

DOI 10.24412/2077-8481-2024-4-103-114

УДК 614.876

И. В. ШИЛОВА, канд. техн. наук, доц.

Белорусско-Российский университет (Могилев, Беларусь)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДОЗ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ ПЕРСОНАЛОМ ИЗОТОПНОЙ ЛАБОРАТОРИИ

Аннотация

Представлены результаты сравнения эффективных доз ионизирующего излучения, полученных персоналом изотопной лаборатории, измеренных прямопоказывающими дозиметрами в сравнении с накапливающими термолуминесцентными дозиметрами.

Ключевые слова:

эффективная доза, изотопная лаборатория, ядерная медицина, генератор технеция, термолуминесцентный дозиметр, прямопоказывающий дозиметр.

Для цитирования:

Шилова, И. В. Сравнительный анализ доз ионизирующего излучения, полученных персоналом изотопной лаборатории / И. В. Шилова // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2024. – № 4 (85). – С. 103–114.

Введение

В г. Могилеве есть два учреждения здравоохранения, имеющие в своем составе изотопную лабораторию. Эта лаборатория с помощью радиофармпрепарата на основе технеция-99 [1, 2] может осуществлять диагностику различных органов человека. Результаты такой диагностики (сцинтиграфия и/или однофотонная эмиссионная компьютерная томография) являются уникальной исследовательской информацией о состоянии человека, которую невозможно получить другими методами, поэтому работа изотопных лабораторий является важной частью системы здравоохранения в Республике Беларусь.

Весь процесс происходит следующим образом. Один раз в неделю, по вторникам, изотопные лаборатории получают по генератору технеция, который представляет собой цилиндрический контейнер со свинцовой защитой, внутри которого находится капсула, содержащая молибден-99. Молибден-99 имеет достаточно большой период полураспада – 65,9 ч, что позволяет делать поставку генератора технеция один раз

в неделю или один раз в две недели от производителя (молибден-99 является одним из продуктов деления урана-235). При распаде молибдена-99 образуется технеций-99 метастабильный (^{99m}Tc) с периодом полураспада 6,02 ч. При распаде ^{99m}Tc образуются ^{99}Tc с периодом полураспада 211 тыс. лет и гамма-излучение с энергией около 140 кэВ, которое и используется для диагностики. Это наиболее оптимальный способ получения чистого гамма-излучения для диагностики человека.

Генератор технеция представлен на рис. 1 и работает следующим образом. Из флакона 1 элюат (раствор хлорида натрия 0,9-процентный) поступает в колонку 2 с молибденом-99, который при распаде дает технеций-99. Элюат вступает в реакцию только с технецием, вследствие чего получается раствор натрия пертехнетата, который и поступает во флакон 3. Этот раствор натрия пертехнетата затем смешивают с веществом, которое накапливается в органе, являющемся предметом исследования, т. е. изготавливают радиофармпрепарат утром в день исследования. Так как период полураспада у технеция-99 мета-

стабильного маленький, то элюирование (вымывание) технеция и приготовление радиофармпрепарата необходимо производить именно на месте в изотопной лаборатории учреждения здравоохранения, а не в специализированных производственных организациях, которых нет

в Республике Беларусь. Необходимо отметить, что до сентября 2023 г. в Беларусь привозились генераторы технеция активностью 10 ГБк из Польши, а после сентября 2023 г. – из Российской Федерации активностью 15 ГБк.

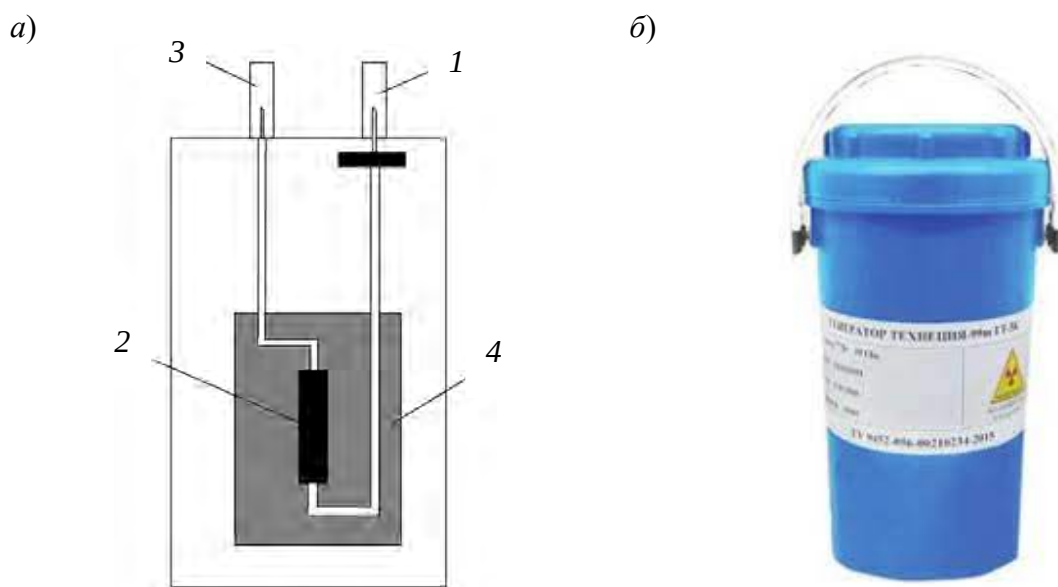


Рис. 1. Генератор технеция-99m типа ГТ-5К: а – схема генератора в рабочем положении (1 – флакон с элюатом (0,9-процентный раствор натрия хлорида); 2 – колонка с адсорбированным молибденом-99; 3 – флакон с элюэнт (пертехнетат натрия); 4 – контейнер защитный); б – внешний вид

После введения в вену пациенту радиофармпрепарата при исследовании работы тех или иных органов через некоторое время производится получение изображения картины распределения технеция в организме человека с помощью гамма-камер. Таким образом, источник излучения в данном случае – это гамма-излучение от введенного в организм технеция-99 метастабильного, который при переходе в стабильное состояние испускает гамма-квант. Приемником излучения является гамма-камера, состоящая из кристалла-сцинтиллятора (обычно это йодид натрия, активированный таллием) для преобразования гамма-излучения во вспышки видимого света и набора фотоэлектронных умножителей, преобразующих вспышки видимого света в электрический сигнал,

передаваемый на аналого-цифровой преобразователь, а с него на компьютер. Врач расшифровывает полученное на мониторе компьютера изображение. Если изображение плоскостное и статическое, то оно называется сцинтиграфией. При вращении гамма-камеры вокруг пациента может быть получено 64 снимка, из которых компьютер строит объемную модель распределения радиофармпрепарата в организме человека. Это называется однофотонной эмиссионной компьютерной томографией (ОФЭКТ) [1].

Были произведены опросы врачей и среднего медперсонала различных учреждений здравоохранения, которые показали тотальное недоверие показаниям используемых для оценки доз работников в настоящее время термoluminescentных дозиметров. Эти дози-

метры являются накопительными, т. е. доза персонала накапливается в специальном элементе из термолюминесцентного вещества в виде шарика или цилиндра диаметром около 5 мм в течение квартала на уровне груди, головы или рук, в течение месяца на уровне низа живота для женщин до 45 или 49 лет в соответствии с [3, 4].

Есть данные об эффективных дозах персонала изотопных лабораторий США за 1980–2015 гг. [5], которые показывают, что именно персонал изотопных лабораторий получает наибольшие дозы (до 13 мЗв в год) среди всего персонала организаций здравоохранения. Необходимо отметить, что персонал изотопных лабораторий в США, Канаде и Европе зачастую снабжают прямопоказывающими дозиметрами и накапливающими дозиметрами с технологией оптически стимулируемой люминесценции, которая является более передовой по отношению к термолюминесцентным дозиметрам, т. к. информация о накопленной дозе за предыдущий период не теряется вследствие отсутствия отжига.

В Российской Федерации с помощью термолюминесцентных дозиметров изучались дозы персонала изотопной лаборатории, занимающейся позитрон-эмиссионной томографией [6]. Было показано, что они составляют около 5 мЗв при норме 20 мЗв в год.

В докладах научного комитета ООН по действию ионизирующего излучения и в некоторых независимых исследованиях средние годовые эффективные дозы облучения персонала ядерной медицины в основном варьировались от 0,75 до 1,6 мЗв [7–14]. Более высокие величины (2,89, 3,16 и 3,50 мЗв) были зарегистрированы в Таиланде, Сирии и Бразилии в период с 1990 г. по 1994 г. соответственно [15]. Некоторые сотрудники пакистанских НМ также получили среднегодовые эффективные дозы 6,26...6,95 мЗв в период с 2003 г. по 2007 г. [16].

По результатам анализа доз облучения персонала медучреждений Республики Беларусь за 2019–2022 гг., выполненного лабораторией радиационной безопасности НПЦ гигиены, по данным организаций здравоохранения и государственного дозиметрического регистра, наиболее высокие индивидуальные эффективные дозы облучения всего тела зарегистрированы среди врачей – радиационных онкологов и медсестер изотопной лаборатории (наименование группы персонала взято из Госдозрегистра), у 95 % работников дозы не превышали 2 мЗв/год [17]. Эти дозы также оценивались по данным термолюминесцентных дозиметров. Данные по измерению и оценке доз персонала изотопных лабораторий Республики Беларусь прямопоказывающими дозиметрами отсутствуют.

Итак, в Республике Беларусь эффективные дозы персонала измеряются в основном с помощью термолюминесцентных дозиметров. Веществами с эффектом термолюминесценции в дозиметрах для персонала являются фторид лития, сульфат кальция, фторид кальция и т. д. Энергия ионизирующего излучения накапливается детекторами в виде цилиндров или шариков из термолюминесцентного вещества. Внешний вид термолюминесцентного дозиметра представлен на рис. 2.

Накопленная энергия при нагревании детектора в установке типа ДВГ-02ТМ, Доза-ТЛД и т. п. освобождается в виде светового излучения, которое регистрирует электронное устройство установки. Нагревание термолюминесцентных детекторов представляет, по сути, отжиг, при котором одновременно получают данные о накопленной дозе и обнуляют показания дозиметра. Если произошел сбой, то данные о дозе за квартал будут потеряны. Такие считывающие установки имеются в наличии только в областном центре гигиены и эпидемиологии, поэтому дозы, полученные персоналом с

дозиметров, носимых на уровне груди, головы и на пальцах рук, считываются раз в квартал, а дозы с дозиметров, носимых на уровне низа живота для женщин до 45 или 49 лет, – раз в месяц в соответствии с нормативно-правовыми

актами [2, 3]. Эти дозы вписываются в индивидуальную карточку учета индивидуальных доз внешнего облучения лиц, работающих с источниками ионизирующих излучений (ИИИ).

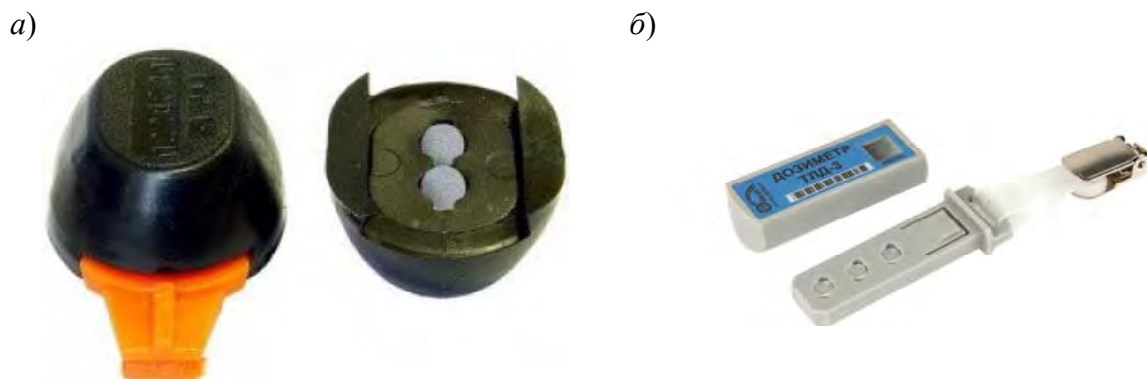


Рис. 2. Термолюминесцентные дозиметры: а – DTU-1 с двумя детекторами ДТГ-4 на основе LiF, активированного Mg и Ti; б – ТЛД-3 с тремя детекторами ДТГ-4 на основе LiF, активированного Mg и Ti

Недостаток этих дозиметров заключается в том, что они не являются прямопоказывающими, т. е. персонал не может сам посмотреть, какую дозу уже получил, оценить динамику измерения дозы возле того или иного источника ионизирующего излучения и, соответственно, скорректировать меры радиационной безопасности при работе с ним.

Таким образом, задачей данного исследования явилось измерение эффективных доз излучения персонала изотопной лаборатории прямопоказывающими дозиметрами, сравнение этих показаний с данными термолюминесцентных дозиметров. Также представляет интерес исследование структуры дозовых нагрузок среднего медперсонала изотопных лабораторий, что позволит сфокусировать меры по радиационной безопасности на манипуляциях, которые вносят наибольший вклад в годовую дозу медсестры.

Основная часть

Дозы, полученные персоналом за квартал и за месяц, вписываются в ин-

дивидуальную карточку учета индивидуальных доз внешнего облучения лиц, работающих с источниками ионизирующих излучений (ИИИ). Таким образом, в проводимом исследовании именно эти данные из карточки были использованы для сравнения. Дозы на уровне груди, полученные медицинской сестрой изотопной лаборатории за последние пять лет, представлены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что некоторые медсестры работают достаточно давно, а один человек был взят на работу совсем недавно. Этим объясняется, что данные за какие-то годы отсутствуют. Измерения в данном исследовании проводились прямопоказывающим дозиметром ДКГ-АТ2503, который имеет в своем составе счетчик Гейгера – Мюллера с фильтром, обеспечивающий измерение индивидуального эквивалента дозы $H_p(10)$, чтобы понимать, какую дозу получили внутренние органы на глубине 10 мм. Этот дозиметр позволяет измерять эффективную дозу излучения точно так же, как и термолюминесцентные дозиметры персонала. Пределы

основной относительной погрешности измерения индивидуального эквивален-

та дозы составляют $\pm 15\%$.

Табл. 1. Данные об эквивалентных дозах на уровне груди медсестры изотопной лаборатории, полученные с помощью термолюминесцентных дозиметров

Период	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее на одну медсестру, мЗв
Медсестра 1, экв. доза, мЗв	1,24	1,13	2,09	1,864	2,61	1,173	1,6845
Медсестра 2, экв. доза, мЗв	1,36	1,26	1,7	1,686	2,05	1,532	1,598
Медсестра 3, экв. доза, мЗв			1,63	3,283	3,175	2,468	2,639
Медсестра 1, экв. доза, мЗв						1,933	1,933
Среднее по лаборатории на медсестру, мЗв							1,96

Дозы персонала прямопоказывающими дозиметрами оценивались двумя способами. Первый способ состоял в том, чтобы разложить работу медсестры на отдельные операции, а затем измерить среднюю дозу на каждую такую операцию. Далее подсчитывалась суммарная доза за все операции в течение недели. Полученная доза умножалась на количество рабочих недель в году.

Второй способ состоял в том, чтобы медсестра и врач носили дозиметры под защитным фартуком в течение недели на рабочих местах. Полученная доза умножалась на количество рабочих недель в году.

Первый способ. Основные процедуры, в процессе которых происходит облучение среднего медперсонала изотопной лаборатории: элюирование (набор в шприц определенного количества технеция-99m с нужной активностью из генератора технеция); проведение калибровки и процедур контроля качества (на каждый орган нужна определенная активность, которую необходимо измерить); подготовка препарата и введение его шприцом пациенту; сопровождение пациента на сканирование (пациент является источником ионизирующего излучения).

Медсестра носит прямопоказыва-

ющий дозиметр ДКГ-АТ2503 под защитным фартуком на уровне груди.

Каждый день утром одна из медсестер производит элюирование технеция на весь день. Во время элюирования генератор технеция 1 находится в защитном боксе 2 со свинцовыми кирпичами 3 и специальным рентгенозащитным стеклом с повышенным содержанием свинца 4 для защиты персонала от действия ИИИ (рис. 3).

Во время элюирования и измерения активности набранного препарата на дозкалибраторе в среднем медсестра получает дозу 0,4 мкЗв при активности генератора технеция 10 ГБк и 0,75 мкЗв при активности генератора технеция 15 ГБк. Так как в штате четыре медсестры работают пять дней в неделю и элюирование они делают по очереди, то в итоге в среднем за элюирование медсестра получает в неделю дозу в 1,25 раза большую, т. е. 0,5 и 0,94 мкЗв при активности генератора технеция 10 и 15 ГБк соответственно. Также пользователи генераторов разных изготовителей отмечают, что из генераторов, произведенных в Российской Федерации, бывает затруднен процесс элюирования по сравнению с польскими генераторами, что увеличивает его время и, соответственно, дозу на медсестру. В прин-

ципе, это единственный фактор, который изменился при увеличении активности генератора. В остальном дозы за-

висят от количества пациентов и видов исследований.

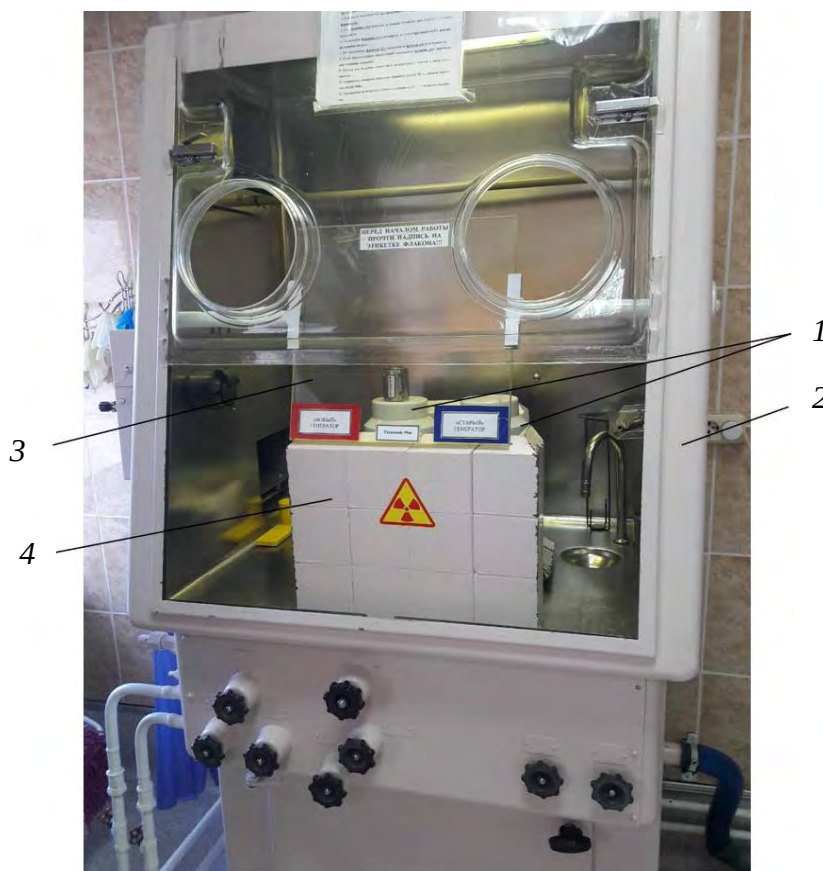


Рис. 3. Защитный бокс для элюирования технеция: 1 – генератор технеция; 2 – защитный бокс; 3 – свинцовые кирпичи; 4 – рентгенозащитное стекло

Для оценки дозы за год будет использоваться средняя доза в неделю, умноженная на количество рабочих недель. Отпуск медсестры изотопной лаборатории составляет 46 дней, т. е. получаем $(365 - 46)/7 = 45,5$ рабочих недель. Во время периода отпусков в изотопной лаборатории может работать две-три медсестры, т. е. дозовая нагрузка на работающий персонал в этот период возрастает, но это фактор не учитывался в данном исследовании.

Для диагностики различных органов медсестра проводит следующие манипуляции, представленные в табл. 2.

Рабочее место медсестры с применением защитной ширмы и без нее показано на рис. 4.

Были измерены дозы, получаемые медсестрой во время функциональной диагностики различных органов. Результаты измерений представлены в табл. 3. Важно отметить, что дозы для разных пациентов могут отличаться, т. к. при диагностике детей применяются препараты с меньшей активностью, чем для взрослых, а для полных пациентов необходимо сделать дополнительную инъекцию препарата, что увеличивает дозу, получаемую медсестрой. Также некоторым пациентам из-за состояния их вен сложно ввести препарат с первого раза, процедура введения получается более длительной. Это обстоятельство также увеличивает дозу на медсестру.

Табл. 2. Манипуляции, проводимые медсестрой изотопной лаборатории для диагностики различных органов

Орган	Манипуляция
Легкие	Набор радиофармпрепарата в шприц, введение его пациенту, проведение пациента по коридору, измерение в течение 20 мин без ширмы
Кости (сцинтиграфия костей скелета)	Набор радиофармпрепарата в шприц, введение его пациенту, проведение пациента по коридору, пациент ожидает 2 ч в комнате ожидания, измерение в течение 20 мин за ширмой. Если делают дополнительные проекции, то измерение 3...5 мин за ширмой
Паращитовидная железа	Набор радиофармпрепарата в шприц, введение его пациенту, проведение пациента по коридору, измерение № 1 в течение 10 мин за ширмой, пациент ожидает 2 ч в комнате ожидания, измерение № 2 в течение 18 мин за ширмой, пациент ожидает 1 ч в комнате ожидания, измерение в течение 25 мин за ширмой
Сердце Stress (нагрузочная сцинтиграфия миокарда)	Набор радиофармпрепарата в шприц, пациенту устанавливают катетер для введения радиофармпрепарата, пациент крутит педали велотренажера 2 мин, введение радиофармпрепарата пациенту, пациент крутит педали 5...10 мин, медсестра без ширмы
Сердце Rest	Набор радиофармпрепарата в шприц, введение его пациенту, проведение пациента по коридору, пациент ожидает 2 ч в комнате ожидания, измерение в течение 10 мин за ширмой на расстоянии 2 м
Слюнные железы	Набор радиофармпрепарата в шприц, введение его пациенту, проведение пациента по коридору, укладка пациента на кушетку, измерение в течение 20 мин без ширмы
Почки (динамическая неросцинтиграфия)	Набор радиофармпрепарата в шприц, введение его пациенту, проведение пациента по коридору, измерение в течение 20 мин без ширмы

а)



б)



Рис. 4. Рабочее место медсестры изотопной лаборатории: а – с ширмой; б – без ширмы; 1 – медсестра; 2 – пациент; 3 – гамма-камера; 4 – защитная ширма с окном для наблюдения за состоянием пациента

Табл. 3. Результаты измерений средней эквивалентной дозы, получаемой медсестрой во время диагностики различных органов

Орган	Активность препарата, вводимого пациенту, МБк	Средняя эквивалентная доза у медсестры на одну процедуру, мкЗв
Легкие	150	0,2
Кости (сцинтиграфия костей скелета)	500	0,6
Паращитовидная железа	700	1,25
Сердце Stress (нагрузочная сцинтиграфия миокарда)	500	0,7
Сердце Rest	500	0,1
Слюнные железы	150	0,1
Почки (динамическая неросцинтиграфия)	150	0,1

Были получены сведения о количестве проведенных процедур пациентам за четыре различных полные (без

праздников) рабочие недели. Результаты приведены в табл. 4.

Табл. 4. Количество проведенных процедур в неделю

Процедура	Неделя				
	03–07.04.2023	10–14.04.2023	26–30.06.2023	19–23.06.2023	13–19.06.2024
Элюирование	0,4	0,4	0,4	0,4	0,75
Легкие	4	7	3	0	12
Кости	12	15	15	6	10
Паращитовидная железа	0	0	1	1	0
Сердце Stress	9	10	18	21	4
Сердце Rest	9	10			11
Слюнные железы	0	0	4	2	0
Почки	26	29	20	21	18
Доза в неделю, мкЗв	18,2	21,7	26,25	22,25	14,85
Доза за год, мЗв	0,83	0,99	1,19	1,01	0,68
Средняя доза, мЗв					0,94

Как отмечалось ранее, здесь не учитывалась доза, которую получали медсестры за счет того, что пациенты с введенным радиофармпрепаратом находились в коридоре, создавая дополнительную дозовую нагрузку медперсоналу. Если в коридоре изотопной лаборатории находится один или несколько пациентов с введенным радиофармпрепа-

ратом, то мощность эквивалентной дозы может составлять в этом помещении 2,2...10 мкЗв/ч при норме 0,2 мкЗв/ч для населения и 12 мкЗв/ч для персонала на рабочем месте. Вклад этого фактора сложно оценить, поэтому он не учитывался в данном исследовании. Вкладом этого фактора объясняются расхождения в данных, полученных

первым способом, и данных из индивидуальных карточек учета индивидуальных доз внешнего облучения лиц, работающих с ИИИ. Также некоторые тяжелобольные пациенты требуют большего времени нахождения медсестры рядом с ними в то время, когда им уже ввели препарат, что увеличивает дозу на средний медперсонал.

Второй способ. Медсестра полную рабочую неделю с 13-го по 19-е июня 2024 г. носила прямопоказывающий накопительный дозиметр, в результате чего была получена доза 24,1 мкЗв в неделю. Если умножить эти показания на 45,5 рабочих недель, то получаем эквивалентную дозу на уровне груди у медсестры 1,1 мЗв в год.

Из полученных расчетным путем годовых доз персонала видно, что они

хорошо согласуются с данными термолюминесцентных дозиметров. Средняя годовая эквивалентная доза на уровне груди медсестры получилась около 1 мЗв в сравнении с дозой 1,96 мЗв, измеренной с помощью термолюминесцентных дозиметров. Предел дозы для персонала – 20 мЗв в год, а граничная доза – 6 мЗв в год.

Таким же образом исследовалась эквивалентная доза на уровне груди, получаемая двумя врачами изотопной лаборатории. Врач, занимающийся диагностикой сердца при активном движении пациента на велотренажере (сердце Stress), во время исследования находится за малой ширмой (рис. 5) в защитном фартуке из просвинцованной резины с эквивалентом 0,5 мм свинца в передней части фартука.



Рис. 5. Оборудование изотопной лаборатории для нагрузочной сцинтиграфии миокарда (режим – сердце Stress): 1 – рабочее место врача; 2 – защитная ширма; 3 – кушетка для пациента; 4 – велотренажер для пациента

Дозиметр ДКГ-АТ2503 надевался под защитный фартук. За одно такое исследование врач получает дозу на уровне груди около 0,1 мкЗв. За полную ра-

бочую неделю с 13-го по 19-е июня 2024 г. врач получил дозу 14,8 мкЗв. При работе в 45,5 рабочих недель в году врач получает дозу 0,67 мЗв в год. До-

зы, измеренные с помощью термолюминесцентных дозиметров, представле-

ны в табл. 5.

Табл. 5. Данные об эквивалентных дозах на уровне груди врача изотопной лаборатории, занимающегося диагностикой сердца, полученные с помощью термолюминесцентных дозиметров

Период	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Средняя доза у врача, мЗв
Экв. доза, мЗв	1,1	1,34	1,35	1,454	1,444	0,952	1,27

Сердце Rest, т. е. в покое, без нагрузки врач не исследует, находясь рядом с пациентом. Этим занимается только медсестра. Данные с гамма-камеры поступают на монитор врача. По результатам диагностики сердца под нагрузкой и в покое врач дает заключение.

Результаты измерения доз у врача и медсестры показали, что медсестра получает в 7 раз большую дозу, т. к. по методике проведения исследования должна находиться рядом с пациентом в защитном фартуке, но без защитной ширмы, в то время как врач большую часть времени находится за ширмой.

Из результатов исследования видно, что доза с прямопоказывающих до-

зиметров в 0,67 мЗв на врача, занимающегося диагностикой сердца, не отличается значительно от средней дозы, измеренной с помощью термолюминесцентных дозиметров в 1,27 мЗв. Предел дозы для врача также 20 мЗв в год и граничная доза также 6 мЗв в год.

Были получены данные о дозе за неделю у врача, занимающегося диагностикой костей, легких, почек, паращитовидной и слюнной желез, с помощью прямопоказывающего дозиметра, который он носил под защитой. Получены были данные недельной эквивалентной дозы в 5,2 мкЗв, что соответствует годовой дозе 0,24 мЗв (табл. 6).

Табл. 6. Данные об эквивалентных дозах на уровне груди врача изотопной лаборатории, занимающегося диагностикой всех остальных органов, кроме сердца, полученные с помощью термолюминесцентных дозиметров

Период	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Средняя доза у врача, мЗв
Экв. доза, мЗв	0,94	1,35	1,584	1,47	1,324	1,33

Данные прямопоказывающего дозиметра в 0,24 мЗв значительно меньше данных термолюминесцентного дозиметра в 1,33 мЗв. Это объясняется тем, что дозиметр врач носил на груди, а пациенты с введенным радиофармпрепаратом находятся слева или сзади за ширмой или без ширмы в зависимости от вида исследования, т. е. дозиметр частично экранируется телом врача.

Заключение

Были проведены измерения эффективных доз на уровне груди у медсестер и

врачей изотопной лаборатории с помощью прямопоказывающих дозиметров, которые показали удовлетворительное совпадение с данными термолюминесцентных дозиметров, указанными в индивидуальных карточках учета.

Была оценена дозовая нагрузка среднего медперсонала изотопной лаборатории: наибольший вклад в годовую эффективную дозу медсестры изотопной лаборатории вносят такие манипуляции, как элюирование, сцинтиграфия костей скелета, сцинтиграфия паращитовидной железы, нагрузочная сцинтиграфия миокарда.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Черняев, А. П.** Физические методы визуализации в медицинской диагностике: учеб. пособие / А. П. Черняев, Д. В. Волков, Е. Н. Лыкова. – М.: ООП физического факультета МГУ, 2019. – 112 с.
2. **Ермолицкий, Н. М.** Радиационная безопасность в лучевой диагностике: учеб.-метод. пособие для студентов 3–5 курсов медико-диагностического факультета медицинских вузов / Н. М. Ермолицкий. – Гомель: ГомГМУ, 2018. – 100 с.
3. Об утверждении Санитарных норм и правил «Требования к радиационной безопасности» и Гигиенического норматива «Критерии оценки радиационного воздействия»: постановление М-ва здравоохранения Респ. Беларусь от 28 дек. 2012 г. № 213.
4. О радиационно-гигиеническом паспорте пользователя источника ионизирующего излучения (вместе с «Инструкцией о порядке ведения и использования радиационно-гигиенического паспорта пользователя источника ионизирующего излучения»): постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 29 июля 2020 г. № 443.
5. **Daphnée, V.** Trends in Occupational Radiation Doses for U.S. Radiologic Technologists Performing General Radiologic and Nuclear Medicine Procedures, 1980–2015 / V. Daphnée // Radiology. – 2021. – Vol. 300, № 3. – P. 606–612.
6. Радиационно-гигиеническая оценка современных медицинских технологий / С. Е. Охрименко [и др.] // Гигиена и санитария. – 2020. – Vol. 99 (9). – P. 939–946.
7. **Al-Haj, A. N.** Statistical analysis of historical occupational dose records at a large medical center / A. N. Al-Haj, C. S. Lagarde // Health Physics. – 2002. – Vol. 83. – P. 854–860.
8. Occupational exposures of Chinese medical radiation workers in 1986–2000 / W. Weizhang [et al.] // Radiation Protection Dosimetry. – 2005. – Vol. 117. – P. 440–443.
9. **Nassef, M.** Occupational radiation dose for medical workers at a University Hospital / M. Nassef, A. Kinsara // Journal of Taibah University for Science. – 2017. – Vol. 11. – P. 1259–1266.
10. **Al-Abdulsalam, A.** Occupational radiation exposure among the staff of departments of nuclear medicine and diagnostic radiology in Kuwait / A. Al-Abdulsalam, A. Brindhaban // Medical Principles and Practice. – 2014. – Vol. 23. – P. 129–133.
11. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation. Vol. 1: UNSCEAR 2008 report to the General Assembly with Scientific Annexes. – New York: United Nations Publication, 2010. – 683 p.
12. Occupational exposure of medical radiation workers in Lithuania, 1950–2003 / V. Samerdokiene [et al.] // Radiation Protection Dosimetry. – 2008. – Vol. 130. – P. 239–243.
13. Assessment of occupational exposure to external radiation among workers at the institute of radiotherapy and nuclear medicine, Pakistan (2009–2016) / M. Ahmad [et al.] // Iranian Journal of Medical Physics. – 2017. – Vol. 14. – P. 197–202.
14. Occupational exposure in nuclear medicine in Portugal in the 1999–2003 period / M. Martins [et al.] // Radiation Protection Dosimetry. – 2007. – Vol. 125. – P. 130–134.
15. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation. Vol. 1: UNSCEAR 2000 report to the General Assembly with Scientific Annexes. – New York: United Nations Publication, 2000. – 659 p.
16. Occupational exposure from external radiation used in medical practices in Pakistan by film badge dosimetry / A. Jabeen [et al.] // Radiation Protection Dosimetry. – 2010. – Vol. 140. – P. 396–401.
17. **Николаенко, Е.** Дозы облучения персонала медучреждений Беларуси / Е. Николаенко, Н. Елизарова // Информационный портал медработников Беларуси «Медицинский вестник». – URL: <https://medvestnik.by/news/dozy-oblucheniya-personala-meduchrezhdenij-belarusi> (дата обращения: 20.08.2024).

Статья сдана в редакцию 2 сентября 2024 года

Контакты:

irina.schilova@tut.by (Шилова Ирина Владимировна).

I. V. SHILOVA

**COMPARATIVE ANALYSIS OF IONIZING RADIATION DOSES RECEIVED
BY ISOTOPE LABORATORY PERSONNEL**

Abstract

The article presents the results of comparison of effective doses of ionizing radiation received by the isotope laboratory personnel measured by direct-reading dosimeters versus accumulating thermoluminescent dosimeters.

Keywords:

effective doses, isotope laboratory, nuclear medicine, technetium generator, thermoluminescent dosimeter, direct-reading dosimeter.

For citation:

Shilova, I. V. Comparative analysis of ionizing radiation doses received by isotope laboratory personnel / I. V. Shilova // Belarusian-Russian University Bulletin. – 2024. – № 4 (85). – P. 103–114.