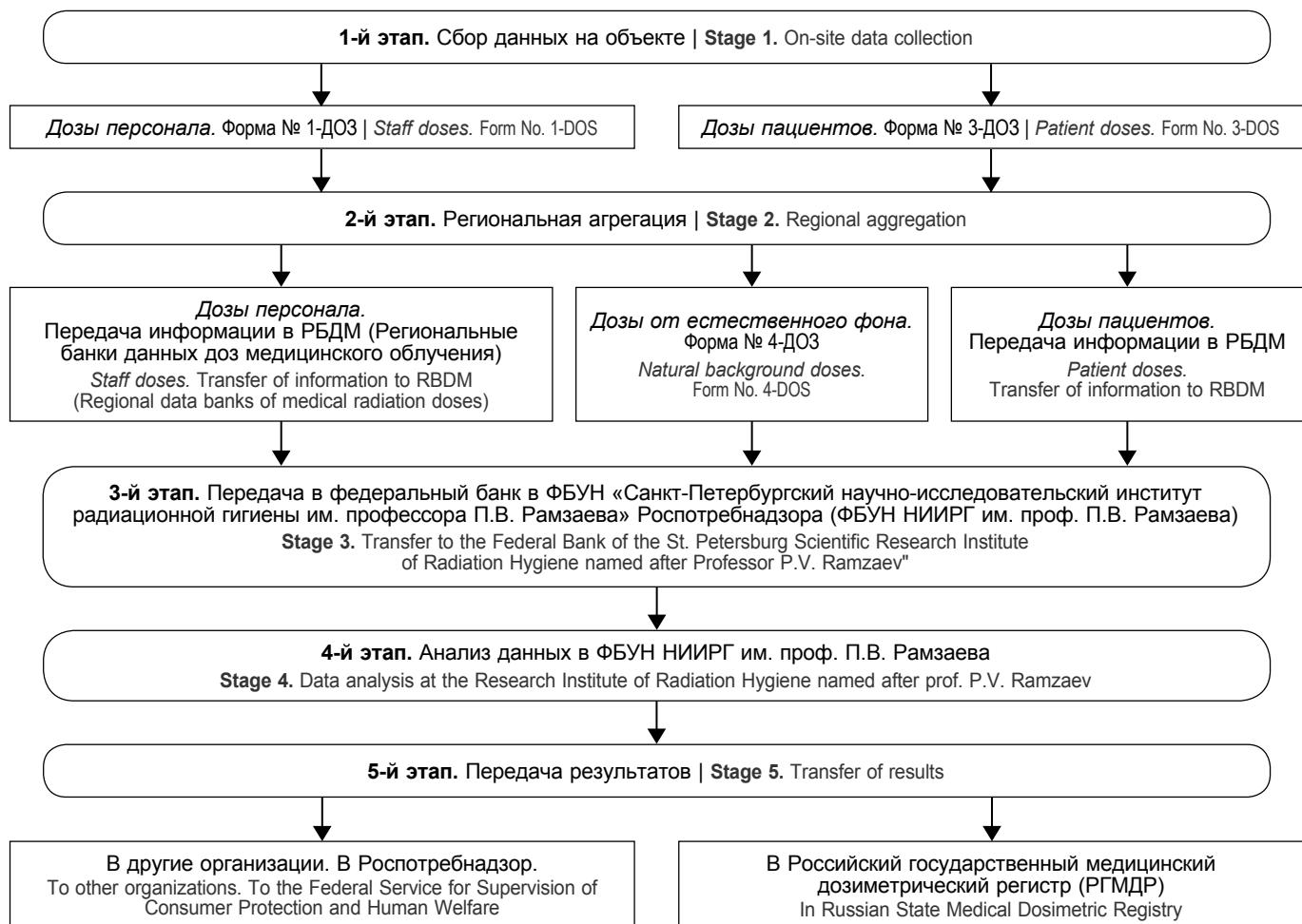


Рис. 2. Этапы работы с данными о дозах облучения населения от сбора до анализа через систему ЕСКИД.

Fig. 2. Stages of working with data on radiation doses to the population: from collection to analysis via the ESCID system.

время рентгеновских процедур: один под свинцовым фартуком на талии и один снаружи, на воротнике, постоянно использовать дозиметр при выполнении профессиональных обязанностей [15].

Изначально применение радионуклидной диагностики в комбинации с ПЭТ в педиатрической клинической практике было ограничено, в основном из-за высокой радиочувствительности детского организма. Повышенная чувствительность, примерно в три раза превышающая аналогичный показатель у взрослых, обусловлена быстрым делением клеток и большей ожидаемой продолжительностью жизни. Тем не менее в последние два десятилетия исследователи и практические врачи всё чаще обращают внимание на клиническую эффективность данного диагностического метода в педиатрии. Однако следует учитывать, что данный гибридный метод визуализации ассоциирован с увеличенной дозовой нагрузкой на молодых пациентов [16].

Исследование М. Алхораева и коллег показало, что при педиатрических ПЭТ-сканированиях с ¹⁸F-ФДГ доза радиации увеличивается на 40% по сравнению с ¹⁸F-NaF. Оптимизация параметров на основе массы тела и корректировка КТ рекомендованы для снижения доз [17].

В исследовании T. Xie и коллег проведена дозиметрия с использованием модифицированного пятилетнего мужского фантома, в результате которой было установлено наличие неопределенности дозовых параметров от физических характеристик пациента и эталонных моделей. Наибольшая

Персонал сектора ядерной медицины на территории Российской Федерации в 2020–2021 гг. (человек / на 1 млн населения)

Nuclear medicine personnel in the territory of Russian Federation
during the period of 2020/2021 (people / number of people
per 1 million population)

Профессия Occupations	Число человек / Number of persons	
	абс. abs.	на 1 млн населения per 1 million population
Радиофизик Radiophysicist	400	2.7
Медицинский физик Medical physicist	40	0.3
Сотрудники фасовки радиофармпрепаратов, технологи Radiopharmaceutical packaging staff, technologists	650	4.4
Медицинская сестра Nurse	150	1

статистическая корреляция, зависящая от массы тела пациента, обнаружена для препаратов ^{18}F . Разница в эффективной дозе между разными моделями составляла 10,8–13,3%. Таким образом, авторы акцентируют внимание на важности индивидуализированных гибридных фантомов в педиатрии для точной дозиметрии, несмотря на сложности в подготовке и взаимодействии с ребёнком [18].

В работе S. Skawran и соавт. рассматриваются изменения дозовых показателей в педиатрической ядерной медицине в период с 2007 по 2021 г. Авторы отмечают значительное снижение дозы КТ-облучения у педиатрических пациентов, подвергнутых гибридному ПЭТ/КТ-исследованию с ^{18}F -ФДГ. Текущие дозовые показатели составляли примерно треть от исходных значений, зарегистрированных в начале наблюдаемого периода. Этот факт отражает успешность применения новых протоколов и технологий для минимизации радиационного воздействия на молодых пациентов [19].

Ранее было экспериментально выявлено, что для оптимизации диагностики сканирование пациента предпочтительно проводить через 30 мин после введения радиофармпрепарата в отличие от стандартного времени ожидания для взрослого, которое составляет 50 мин. Это обстоятельство следует учитывать, поскольку активность введённого радиофармпрепарата снижается с течением времени, а при сокращении времени до 30 мин медицинский персонал, контактирующий с пациентом после инъекции, подвергается большему воздействию ионизирующего излучения. В определённых случаях целесообразно выполнять динамические сканирования с интервалами в 30 и 60 мин после введения препарата [20].

В заключительной части данного научного обзора необходимо акцентировать внимание на актуальных аспектах и изменениях протоколов радиационной безопасности при проведении радионуклидной диагностики с использованием изотопа ^{18}F в педиатрической практике. Возрастные особенности детей, в частности их повышенная чувствительность к радиационному воздействию, а также потенциальная необходимость сопровождения ребёнка младшего возраста на протяжении всего времени распределения препарата, определяют потребность в совершенствовании существующих методик [21]. Это может быть изменение временных интервалов между введением радиофармпрепарата и началом сканирования, а также увеличение времени введения препарата. Стойкая тенденция увеличения количества диагностических процедур для педиатрических пациентов указывает на необходимость дальнейших исследований и разработки уточнённых мер радиационной безопасности, специфически адаптированных для детей и работающих с ними медиков.

Обсуждение

Для обеспечения радиационной безопасности в радионуклидной диагностике важен не только дозиметрический мониторинг, но и повышение информированности медицинского персонала. Даже короткие обучающие видеоролики помогают оптимизировать рабочие процессы и значительно уменьшить дозы облучения медицинского персонала путём сокращения времени контакта с радионуклидом. Например, обучающий видеоролик для специалистов в области лучевой терапии сократил медианное время рентгеновского обследования на 30–50%. Таким образом, совмещение дозиметрического контроля и просветительской работы не только способствует соблюдению безопасных протоколов, но и формирует культуру безопасности, делая образовательные ресурсы ключевым элементом в снижении радиационного риска.

На основании анализа текущей ситуации и имеющихся исследований авторами настоящего исследования предложен комплексный протокол дозиметрии в режиме реального времени для персонала в сфере ядерной медицины, работа с обратной связью, чёткое планирование ежедневного расписания пациентов таким образом, чтобы время контакта

медицинского персонала с радионуклидом в процессе работы было распределено равномерно. Протокол разработан с целью оптимизации контроля облучения и повышения радиационной безопасности и состоит из трёх этапов.

На первом этапе проводится предварительная индивидуальная оценка, выбирается дозиметрическая система в соответствии с характеристиками используемых радиофармпрепараторов и оборудования. Далее проводится обучающая видеосессия для всего медицинского персонала радионуклидного отделения. Дозиметры размещаются у женщин в нижней части живота и на уровне груди, у мужчин – на уровне груди. Дозиметры должны также быть размещены поверх защитного фартука. Калибруются дозиметры, особенно для хрусталика глаза, и проводится инструктаж по использованию индивидуальных средств защиты.

Второй этап состоит из мониторинга радиационного фона на рабочем месте в режиме реального времени и информирования медицинского персонала о процессе и результатах. Выполняется дозиметрия в режиме реального времени с использованием секундомера для контроля времени, затраченного на различные рабочие этапы. Сбор данных для обратной связи с учётом анализа данных от коллег и пациентов проводят с помощью анкетирования и фиксируют возможные улучшения в работе.

Третий, заключительный, этап состоит из анализа данных и оптимизации рабочего процесса. На данном этапе выполняют сбор и анализ всех результатов дозиметров, выявляют динамику облучения каждого сотрудника. На этом этапе разрабатывают индивидуальные подходы к обеспечению радиационной безопасности каждого рабочего процесса, определяют достаточное число сотрудников, имеющих контакт с радиофармпрепаратами на рабочих местах, проводят обучение медицинского персонала непосредственно на рабочих местах с учётом рабочего процесса.

Для контроля дозовой нагрузки персонала рекомендуется внедрить данный протокол в систематический мониторинг, особенно при работе с детьми – одной из уязвимых групп пациентов.

Заключение

1. Даже небольшие дозы радиации в долгосрочной перспективе в процессе диагностических процедур с применением позитронно-эмиссионной томографии могут оказывать негативное влияние на иммунную систему медицинского персонала. Необходима актуализация стандартных протоколов радиационной безопасности в радионуклидных отделениях с учётом принципов ALARA для минимизации доз персонала, насколько это возможно в рабочем процессе.

2. Система радиационной безопасности в российской ядерной медицине требует совершенствования, несмотря на обновления в действующем законодательстве. Существующие системы мониторинга, такие как ЕСКИД, не могут предоставить достаточную информацию о радиационных рисках для медицинского персонала, работающего в контакте с радионуклидными препаратами. Необходимо повышение информированности медицинского персонала об уровне доз, получаемых при осуществлении профессиональных обязанностей.

3. В ядерной медицине России 1240 медицинских работников, преимущественно женского пола, имеют контакт с радионуклидами. Требуется дополнительный контроль дозовой нагрузки беременных женщин для минимизации рисков патологий плода, ассоциированных с воздействием ионизирующего излучения, в том числе аномалий развития и новообразований.

4. В педиатрической практике расширяется применение позитронно-эмиссионной томографии с использованием радионуклидов, несмотря на высокую радиочувствительность детей. Необходимо совершенствование действующих протоколов радиационной безопасности с учётом особенностей пациентов младшего возраста.

Литература (п.п. 5–7, 12, 14, 16–19 см. References)

1. Дружинина П.С., Романович И.К., Водоватов А.В., Чипига Л.А., Ахматдинов Р.Р., Братилова А.А. и др. Тенденции развития компьютерной томографии в Российской Федерации в 2011–2021 гг. *Радиационная гигиена*. 2023; 16(3): 101–17. https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-3-101-117 https://elibrary.ru/yswnaa
2. Бажин С.Ю., Шлеенкова Е.Н., Кайдановский Г.Н., Ильин В.А. О возможности сравнения среднегодовых эффективных доз облучения медицинского персонала России и некоторых зарубежных стран. *Радиационная гигиена*. 2020; 13(2): 89–98. https://doi.org/10.21514/1998-426X-2020-13-2-89-98 https://elibrary.ru/qgmxrq
3. Петрякова А.В., Чипига Л.А., Водоватов А.В., Смолярчук М.Я. Контроль качества при оптимизации радиационной защиты пациентов в радионуклидной диагностике. *Радиационная гигиена*. 2023; 16(3): 81–90. https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-3-81-90
4. Балтрукова Т.Б., Иванова О.И. Комплексный подход к подготовке специалистов по радиационной гигиене. *Радиационная гигиена*. 2015; 8(3): 80–5. https://elibrary.ru/wbfknn
5. Охрименко С.Е., Коренков И.П., Прохоров Н.И., Шандала Н.К., Захарова А.В. Радиационно-гигиеническая оценка современных медицинских технологий. *Гигиена и санитария*. 2020; 99(9): 939–46. https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-9-939-946 https://elibrary.ru/nrrrqu
6. Бажин С.Ю., Кайдановский Г.Н. Учет вклада природного фона при контроле индивидуальных доз персонала. *Радиационная гигиена*. 2021; 14(4): 122–8. https://doi.org/10.21514/1998-426X-2021-14-4-122-128 https://elibrary.ru/vatzpy
7. Чипига Л.А., Ладанова Е.Р., Водоватов А.В., Звонова И.А., Мосунов А.А., Наурзбаева Л.Т. и др. Тенденция развития ядерной медицины в Российской Федерации за 2015–2020 гг. *Радиационная гигиена*. 2022; 16(4): 122–33. https://doi.org/10.21514/1998-426X-2022-15-4-122-133
8. Водоватов А.В., Чипига Л.А., Братилова А.А., Дружинина П.С., Шацкий И.Г., Петрякова А.В. и др. Актуализация формы федерального государственного статистического наблюдения № 3-ДОЗ «Сведения о дозах облучения пациентов при проведении медицинских рентгенорадиологических исследований». Предпосылки к переработке. *Радиационная гигиена*. 2023; 16(2): 126–36. https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-2-126-136 https://elibrary.ru/uqghkr
9. Крестинина Л.Ю., Силкин С.С. Риск онкологических заболеваний репродуктивных органов у женщин Уральской котогоры аварийно-облученного населения: 1956–2019. *Радиационная гигиена*. 2023; 16(1): 91–103. https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-1-91-103
10. Сарычева С.С. Особенности применения средств радиационной защиты для персонала рентгенохирургических операционных. *Радиационная гигиена*. 2021; 14(4): 76–84. https://doi.org/10.21514/1998-426X-2021-14-4-76-84 https://elibrary.ru/rwhhoc
11. Капырина Ю.Н., Пузырев В.Г., Водоватов А.В., Комиссаров М.И., Алешин И.Ю. Оптимизация радиационной защиты детей при проведении рентгенорадиологических исследований – современные отечественные и зарубежные подходы. *Медицина и организация здравоохранения*. 2023; 8(2): 86–96. https://doi.org/10.56871/MHC0.2023.13.88.009
12. Пузырев В.Г., Водоватов А.В., Комиссаров М.И., Алешин И.Ю., Капырина Ю.Н. Анализ современных отечественных и зарубежных подходов к обеспечению радиационной защиты детей при проведении рентгенорадиологических исследований. *Медицина и организация здравоохранения*. 2023; 8(1): 82–92. https://doi.org/10.56871/MHC0.2023.47.29.008

References

1. Druzhinina P.S., Romanovich I.K., Vodovatov A.V., Chipiga L.A., Akhmatdinov R.R., Bratilova A.A., et al. Trends in the development of computed tomography in the Russian federation in 2011–2021. *Radiatsionnaya gigiena*. 2023; 16(3): 101–17. https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-3-101-117 https://elibrary.ru/yswnaa (in Russian)
2. Bazhin S.Yu., Shleenkova E.N., Kaidanovsky G.N., Ilyin V.A. Possibilities of comparing the average annual effective doses of medical personnel in Russia and some foreign countries. *Radiatsionnaya gigiena*. 2020; 13(2): 89–98. https://doi.org/10.21514/1998-426X-2020-13-2-89-98 https://elibrary.ru/qgmxrq (in Russian)
3. Petryakova A.V., Chipiga L.A., Vodovatov A.V., Smolyarchuk M.Ya. Equipment quality control during patient radiation protection optimisation in radionuclide diagnostics. *Radiatsionnaya Gygiena*. 2023; 16(3): 81–90. https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-3-81-90 (in Russian)
4. Baltrukova T.B., Ivanova O.I. Competence approach to training of experts in radiation hygiene. *Radiatsionnaya gigiena*. 2015; 8(3): 80–5. https://elibrary.ru/wbfknn (in Russian)
5. Rubin M., Gofur E., Ballane B., Thompson K., Meshekow J., Gerard P. “In the comfort zone”: The radiology resident as nuclear medicine technologist and radiation safety officer. *J. Nucl. Med.* 2022; 63(2): 2749.
6. Tandon P., Prakash D., Kheruka S.C., Bhat N.N. *Radiation Safety Guide for Nuclear Medicine Professionals*. Springer. 2022: 59–65.
7. Velo P., Ismail M.I., Mohandas K.K., Kasilingam L. A new upper limit for effective dose in patient administered with 18F-FDG for PET/CT whole-body imaging with diagnostic CT parameters. *J. Med. Imaging Radiat. Sci.* 2023; 54(1): 43–50. https://doi.org/10.1016/j.jmir.2022.09.010
8. Okhrimenko S.E., Korenkov I.P., Prokhorov N.I., Shandala N.K., Zakharkova A.V. Radiation-hygienic assessment of modern medical technologies. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2020; 99(9): 939–46. https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-9-939-946 https://elibrary.ru/nrrrqu (in Russian)
9. Bazhin S.Yu., Kaidanovsky G.N. Consideration of the contribution of the natural background component during individual control of radiation doses to personnel. *Radiatsionnaya gigiena*. 2021; 14(4): 122–8. https://doi.org/10.21514/1998-426X-2021-14-4-122-128 https://elibrary.ru/vatzpy (in Russian)
10. Chipiga L.A., Ladanova E.R., Vodovatov A.V., Zvonna I.A., Mosunov A.A., Naurozbaeva L.T., et al. Trends in the development of nuclear medicine in the Russian Federation for 2015–2020. *Radiatsionnaya gigiena*. 2022; 16(4): 122–33. https://doi.org/10.21514/1998-426X-2022-15-4-122-133 (in Russian)
11. Vodovatov A.V., Chipiga L.A., Bratilova A.A., Druzhinina P.S., Shatskiy I.G., Petryakova A.V., et al. Update of the federal governmental statistical surveillance form № 3-DOZ “Data on patient doses from medical X-Ray examinations”. Perquisites for the update. *Radiatsionnaya gigiena*. 2023; 16(2): 126–36. https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-2-126-136 https://elibrary.ru/uqghkr (in Russian)
12. Hung H.T.P., Tuyen P.N., Tai D.T., Long H.Q., Sulieman A., Omer H., et al. Assessment of radiation exposure in a nuclear medicine department of an oncology hospital. *J. Radiat. Res. Appl. Sci.* 2023; 16(2): 100564. https://doi.org/10.1016/j.jrras.2023.100564
13. Krestinina L.Yu., Silkin S.S. Cancer incidence risk of female reproductive organs in the Southern Urals Populations Exposed to Radiation Cohort: 1956–2019. *Radiatsionnaya gigiena*. 2023; 16(1): 91–103. https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-1-91-103 (in Russian)
14. International Commission on Radiological Protection. Pregnancy and medical radiation. *Ann. ICRP*. 2000; 30(1): III–VIII, 1–43. https://doi.org/10.1016/s0146-6453(00)00037-3
15. Sarycheva S.S. Features of radiation protection equipment for the staff of X-Ray operating rooms. *Radiatsionnaya gigiena*. 2021; 14(4): 76–84. https://doi.org/10.21514/1998-426X-2021-14-4-76-84 https://elibrary.ru/rwhhoc (in Russian)
16. Earl V.J., Baker L.J., Perdomo A.A. Effective doses and associated age-related risks for common pediatric diagnostic nuclear medicine and PET procedures at a large Australian pediatric hospital. *J. Med. Imaging Radiat. Oncol.* 2021; 66(1): 7–13. https://doi.org/10.1111/1754-9485.13257
17. Mohammadi N., Akhlaghi P. Evaluation of radiation dose to pediatric models from whole body PET/CT imaging. *J. Appl. Clin. Med. Phys.* 2022; 23(4): e13545. https://doi.org/10.1002/acm2.13545
18. Xie T., Zaidi H. Estimation of the radiation dose in pregnancy: an automated patient-specific model using convolutional neural networks. *Euro. Radiol.* 2019; 29(12): 6805–15. https://doi.org/10.1007/s00330-019-06296-4
19. Skawran S., Sartoretti T., Gennari A.G., Schwyzer M., Sartoretti E., Treyer V., et al. Evolution of CT radiation dose in pediatric patients undergoing hybrid 2-[18F]FDG PET/CT between 2007 and 2021. *Br. J. Radiol.* 2023; 96(1152): 20220482. https://doi.org/10.1259/bjr.20220482
20. Kapyrina Yu.N., Puzyrev V.G., Vodovatov A.V., Komissarov M.I., Alechin I.Yu. Optimization of radiation protection of children during X-Ray examination – existing national and international approaches. *Meditina i organizatsiya zdorovokhraneniya*. 2023; 8(2): 86–96. https://doi.org/10.56871/MHC0.2023.13.88.009 (in Russian)
21. Puzyrev V.G., Vodovatov A.V., Komissarov M.I., Alechin I.Yu., Kapyrina Yu.N. Analysis of the 14 national and international approaches to ensuring radiation protection of children during X-Ray examination. *Meditina i organizatsiya zdorovokhraneniya*. 2023; 8(1): 82–92. https://doi.org/10.56871/MHC0.2023.47.29.008 (in Russian)

Сведения об авторах

- Жернов Юрий Владимирович**, доктор мед. наук, доцент, профессор каф. общей гигиены ИОЗ Ф.Ф. Эрисмана ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), 119435, Москва, Россия. E-mail: zhernov_yu_v@staff.sechenov.ru
- Захарова Анастасия Владимировна**, ассистент каф. общей гигиены ИОЗ Ф.Ф. Эрисмана ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), 119435, Москва, Россия. E-mail: zakharova_a_v_3@staff.sechenov.ru
- Заброда Надежда Николаевна**, доктор мед. наук, профессор, профессор каф. общей гигиены ИОЗ Ф.Ф. Эрисмана ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), 119435, Москва, Россия. E-mail: zabroda_n_n@staff.sechenov.ru

Лыткина Александра Олеговна, соискатель каф. общей гигиены ИОЗ Ф.Ф. Эрисмана ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), 119435, Москва, Россия. E-mail: a.lytkina@me.com

Казимов Александр Эркинович, зав. отд. патологии головы и шеи ФГБУ ФНКЦ ФМБА России, 119048, Москва, Россия; ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), 119435, Москва, Россия

Information about the authors

Yury V. Zhernov, DSc (Medicine), Associate Professor, Professor of the Department of General Hygiene, F.F. Erisman Institute of Public Health F.F. Erisman, Sechenov University, Moscow, 119435, Russian Federation; A.N. Sysin Research Institute of Human Ecology and Environmental Hygiene, Centre for Strategic Planning of the Federal medical and biological agency, Moscow, 119121, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-8734-5527> E-mail: zhernov_yu_v@staff.sechenov.ru

Anastasia V. Zakharova, assistant at the Department of General Hygiene, F.F. Erisman Institute of Public Health, Sechenov University, Moscow, 119435, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-4815-8830> E-mail: zakharova_a_v_3@staff.sechenov.ru

Nadezhda N. Zabroda, DSc (Medicine), Professor, Professor of the Department of General Hygiene, Institute of Public Health F.F. Erisman, Sechenov University, Moscow, 119435, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0003-3913-552X> E-mail: zabroda_n_n@staff.sechenov.ru

Aleksandra O. Lytkyna, postgraduate student at the Department of General Hygiene, F.F. Erisman Institute of Public Health, Sechenov University, Moscow, 119435, Russian Federation. E-mail: a.lytkina@me.com

Alexander E. Kazimov, head of the Department of head and neck pathology of the Federal Scientific and Clinical Center for Specialized Types of Medical Care and Medical Technologies, Moscow, 115682, Russian Federation; Sechenov University, Moscow, 119435, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-7117-9453>