

На правах рукописи



Захарова Анастасия Владимировна

**Влияние факторов производственного процесса на иммунологические показатели
персонала отделения радионуклидной диагностики ПЭТ-центра**

3.2.1. Гигиена

3.2.7. Иммунология

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата медицинских наук

Москва – 2025

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет)

Научные руководители:

доктор медицинских наук, доцент

Заброда Надежда Николаевна

доктор медицинских наук, доцент

Жернов Юрий Владимирович

Официальные оппоненты:

Горбачев Дмитрий Олегович – доктор медицинских наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, кафедра общей гигиены, заведующий кафедрой

Аклеев Андрей Александрович – доктор медицинских наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, кафедра микробиологии, вирусологии и иммунологии, профессор кафедры

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Защита состоится «25» июня 2025 г. в 12:00 часов на заседании диссертационного совета ДСУ 208.001.18 при ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И. М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) по адресу: 119435, Москва, ул. Большая Пироговская, д. 2, стр. 2.

С диссертацией можно ознакомиться в Фундаментальной учебной библиотеке ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И. М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) (119034, г. Москва, Зубовский бул., д. 37/1) и на сайте организации: <https://www.sechenov.ru>

Автореферат разослан «__» _____ 2025 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета ДСУ 208.001.18

кандидат медицинских наук, доцент

Полибин Роман Владимирович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

В настоящее время известно более 13 позитронно-излучающих радионуклидов, используемых для позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ), количество синтезированных радиофармпрепаратов (РФП) достигает сотен, отмечается тенденция расширения синтеза новых узконаправленных препаратов [Барковский А. Н. и др., 2021; Wolfgang A. W. et al., 2020; Озерская А. В., 2023].

Препараты фтора наиболее часто используются в приоритетном методе диагностики - ПЭТ. Преимуществом этой технологии являются эффективность проведенной диагностической процедуры и доступность синтеза РФП [Дружинина П. С. и др., 2023].

Продолжающийся интенсивный рост количества исследований, распространенность и рост эффективной дозы от процедуры ПЭТ с РФП является актуальным вопросом для изучения вклада препаратов ^{18}F в лучевую нагрузку персонала, выполняющего определенные профессиональные обязанности [Чипига Л. А. и др., 2022; Рыжов С. А. и др., 2022, Nagamoto K. et al., 2024].

Одними из приоритетных направлений являются: оценка многофакторного воздействия на персонал радионуклидных отделений в процессе проведения диагностических процедур исследований ПЭТ, приведение к единым протоколам, автоматизация ручных процессов, оценка влияния исследований ПЭТ на иммунную систему медицинского персонала, исследование потенциальных аллергизирующих свойств данной технологии [Мироненко О. В. и др., 2019; Голиков В. Ю. и др., 2021; Hiba O. et al., 2023; Elshami W. et al., 2022].

Таким образом, анализ влияния данной технологии на иммунологические показатели крови, включающей комплексное воздействие факторов производственной среды, в том числе ионизирующего излучения, является актуальным для решения вопроса путей оптимизации производственных процессов проведения исследований ПЭТ [Чипига Л. А., 2018; Романович И. К. и др., 2022; Коренков И. П., 2019].

Степень разработанности темы исследования

Большинство доступных исследований в данной области описывают оптимизацию дозы пациента и применение единых протоколов проведения процедуры сканирования, процесса синтеза РФП и применение новых препаратов на основе радиоизотопов. Анализ факторов производственного процесса на рабочих местах персонала в отделениях радионуклидной диагностики (далее – ОРД) ПЭТ-центров, показал, что комплексное действие факторов не анализировалось, так же, как и их потенциальное иммунотоксическое и аллергизирующее действие.

Цель и задачи исследования

Цель исследования: изучить влияние производственных факторов при проведении исследований ПЭТ, с использованием препаратов ^{18}F на иммунологические показатели персонала.

Задачи исследования:

1. Исследовать факторы производственной среды на рабочих местах персонала ОРД ПЭТ-центра.
2. Провести анализ уровней эффективных доз персонала ПЭТ-центра и определение критических контрольных точек на рабочих местах в ОРД.
3. В эксперименте *in vivo* проанализировать свойства РФП.
4. Разработать предложения по оптимизации условий работы и информированности медицинского персонала ОРД во время проведения исследования ПЭТ.

Научная новизна

Анализ эффективных доз медицинского персонала ОРД ПЭТ-центра показал, что дозовая нагрузка у рентгенолаборанта составила в среднем 9,9 мЗв, что в 1,7 раз выше дозовой нагрузки медицинских сестер, дозовая нагрузка которых в среднем значении составила 5,8 мЗв. Проведена оценка мощности амбиентного эквивалента дозы от шприца в вольфрамовой защите, установлена в 10,7 раз более эффективная защита при транспортировке препаратов $^{99\text{m}}\text{Tc}$, мощность дозы с защитой составила 0,54 мкЗв/ч, чем при транспортировании препаратов ^{18}F внутри ПЭТ-центра, мощность дозы с защитой составила 31 мкЗв/ч.

При оценке физических факторов производственного процесса на рабочих местах ОРД ПЭТ-центра (медицинских сестер, рентгенолаборантов) установлено несоответствие гигиеническим требованиям: в помещении процедурной низкие показатели относительной влажности воздуха и скорости движения воздуха, соответственно 4,3% и 0,02 м/с, отсутствует естественное освещение. Установлено снижение фагоцитарного индекса на 21%, фагоцитарного числа на 43,4%, уровней Т-лимфоцитов – на 28%, В-лимфоцитов – на 25,8%, при воздействии факторов производственного процесса в ОРД.

Проведен анализ потенциально аллергизирующего действия препаратов ^{18}F в экспериментах *in vivo*. Наблюдается отсутствие аллергизирующего и иммунотоксического действия препаратов ^{18}F .

Разработаны рекомендации для медицинского персонала ОРД ПЭТ-центра.

Теоретическая и практическая значимость работы

Производственные факторы рабочего места формируют комплексное воздействие на здоровье медицинского персонала, подтвержденное результатами иммунологического статуса. Результаты исследования дают оценку дозовой нагрузки персонала и обосновывают

рекомендации для оптимизации технологического процесса.

Материалы рекомендаций интегрированы в учебные материалы, в лекции, практические занятия кафедры общей гигиены Института общественного здоровья имени Ф.Ф. Эрисмана ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет).

Методология и методы исследования

Методология исследования соответствовала поставленным задачам. Применялись общенаучные методы исследования, такие как: анализ литературы, изучение и обобщение опыта предыдущих исследований, сбор и анализ дозиметрических данных (протоколы производственного радиационного контроля, результаты собственных исследований эффективных доз – методом термолюминесцентной дозиметрии), проведен хронометраж рабочего дня персонала ПЭТ-центра, анкетно-опросный метод; иммунологические исследования (анализ крови Т- и В-лимфоцитов, фагоцитарного индекса, фагоцитарного числа); иммунобиологические методы (определение иммунотоксичности и аллергизирующих свойств препаратов ^{18}F), статистическая обработка данных с последующей интерпретацией.

Личный вклад автора

Автором в полном объеме выполнены все ключевые этапы диссертации, включая планирование, организацию, сбор и анализ данных. Автором проведен анализ дозиметрических данных, хронометраж рабочего дня медицинских сестер и рентгенолаборанта в ОРД ПЭТ-центре, разработана анкета для проведения опроса медицинского персонала, проведен анализ комплексного воздействия факторов производственного процесса на иммунологические показатели крови медицинского персонала ОРД. Проведена обработка данных, полученных анкетно-опросным методом. Данные анкетирования обобщены, обработаны, проанализированы.

Положения, выносимые на защиту

1. Эффективная доза рентгенолаборанта является наиболее высокой в ОРД ПЭТ-центре.
2. Комплекс факторов производственного процесса вызывает снижение фагоцитарной активности и уровней клеточного иммунитета в крови персонала ОРД ПЭТ-центра.
3. Комплексное воздействие факторов производственной среды ОРД ПЭТ-центра потенциально вызывает аллергические реакции у персонала.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Диссертация соответствует паспорту научной специальности 3.2.1. Гигиена, п. 1. «Исследования по изучению общих закономерностей влияния факторов окружающей среды на здоровье человека, а также методических подходов к их исследованию (общая гигиена)», п. 6. «Изучение закономерностей формирования радиационной обстановки и доз ионизирующих излучений, их влияния на здоровье людей, разработка санитарных правил и норм радиационной

безопасности населения (радиационная гигиена)». Также диссертация соответствует паспорту научной специальности 3.2.7. Иммунология, п. 7. «Разработка способов воздействия на иммунную систему с помощью фармакологических препаратов и методов иммунобиотерапии. Исследование эффективности и безопасности этих воздействий».

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность полученных результатов диссертационного исследования подтверждена достаточным объемом выборки данных, использованием статистических методов исследования и интерпретацией полученных результатов.

Изучение влияния ионизирующего излучения при работе с препаратами ^{18}F проводилось в медицинском центре АО «Европейский Медицинский Центр» методом ТЛД-дозиметрии. Исследование алергизирующих и иммунотоксических свойств препаратов ^{18}F было проведено на базе ФГБУ «ГНЦ Институт иммунологии» ФМБА России.

Основные положения диссертационного исследования доложены и обсуждены на: Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Актуальные вопросы профилактики инфекционных и неинфекционных болезней: эпидемиологические, организационные и гигиенические аспекты». Конференция состоялась с 16 по 18 ноября 2022 года, город Москва, Россия.

Апробация диссертации проведена на совместном заседании кафедры общей гигиены, кафедры экологии человека и окружающей среды, кафедры детей и подростков Института общественного здоровья имени Ф.Ф. Эрисмана ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский университет), протокол № 7 от 03 марта 2025 года.

Внедрение результатов исследования в практику

Основные научные положения, выводы диссертационного исследования внедрены в учебный процесс кафедры общей гигиены Института общественного здоровья имени Ф.Ф. Эрисмана ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) при изучении дисциплин «Общая гигиена» и «Радиационная гигиена». Акт о внедрении № 465 от 24 июня 2024 года.

Публикации по теме диссертации

На основе диссертационной работы опубликовано 8 работ, в том числе 4 научные статьи в журналах в изданиях, индексируемых в международной базе Scopus, 1 иная публикация, получено 1 свидетельство о регистрации базы данных, 2 публикации в сборниках материалов международных и всероссийских научных конференций.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа изложена на 160 страницах текста, содержит 32 таблицы, 16 рисунков, 6 схем. Диссертация включает следующие разделы: введение, обзор литературы,

материалы и методы, результаты и обсуждения полученных данных, заключение, практические рекомендации, список сокращений и условных обозначений, список литературы, приложения. Библиография включает 132 источника (64 отечественных и 68 зарубежных).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлся медицинский персонал отделения радионуклидной диагностики (ОРД) ПЭТ-центра, осуществляющий исследования ПЭТ.

В соответствии с поставленной целью и задачами проведено комплексное исследование 120 работников ПЭТ-центра основной группы, из них 44 работника отделения ОРД. Выделена группа – персонал ОРД, подвергающийся воздействию ионизирующего излучения в наибольшей степени, в том числе медицинские сестры и рентгенолаборанты.

Критериями включения в группу персонала, подвергающуюся воздействию ионизирующего излучения, являлись: работа в должности рентгенолаборанта, медицинской сестры; фасовка, транспортировка, введение РФП пациенту; наблюдение за пациентами с введенными РФП, проведение диагностического исследования ПЭТ.

Критериями включения персонала в контрольную группу являлось: работа в медицинском центре, на базе которого проводилось исследование; отсутствие контакта с ионизирующим излучением на рабочем месте.

Предметом исследования являлась медицинская документация: журнал учета доз персонала в рамках радиационного контроля; протоколы проведенной индивидуальной дозиметрии методом термолюминесцентной дозиметрии группы риска; протоколы хронометража рабочего дня; протоколы параметров микроклимата (температура, влажность, скорость движения воздуха); протоколы измерения напряженности электрического поля (ЭП), магнитного поля (МП); протоколы исследования освещенности, шума, паспорт на вытяжные и приточные системы вентиляции; результаты анализа крови персонала ОРД; протоколы изменения уровня антител класса IgE в ответ на введение ^{18}F -ФДГ и ^{18}F -L-ДОПА мышам. На проведение данного исследования получено разрешение этического комитета Сеченовского университета (протокол № 04-25 от 20.02.2025).

Исследование предполагало реализацию ряда последовательных этапов (Рисунок 1).

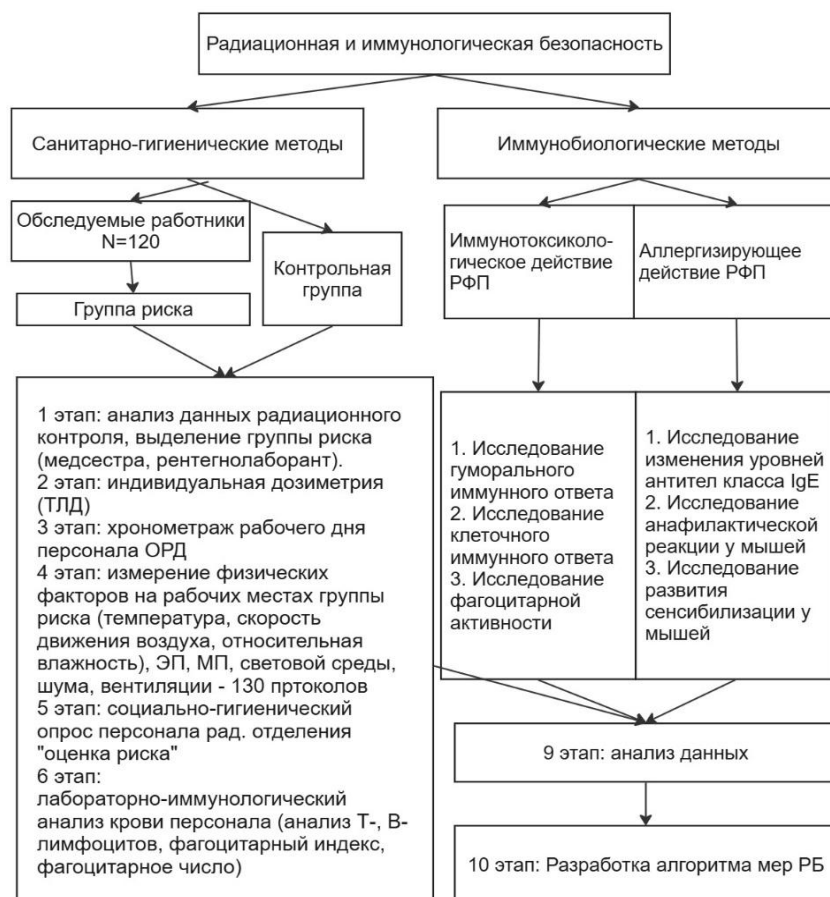


Рисунок 1 – Дизайн исследования

Первый этап включал: анализ данных радиационного контроля ПЭТ-центра в период с 2015-го по 2019 год (на основании протоколов производственного радиационного контроля – ПРК). Оценка проводилась по данным журналов учета доз персонала на основании актов санитарно-эпидемиологической экспертизы объекта. Оценка эффективной дозы персонала ПЭТ-центра проводилась из общей численности и составила группу в 120 человек, из которых сформировали группу персонала ОРД. Был проведен ретроспективный анализ дозовой нагрузки на персонал, данных дозиметрических измерений на рабочих местах сотрудников ПЭТ-центра и ОРД за исследуемый период.

Второй этап исследования был посвящен проведению собственных исследований мощности амбиентного эквивалента дозы на рабочих местах ОРД и индивидуальных эффективных доз персонала ПЭТ-центра методом термолюминесцентной дозиметрии – 110 протоколов.

Для измерения уровней мощности амбиентного эквивалента дозы внешнего гамма-излучения применялись дозиметр гамма-рентгеновского излучения ДКС АТ-1123: диапазон энергий 0,015 – 3 МэВ, диапазон МАЭД – 0,05 мкЗв/ч – 10 Зв/ч, погрешность измерений +/- 15%. Для оценки индивидуальных эффективных доз облучения персонала применялись дозиметры

ТЛД-1011 (Производства НТЦ «Практика») на основе поликристаллического LiF (Cu, Mg, P), диапазон измерений 5 мкЗв – 12 Зв для энергий 0.015 – 10 МэВ. Измерения детекторов производились на термолюминисцентном анализаторе «HARSHAW» TLD system 4000; Thermo Scientific Ltd. «Лаборатории радиационного контроля» кафедры радиохимии МГУ им. М. В. Ломоносова. Максимальная пропускная способность данной лаборатории – до 26 пациентов.

В третьем этапе был проведен хронометраж рабочего дня сотрудников ОРД: медицинских сестер и рентгенолаборантов.

Хронометраж рассчитан с указанием Коэффициента действующего освоения (КДО, %), с целью оценки количества часов из времени рабочего дня, затраченного на выполнение основных трудовых функций, показатель рассчитан в процентах. Сравнительный анализ проведен с установленными нормативами действующего законодательства хронометража рабочего дня медицинской сестры и медицинского персонала с аналогичной рабочей нагрузкой.

Четвертый этап заключался в проведении инструментального измерения, получены 130 протоколов: параметров микроклимата (температура воздуха, относительная влажность воздуха, скорость движения воздуха), электрических полей (ЭП), магнитных полей (МП) на рабочих местах группы риска, с учетом типа рабочей позы (сидя, стоя). Был проведен анализ протоколов аккредитованных организаций измерений показателей освещенности, шума, анализ паспортов на вытяжные и приточные системы вентиляции. Проведение оценки тяжести и напряженности труда персонала ОРД согласно Руководству Р 2.2.2006-05. 2.2. «Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда».

Для проведения измерений использовалось оборудование от кафедры общей гигиены ИОЗ им. Ф. Ф. Эрисмана Сеченовского университета: Измеритель параметров микроклимата Метеоскоп-М, № 32014-11 (Свидетельство № 6907/15-Н), погрешность измерения $\pm 0,2$; диапазон измерения относительной влажности, % от 3 до 97, погрешность измерения $\pm 3,0$; диапазон измерений скорости воздушного потока, м/с от 0,1 до 20, погрешность измерения от 0,1 до 1 м/с $\pm (0,05+0,05V)$. Измеритель напряженности поля промышленной частоты ПЗ-50, № 2105 (Свидетельство № 2/204-04077-14) диапазон измерения напряженности электрического поля от 0,01 до 100 кВ/м; диапазон измерения напряженности магнитного поля от 0,1 до 1800 А/м. Замеры проводились на уровнях: 0,5 м, 1 м, 1,5 м и 1,8 м. В случае сидячих рабочих мест исследования проводились на уровне: 0,5 м, 1 м. На вертикальных (стоячих) рабочих местах исследования проводились на уровне: 1,5 м и 1,8 м.

Пятый этап заключался в проведении анкетно-опросного исследования данных персонала радионуклидного отделения (n=120 респондентов) на предмет оценки потенциального риска от воздействия ионизирующего излучения на рабочем месте. Анкета включала 47

вопросов, в анкету входило 4 блока: 1-й – социально-демографические характеристики; 2-й – осведомленность и оценка потенциального риска для здоровья на рабочем месте; 3-й – соблюдение мер радиационной безопасности, ношение средств индивидуальной защиты (СИЗ), 4-й – оценка состояния здоровья.

Шестой этап исследования включал проведение лабораторно-иммунологического анализа крови сотрудникам ОРД ПЭТ-центра иммунологическим методом (анализ Т- и В-лимфоцитов, фагоцитарного индекса, фагоцитарного числа) – 92 протокола. Контрольную группу составили 23 клинических сотрудника, не работающих с ионизирующим излучением.

Седьмой этап исследования включал оценку иммунотоксичности препаратов ^{18}F : 2-фтор-2-дезоксид-Д-глюкозы (^{18}F -ФДГ) и 6- ^{18}F -L-дигидроксифенилаланин (^{18}F -ДОПА) на мышах по методике Миронова (Миронов А. Н., 2012).

В ходе восьмого этапа исследования проводилась оценка аллергизирующих свойств исследуемых радионуклидных препаратов по методике Миронова (Миронов А. Н., 2012).

Девятый этап включал проведение обработки данных.

Десятый этап исследования – разработка рекомендаций для персонала при проведении процедуры ПЭТ с РФП в радионуклидном отделении с учетом профессиональных обязанностей на рабочих местах.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка эффективной дозы. При анализе протоколов производственного радиационного контроля (ПРК) установлено, что с 2015-го по 2019 год в ПЭТ-центре наблюдалось увеличение на 2,7 мЗв средней индивидуальной дозы персонала в должностях работников: врачи-радиологи и рентгенологи, медицинские физики, радиохимики, химики-аналитики, инженеры-радиохимики, фельдшеры, санитары, что объясняется постепенным выходом ПЭТ-центра на максимальное количество обследуемых пациентов.

В совокупности за исследуемый период с 2015-го по 2019 год, по данным ПРК, показатель индивидуальных доз для медицинских сестер, рентгенолаборантов увеличился на 3,56 мЗв, что объясняется постепенным выходом ОРД на максимальное количество обследуемых пациентов (26 пациентов в смену). Превышений установленных норм СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности. Санитарные правила и нормативы» не установлено.

При анализе эффективных доз медицинского персонала ПЭТ-центра и персонала ОРД установлено, что средний показатель эффективных доз медицинского персонала ОРД достоверно выше ($P > 0,05$), чем у персонала ПЭТ-центра, согласно вычисленному t-критерию Стьюдента (Таблица 1).

Таблица 1 – Анализ среднего показателя эффективной дозы сотрудников ПЭТ-центра и медицинских сестер, рентгенолаборантов (различия статистически значимы при $p < 0,05$ согласно t-критерию Стьюдента)

Год	Средний показатель эффективной дозы (мЗв)	Средний показатель эффективной дозы медицинских сестер и рентгенолаборантов (мЗв)
2015	1,71	2,88
2016	3,38	5,20
2017	4,11	6,29
2018	4,08	6,35
2019	4,41	6,44

В данном случае отмечается такая же тенденция в изменении эффективной дозы сотрудников ОРД, обусловленная динамикой количества обследуемых пациентов.

В течение анализируемого периода произошло увеличение численности персонала ПЭТ-центра: общее число сотрудников возросло на 17 человек (с 27 в 2015 году до 44 в 2019 году), среди них медицинских сестер и рентгенолаборантов – на 14 человек (Рисунок 2).

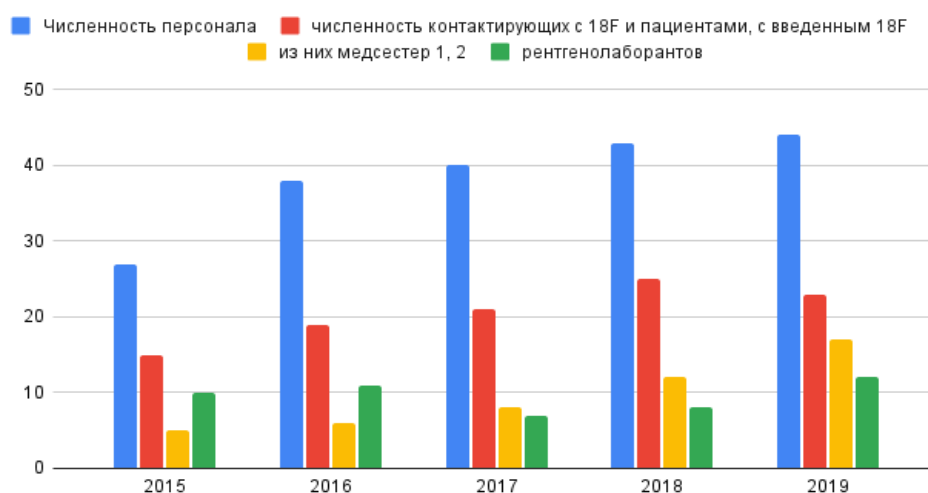


Рисунок 2 – Численность персонала радионуклидного отделения за 2015–2019 годы

В процессе проведения анализа индивидуальной эффективной дозы персонала ОРД (медицинских сестер, рентгенолаборантов) по протоколам ПРК установлена тенденция роста в 2019 году в сравнении с 2015 годом, которая составила в среднем: медицинская сестра (1) – 4,7 мЗв, медицинская сестра (2) – 3,53 мЗв, рентгенолаборант – 4,22 мЗв, такая тенденция объясняется выходом на максимальное количество обследуемых пациентов (Рисунок 3).

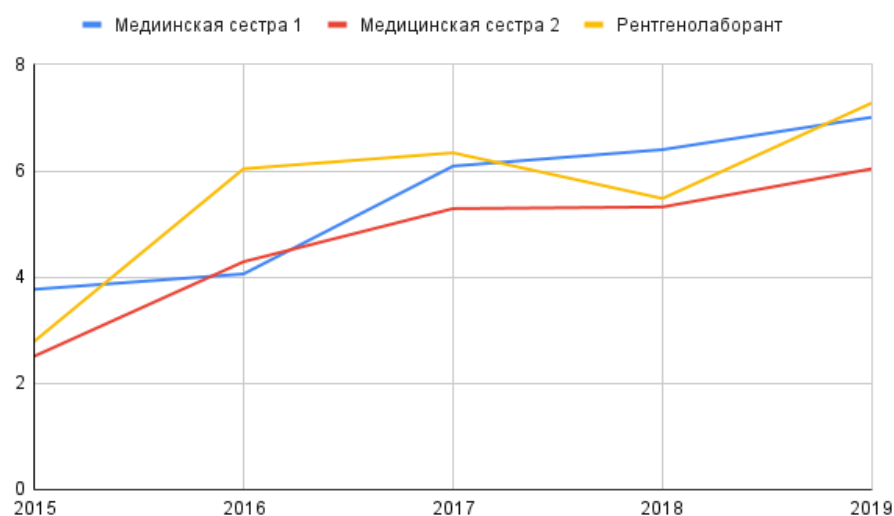


Рисунок 3 – Анализ эффективной дозы медицинских сестер (1), (2) и рентгенолаборанта ОРД за 2015–2019 годы

С целью оценки распределения дозовой нагрузки на персонал были проведены измерения эффективной дозы для медицинской сестры (1), медицинской сестры (2), рентгенолаборанта за 5 рабочих смен и проанализированы с данными ПРК за 2019 год (Таблица 2).

Таблица 2 – Сравнительная оценка доз облучения сотрудников ОРД ПЭТ-центра за 5 рабочих смен и за год (основная погрешность измерения с доверительной вероятностью 0,95)

Наименование должности	Еэфф. за 5 рабочих смен, мЗв	Еэфф. за год / Нижняя часть живота, мЗв
Медицинская сестра (1)	0,2	6,8 / 6,4
Медицинская сестра (2)	0,2	4,8 / 5,2
Рентгенолаборант	0,3	9,9

На основании полученных данных, с учетом времени облучения, показатели эффективной дозы в год составили: рентгенолаборант (9,9 мЗв), медицинская сестра (1) (6,8 мЗв), медицинская сестра (2) (4,8 мЗв). Более низкие дозы у медицинских сестер по сравнению с рентгенолаборантом объясняются тем, что у медсестер дозовая нагрузка распределяется за рабочий день на двоих, при этом рентгенолаборант выполняет исследование ПЭТ для всех пациентов от обеих медсестер.

Определение рабочих мест с наиболее высоким уровнем облучения персонала. При проведении диагностической процедуры с препаратами ^{18}F установлены основные этапы

технологического процесса и рабочие места с наибольшей дозовой нагрузкой (Рисунок 4).

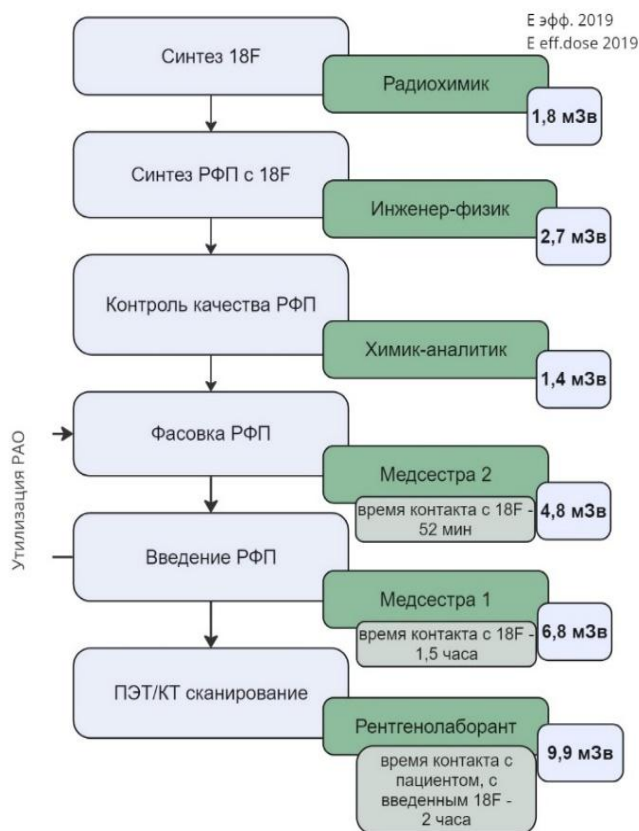


Рисунок 4 – Определение рабочих мест в ПЭТ-центре с наиболее высоким уровнем облучения персонала

В результате хронометража рабочего дня медсестры (1) установлено: за рабочую смену 14 часов, осуществляет сопровождение и регистрацию пациента, установку внутривенного катетера, введение РФП, инструктаж пациента, контроль за пациентом при распределении РФП. Количество пациентов – 15. Активность вводимого РФП – 387 МБк. Общее время пребывания медсестры в зоне облучения составляет 1,5 часа, время инъекции – 13 минут. Вклад в годовую дозу – 3-3,5 мЗв (Таблица 3).

Таблица 3 – Хронометраж рабочего дня медицинской сестры (1) ОРД с учетом Коэффициента действующего освоения (КДО; %)

Наименование	Процентное отношение времени, затраченного на операцию к общему времени смены (%)	Установленный норматив (%)
Основная деятельность, в том числе:	53,7	50

Продолжение Таблицы 3

<ul style="list-style-type: none"> • Сопровождение пациента на исследование • Регистрация (внесение в базу данных, аллергоанамнез, оценка уровня глюкозы, вес, рост для расчета активности РФП, питание в день исследования) • Установка внутривенного катетера • Введение РФП с ^{18}F • Контроль за состоянием пациента в зоне ожидания («релаксационной») • Инструктаж пациента с введенным РФП с ^{18}F 	<p>3,2</p> <p>9,1</p> <p>2,9</p> <p>1,5</p> <p>29,8</p> <p>7,2</p>	
Общее время, проведенное в зоне воздействия ионизирующего излучения	14,3	

Также в ходе работы было затрачено на следующие операции время в процентах: вспомогательную деятельность (14,3%), работа с документацией (15,2%), официальное общение (4,6%), свободное время (4,7%).

В результате измерения мощность дозы на уровне локтя медицинской сестры может достигать 100 и более мкЗв/час, а за период наблюдения за пациентами в зоне ожидания – в пределах 0,5-20 мкЗв/ч.

При проведении хронометража рабочего дня медсестры (2) установлено, что за рабочую смену 14 часов происходит подготовка шприца с РФП, доставка шприца в вольфрамовой защите, ожидание пустого шприца, возврат пустого шприца в отделение фасовки. Количество пациентов – 11. Активность вводимого РФП – 387 МБк. Комплексное время облучения – 52 минуты. Вклад в годовую дозу – 2-2,5 мЗв (Таблица 4).

Таблица 4 – Хронометраж рабочего дня медицинской сестры (2) ОРД с учетом Коэффициента действующего освоения (КДО; %)

Наименование	Процентное отношение времени, затраченного на операцию, к общему времени смены (%)	Установленный норматив (%)
Основная деятельность, в том числе при контакте с радионуклидом:	51,4	50

Продолжение Таблицы 4

<ul style="list-style-type: none"> • Подготовка шприца с необходимой индивидуальной активностью РФП ^{18}F • Доставка шприца в вольфрамовой защите до процедурной • Ожидание пустого шприца в вольфрамовой защите • Возврат пустого шприца в вольфрамовой защите до отделения фасовки, разбор, утилизация остатков. 	4,3	
	1,2	
	1,5	
	1,9	
Общее время, проведенное в зоне воздействия ионизирующего излучения	8,9	

Вспомогательная деятельность заняла 21,6% от общего времени, работа с документацией – 12,3%, официальное общение – 6,1%, свободное время – 8,6%.

Было установлено: в ОРД медсестры в процессе осуществления должностных обязанностей (введения РФП и их фасовки) заменяют друг друга с целью смены алгоритма действий и снижения утомляемости, связанной с однотипностью задач. Продолжительность смены превышает установленные нормативы и составляет 14 часов. Установлено: медсестра (1) выполняла функции, связанные с присутствием фактора ионизирующего излучения, дольше, чем медсестра (2).

В рамках исследования установлено: продолжительность рабочей смены сотрудников ОРД – 14 часов, максимальное число пациентов – 26, количество смен в неделю – 3, что превышает нормативные 36 часов работы с применением открытых радиоактивных источников, определенные Постановлением Правительства РФ от 14.02.2003 № 101 «О продолжительности рабочего времени медицинских работников в зависимости от занимаемой ими должности и (или) специальности». Установленная нагрузка приводит к снижению четкости и скорости выполнения рабочих обязанностей, к увеличению времени облучения и ведет к увеличению эффективной дозы сотрудника.

В результате хронометража рабочего дня рентгенолаборанта установлено: за рабочую смену в 14 часов осуществляет сопровождение пациента, укладку, инструктаж пациента, сканирование в ПЭТ-пультовой, завершение процедуры. Количество пациентов – 26. Активность введенного РФП – 387 МБк. Комплексное время облучения – 2 часа. Вклад в годовую дозу – 3,5-4 мЗв (Таблица 5).

Таблица 5 – Хронометраж рабочего дня рентгенолаборанта с учетом Коэффициента действующего освоения (КДО; %)

Наименование	Процентное отношение времени, затраченного на операцию, к общему времени смены (%)	Установленный норматив (%)
Основная деятельность, в том числе при контакте с радионуклидом:	52,2	50
<ul style="list-style-type: none"> • Приглашение и сопровождение пациента с активностью 380-387 МБк в помещение с ПЭТ-сканером • Укладка, инструктаж пациента перед проведением ПЭТ-сканирования • Сканирование в помещении пультавой • Завершение процедуры, сопровождение пациента в помещение ожидания пациентов 	5,8 11,9 2,7 3,4	
Общее время, проведенное в зоне воздействия ионизирующего излучения	23,8	

Вспомогательная деятельность заняла 14,5% от общего времени, работа с документацией – 17,8%, официальное общение – 9,8%, свободное время – 5,7%.

В результате измерений мощности дозы проведен сравнительный анализ защитных свойств вольфрамового контейнера марки «КС 223 А» толщиной 2,5 мм при использовании препаратов ^{18}F с активностью 383 МБк и $^{99\text{m}}\text{Tc}$, с активностью 440 МБк (Таблица 6).

Таблица 6 – Оценка мощности дозы от шприца в вольфрамовой защите

Радионуклид	Мощность дозы, мкЗв/ч	
	Без защиты	С защитой
^{18}F	62	31
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	11,6	0,54

Зафиксировано, что наиболее эффективная защита была установлена при использовании $^{99\text{m}}\text{Tc}$, при этом сотрудник ОРД, имеющий контакт с препаратом ^{18}F , предполагал гораздо большую эффективность вольфрамовой защиты в отношении данного радионуклида.

На основании полученных результатов исследования установлено: необходимость в обучении персонала вопросам радиационной безопасности с учетом специфики выполнения рабочих технологий и операций, что позволит выработать соответствующие навыки эффективной защиты. В частности, с целью оптимизации облучения следует применять

локальные средства защиты, позволяющие увеличить расстояние от источника излучения до тела персонала.

Определение физических факторов. В процессе проведения исследования напряженности электрического поля на рабочих местах установлено: наибольшие значения были на высоте замеров 1,5 метра и в помещениях фасовки препаратов ^{18}F (0,73 кВ/м), процедурной (0,58 кВ/м), релаксационной (0,37 кВ/м), пультовой ПЭТ-сканирования (0,42 кВ/м).

При проведении исследования напряженности магнитного поля на рабочих местах установлено: наибольшие значения были на высоте замеров 1,5 метра и в помещениях фасовки препаратов ^{18}F (14 А/м), процедурной (6,7 А/м), пультовой ПЭТ-сканирования (8,7 А/м), релаксационной (28,4 А/м).

В процессе проведения измерений температуры на рабочих местах радионуклидного отделения установлено: температура в помещениях изменялась и составила для всех исследуемых помещений на всех показателях высоты 19–24°C. Самый низкий показатель температуры был установлен в помещении лаборатории контроля качества РФП – 19,2°C, самый высокий показатель в пультовой ПЭТ-сканирования – 24,6°C.

В ходе проведения замеров параметров относительной влажности воздуха в холодный период года при температуре 22°C установлено: полученные показатели ниже нормативных в процедурной в 13,95 раз (на высоте 1 метра – 4,3%), в помещении фасовки РФП в 9,38 раз (на высоте 1 метра – 6,4%), в лаборатории синтеза в 2,08 раз (на высоте 1 метра – 28,9%), лаборатории контроля качества в 2,9 раз (на высоте 1 метра – 20,7%), релаксационной в 5,94 раз (на высоте 1 метра – 10,1%).

При измерении скорости движения воздуха отмечен высокий показатель в пультовой циклотрона на высоте 0,1 м – 0,39 м/с, на высоте 1 м – 0,05 м/с, на высоте 1,7 м – 0,05 м/с, низкий – в помещении релаксационной, месте введения препарата с ^{18}F – 0–0,01 м/с на всех показателях высоты.

Освещение искусственное при помощи люминесцентных ламп, по данным протокола аккредитованной организации, параметры освещенности находятся в пределах нормы установленного законодательства. Отсутствие естественного света в помещении усиливает тяжесть и напряженность труда контрольной группы.

Уровни шума от технического оборудования на рабочих местах критической группы соответствуют установленным нормативам.

При исследовании вентиляционных систем установлено, что в процедурной и пультовой ПЭТ предусмотрена автономная приточно-вытяжная вентиляция с механическим побуждением.

Кратность воздухообмена исследуемых помещений соответствует требованиям МУ 2.6.1.1892-04 «Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при проведении

радионуклидной диагностики с помощью радиофармпрепаратов».

На рабочих местах сотрудников ОРД зафиксированы следующие физические факторы, значения которых представлены в Таблице 7.

Таблица 7 – Сравнительная оценка физических факторов на рабочих местах сотрудников ОРД

Должность	Помещение ПЭТ-центра	ЭП, кВ/м	МП, А/м	T, °С	Влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Медсестра (1)	Лаборатория синтеза / Процедурная	0,58	6,7	22,9	4,3	0,05
Медсестра (2)	Лаборатория синтеза / Процедурная	0,73	14	19,4	28,9	0,02
Рентгенолаборант	Ожидательная / пультовая ПЭТ	0,42	28,4	21	10,1	0

Исходя из полученных данных на рабочих местах персонала ПЭТ-центра, включая сотрудников ОРД, наблюдается мультифакторное воздействие. При оценке совокупности факторов на рабочих местах зафиксированы низкие показатели относительной влажности воздуха, скорости движения воздуха, отсутствие естественного освещения.

Результаты проведенной оценки класса опасности, тяжести и напряженности труда на рабочих местах сотрудников ОРД отображены в Таблице 8.

Таблица 8 – Результаты оценки определения класса опасности, тяжести и напряженности труда рабочих мест сотрудников ОРД

Параметр	Класс условий труда						
	оптимальный	допустимый	вредный				опасный
	1	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4
Акустические (шум)		+					
Неионизирующие излучения (ЭП, МП)		+					
Ионизирующие излучения			+				
Микроклимат			+				
Освещение			+				
Тяжесть труда	+						
Напряженность труда				+			
Общая оценка условий труда				+			

На основании полученных данных, в соответствии с гигиеническими критериями оценки факторов рабочей среды, тяжести и напряженности трудового процесса и гигиенической классификации условия труда сотрудников ОРД по показателям вредности и опасности определены как вредные условия труда, а именно 2 степень 3 класса (3.2), согласно которому уровни вредных факторов, вызывающие функциональные изменения, приводящие в большинстве случаев к увеличению профессионально обусловленной заболеваемости и возможному появлению начальных признаков или легких форм профессиональных заболеваний в результате многолетней работы (свыше 15 лет), с сохранением профессиональной трудоспособности.

Результаты оценки восприятия риска персоналом на рабочих местах радионуклидного отделения анкетно-опросным методом. Анализ анкетирования показал, что 65% медицинского персонала ОРД ПЭТ-центра отмечали учащение простудных заболеваний с момента начала работы в радионуклидном отделении, информируя о 4-6 случаях в год.

В результате оценки наличия аллергических реакций по данным анкетирования: персонал связывает аллергические реакции с работой – 0,83% респондентов; наличие аллергических реакций, возможно, связанных с работой в радионуклидном отделении – 27,2%; отсутствие аллергических реакций – 71,97% респондентов.

На основании полученных результатов в «Алгоритм обеспечения радиационной безопасности радионуклидного отделения ПЭТ-центра» в случае наличия жалоб персонала были включены: проведение аллергологических тестов, проведение иммунологических тестов крови в рамках периодических медицинских осмотров (ПМО).

Результаты оценки иммунологических показателей крови персонала радионуклидного отделения. Установлено, что у сотрудников радионуклидного отделения при работе с ПЭТ в процессе диагностической процедуры ПЭТ-сканирования отмечено снижение показателей фагоцитарной активности, показателей клеточного иммунитета (Т-, В-лимфоцитов). Диапазон значений эффективных доз сотрудников ПЭТ-центра составил 4,41-6,22 мЗв (Таблица 9).

Таблица 9 – Обобщенные данные иммунологического исследования ($p < 0,005$ при сравнении результатов исследуемой и контрольной групп)

	Исследуемая группа	Контрольная группа
Характеристики группы		
Возраст (лет)	32±2,3	34,2±3,4
Пол (%)	М – 35, Ж – 65	М – 35, Ж – 65

Продолжение Таблицы 9

Стаж работы (лет)	6,3±2,1	7,1±2,6
Доза (мЗв/год)	6,22±2,5	-
Доза за 5 лет работы	28,1±4,6	-
Иммунологические показатели крови		
Фагоцитарный индекс, %	40,5±2,6	51,3±2,1
Фагоцитарное число	1,45±0,1	2,56±0,1
Т-лимфоциты в 1 мл ³ (M±m)	534±43,4	743±41,2
В-лимфоциты в 1 мл ³ (M±m)	189±19,4	254,7±25,7

Результаты иммунотоксического воздействия препаратов ¹⁸F-2-дезоксид-глюкозы и 6-¹⁸F-L-дигидроксифенилаланин в эксперименте *in vivo*. Указанные препараты ¹⁸F оказывают влияние на гуморальный иммунитет, проявляют небольшое стимулирующее действие, приводящее не более чем к двукратному усилению на эритроциты барана иммунного ответа.

Растворы с активностью 100МБк и 110МБк (¹⁸F-2-дезоксид-глюкозы и 6-¹⁸F-L-дигидроксифенилаланин) объемом 0,5 мл вводились в дозировке 2,5 МБк/кг и 25 МБк/кг соответственно, физиологический раствор служил отрицательным контролем.

Состояние клеточного иммунитета при введении ¹⁸F-2-дезоксид-глюкозы и 6-¹⁸F-L-дигидроксифенилаланин показало отсутствие влияния инъекции РФП к гетерологичному антигену на гиперчувствительность замедленного типа.

Анализ фагоцитарной активности при инъекции препаратов ¹⁸F в эксперименте *in vivo*. Анализ воздействия ¹⁸F-ФДГ и 6-¹⁸F-L-ДОПА на функциональные состояния фагоцитирующих клеток крови, при введении растворов с активностью 100МБк и 110МБк (¹⁸F-2-дезоксид-глюкозы и 6-¹⁸F-L-дигидроксифенилаланин) объемом 0,5 мл вводились в дозировке 2,5 МБк/кг и 25 МБк/кг соответственно, физиологический раствор служил отрицательным контролем, показал отсутствие иммунотоксического действия на активность фагоцитов крови при инъекции препаратов ¹⁸F. Выявлено сохранение способности фагоцитов реагировать на опциональный стимул *in vitro* эксудатом.

Результаты оценки аллергизирующего действия препаратов ¹⁸F в эксперименте *in vivo*. По результатам исследования при инъекции препаратов ¹⁸F активностью 2,5 МБк/кг (¹⁸F-ФДГ и 6-¹⁸F-L-ДОПА) зафиксировано изменение уровня антител IgE, не приводящее к значимому изменению уровня сывороточных специфических аллерген ассоциированных антител (IgE), таким образом выраженных аллергических реакций не отмечено.

Анализ динамики анафилактической реакции при инъекции препаратов ¹⁸F у

мышей. Не установлено весомых изменений в показателях специфических IgE при оценке наличия в сыворотке крови мышей специфических антител к внутрибрюшинной инъекции препаратов ^{18}F (^{18}F -ФДГ и 6- ^{18}F -L-ДОПА). Таким образом, препараты ^{18}F не углубляют аллергическую реакцию на антиген.

Анализ динамики сенсибилизации при инъекции препаратов ^{18}F у мышей. Результаты анализа анафилактической активности препаратов ^{18}F установили отсутствие специфических гомоцитотропных антител IgE, способных вызвать анафилаксию, тропных к компонентам препаратов ^{18}F у объектов эксперимента.

Разработка предложений по совершенствованию условий работы медицинского персонала ОРД. Для оптимизации радиационно-гигиенического режима в подразделениях ПЭТ-центра предложен обновленный алгоритм обеспечения радиационной безопасности (Рисунок 5).

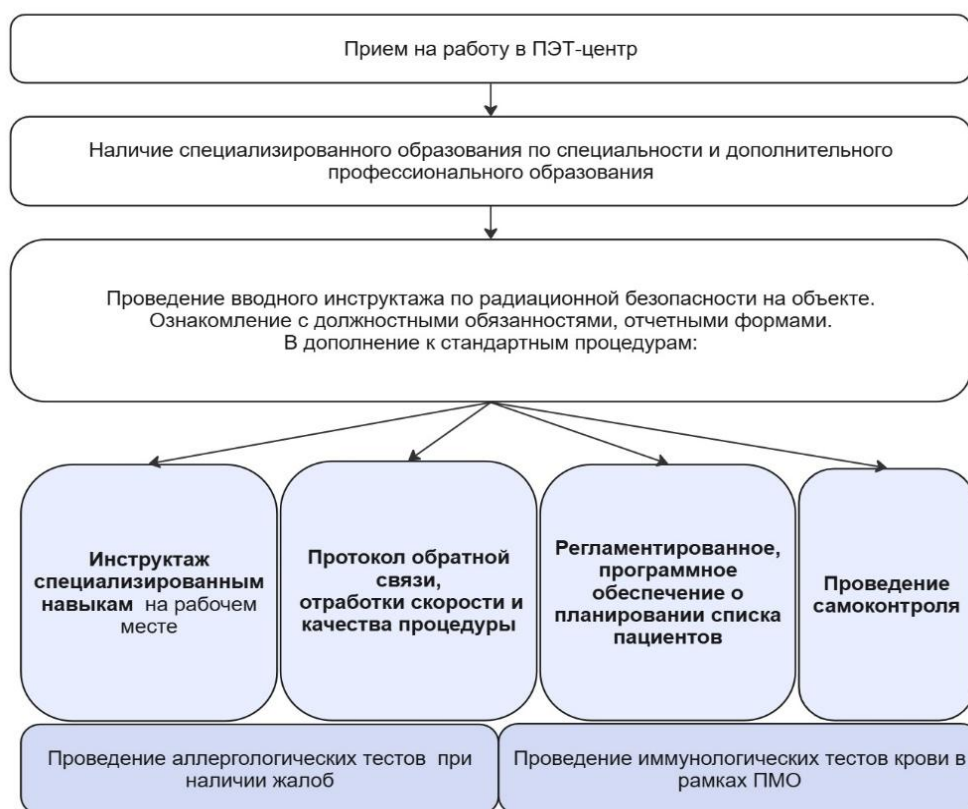


Рисунок 5 – Алгоритм обеспечения радиационной безопасности в подразделениях ПЭТ-центра

Предложен алгоритм по планированию расписания и нагрузки за смену сотрудника, согласно активности радионуклидов, применяемых для диагностических процедур пациентов; по введению отчетности и составлению сравнительного анализа нагрузки на персонал с целью принятия решений ответственными за радиационную безопасность по равномерному распределению дозовой нагрузки на персонал и при необходимости – принятию мер по обоснованному увеличению штата сотрудников.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Ответственным за радиационную безопасность ПЭТ-центра. Оптимизация расписания рабочих смен с учетом распределения дозовой нагрузки на персонал. Проводить оценку иммунологических показателей крови медицинского персонала ОРД со стажем работы более трех лет. Персонализировать программы по обучению персонала правилам радиационной безопасности, мотивировать соблюдение установленных требований.

Медицинскому персоналу ОРД ПЭТ-центра. Разработано специализированное приложение для мобильных устройств, позволяющее фиксировать и анализировать дозы ионизирующего излучения сотрудниками ОРД центра за условный период, фиксировать жалобы со стороны здоровья, связанные с рабочим процессом. Участвовать в персонализированных программах обучения на рабочем месте, учитывающих специфику технологии проведения процедуры.

ВЫВОДЫ

1. Годовая эффективная доза персонала ОРД ПЭТ-центра за период с 2015-го по 2019 год находилась в диапазоне 4,41-6,44 мЗв. Средний показатель эффективных доз медицинских сестер и рентгенолаборантов (5,43 мЗв) достоверно выше ($p > 0,05$), чем у медицинского персонала ПЭТ-центра (3,54 мЗв). Установлено неравномерное распределение дозовой нагрузки у медицинских сестер (1) и (2), в связи со сменой друг друга в процессе введения и фасовки РФП, медсестра (1) выполняла функции, связанные с присутствием фактора ионизирующего излучения дольше, чем медсестра (2). Длительность рабочего дня персонала ОРД составляла 14 часов в смену, что превышает недельное регламентированное значение на 6 часов.

2. Производственные факторы рабочего места и технология проведения исследования ПЭТ формируют комплекс воздействия на здоровье медицинского персонала. Установлено несоответствие гигиеническим требованиям: по показателям относительной влажности воздуха (в процедурной на высоте 1 метра – 4,3%) и скорости движения воздуха (в процедурной на высоте 1 метра – 0,02 м/с), естественное освещение не предусмотрено. Совокупность физических факторов: показатели микроклимата, ЭП, МП, шум, освещенность, ионизирующее излучение, снижает фагоцитарную активность (фагоцитарный индекс – на 21%, фагоцитарное число – 43,4%), уровни Т-лимфоцитов (на 28%), В-лимфоцитов (на 25,8%) у персонала.

3. Препараты ^{18}F не оказывают алергизирующее действие на персонал ПЭТ-центра. Анализ иммунотоксичности РФП на мышях показал, что данные препараты не имеют выраженного иммунотоксического действия.

4. Разработанные рекомендации учитывают профессиональные обязанности,

способствуют повышению информированности сотрудников ОРД ПЭТ-центра о дозовой нагрузке. Разработано приложение для мобильного устройства, позволяющее фиксировать дозовую нагрузку персонала.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

1. Реализация персонализированных обучающих программ непосредственно на рабочих местах отделения радионуклидной диагностики с учетом новейших научных данных и международного опыта.

2. Создание базы данных для комплексной оценки рисков персонала отделения радионуклидной диагностики, включая иммунологические показатели крови, с учетом стажа работы в радионуклидном отделении.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРАЦИИ

1. Результаты проведения радиационно-гигиенической паспортизации города Москвы в период с 2013-2016 г. / П.И. Мельниченко, Н.И. Прохоров, А.М. Большаков, Т.М. Ходыкина, **А.В. Захарова** // **Гигиена и санитария**. – 2019. – Т. 98. – № 3. – С. 261-267. [Scopus]

2. Радиационно-гигиеническая оценка современных медицинских технологий / С. Е. Охрименко, И.П. Коренков, Н.И. Прохоров, Н.К. Шандала, **А.В. Захарова** // **Гигиена и санитария**. – 2020. – Т. 99. – № 9. – С. 939-946. [Scopus]

3. Радиационная безопасность персонала при проведении радионуклидной диагностики // Ю. В. Жернов, **А. В. Захарова**, Н. Н. Заброда, А. О. Лыткина, А. Э. Казимов // **Гигиена и санитария**. – 2024. – Т. 103. – № 10. – С. 1160-1166. [Scopus]

4. Оценка параметров электромагнитных полей и микроклимата в радионуклидном отделении центра позитронно-эмиссионной томографии / Н.Н. Заброда, Ю.В. Жернов, **А.В. Захарова**, Е.И. Маткевич // **Медицина труда и промышленная экология**. – 2023. – Т. 63 (12). – С. 830-834. [Scopus]

5. Роль селена в работе компонентов иммунной системы и возникновении аллергии: контент-анализ современной литературы / М.А. Шикина, Н.Е. Чапова, Д.Д. Кузнецова, Ю.В. Жернов, **А.В. Захарова**, М.М. Кожевникова, П.В. Пронина, К.В. Моисеев, Т.Р. Самигуллин М.А. // **Российский аллергологический журнал**. – 2024. – Т. 21. – № 2. – С. 283-294.

6. **Захарова А.В.** Свидетельство о регистрации базы данных № 2024624053. Комплексная оценка радиационной безопасности персонала радионуклидного отделения с учетом социально-гигиенических и поведенческих факторов : № 2024623743 : заявл.02.09.2024 : опубл. 11. 09.2024 / **А.В. Захарова**, Н.Н. Заброда, Ю.В. Жернов, Д.В. Щербаков, В.А. Сухов,

Е.И. Мишина, О.В. Митрохин; заявитель ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет).

7. **Захарова, А.В.** Анализ профессионального облучения персонала центра позитронно-эмиссионной компьютерной томографии / А.В. Захарова. – Текст: непосредственный // Современные проблемы эпидемиологии, микробиологии и гигиены. Сборник материалов XV Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора. – Нижний Новгород: под общей редакцией д.м.н., профессора А.Ю. Поповой, 2023. – С. 407-410.

8. **Захарова, А.В.** Основная проблематика (тенденции)изменения дозы персонала при работе с радионуклидом фтор 18 / А.В. Захарова – Текст: непосредственный // Сборник тезисов 84-ой межрегиональной научно-практической конференции с международным участием студенческого научного общества им. проф. Н.П. Пятницкого. – Краснодар: Издательство КубГМУ Минздрава России, 2023. – С. 186-188.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

МП – магнитные поля

ОРД - отделения радионуклидной диагностики

ПМО – периодические медицинские осмотры

ПРК – производственный радиационный контроль

ПЭТ – позитронно-эмиссионная томография

ПЭТ-центр – медицинский центр позитронно-эмиссионной томографии

РАО – радиационные отходы

РФП – радиофармацевтический препарат

СИЗ – средства индивидуальной защиты

ЭП – электрические поля