

Результаты индивидуального дозиметрического контроля кожи рук персонала, занятого при работе с радиофармацевтическими препаратами

Е.Н. Шлеенкова, С.Ю. Бажин, В.Ю. Богатырёва

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

С активным развитием и широким использованием позитронно-эмиссионной томографии обеспечение радиационной безопасности в вопросах облучения кожи кистей рук персонала стало очень актуальным. Работа с радиофармацевтическими препаратами, мечеными различными радионуклидами, отличается достаточно близким контактом с источником ионизирующего излучения, при котором кожа рук может быть облучена в существенных дозах. Таким образом, воздействие ионизирующего излучения на кожу рук является одной из основных проблем радиационной защиты персонала центров ядерной медицины. Работу персонала центров ядерной медицины в зависимости от характера выполняемых действий можно условно поделить на два типа: преимущественно ручные процессы (медицинские сестры – фасовка и введение препаратов, химики-аналитики – контроль качества) и преимущественно автоматизированные процессы (инженеры-радиохимики – синтез, фасовка во флаконы). Методом термолюминесцентной дозиметрии с использованием индивидуальных дозиметров, откалиброванных в терминах $H_p(0,07)$, были оценены индивидуальные эквивалентные дозы в коже рук медицинских сестёр, химиков-аналитиков и инженеров-радиохимиков, проводящих работы с радиофармацевтическими препаратами на основе ^{18}F . Максимальное полученное годовое значение для инженеров-радиохимиков – 7,8 мЗв, что составляет 1,56% от предела дозы, а для химиков-аналитиков – 171 мЗв, что составляет 34% от предела дозы (среднее значение – 28 мЗв, медиана – 8,8 мЗв, минимальное значение – 4,6 мЗв). При этом медицинские сестры, занимающиеся преимущественно фасовкой и введением радиофармацевтических препаратов, имеют более высокие значения годовых доз в коже рук (среднее значение – 114 мЗв, медиана – 56 мЗв, минимальное значение – 1,3 мЗв). Максимальное значение годовой дозы в коже рук, зафиксированное во время проведения работы, для медицинской сестры составило 573 мЗв, т.е. предел дозы 500 мЗв был превышен. Результаты работы свидетельствуют о том, что специалисты, задействованные в ручных процессах при проведении манипуляций с радиофармацевтическими препаратами, требуют особого внимания с позиций индивидуального дозиметрического контроля дозы облучения кожи рук и соблюдения требований радиационной безопасности.

Ключевые слова: позитронно-эмиссионная томография, индивидуальный эквивалент дозы $H_p(0,07)$, эквивалентная доза в коже, радиофармацевтический препарат, персонал.

Введение

Позитронно-эмиссионная томография (двухфотонная эмиссионная томография) (ПЭТ) – является одним из современных высокоинформативных радионуклидных томографических методов исследования внутренних органов человека. ПЭТ позволяет в полной мере оценить распространенность опухолевого процесса, дает возможность измерения абсолютной активности в исследуемом органе и количественную оценку физиологических процессов [1].

Фтордезоксиглюкоза, меченная атомом ^{18}F (^{18}F -ФДГ), является самым распространенным радиофармацевтическим препаратом (РФП) и используется для диагностики почти 90% онкологических заболеваний, оценки качества проводимого лечения и прогнозирования течения заболевания [2]. Чаще всего радионуклиды для РФП, применяе-

мые в ПЭТ-диагностике, получают на циклотроне, который располагается непосредственно в самом медицинском учреждении или в непосредственной близости к нему, что обусловлено коротким периодом полураспада большинства используемых позитрон-излучающих радионуклидов, измеряемым минутами. Проведение ПЭТ с использованием радионуклида ^{18}F характеризуется бета⁺-излучением с энергией ниже 700 кэВ [3]. В процессе аннигиляции позитрона с электроном образуются два гамма-кванта с энергией по 511 кэВ. Период полураспада ^{18}F составляет 109,7 мин [4], что делает возможным доставку ^{18}F -ФДГ в центры, оборудованные ПЭТ, но не имеющие собственного производства РФП [5].

Воздействие ионизирующего излучения на кожу рук является одной из основных проблем радиационной защиты персонала центров ядерной медицины (ЯМ), осуществля-

Шлеенкова Екатерина Николаевна

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева

Адрес для переписки: 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: eshleenkova@mail.ru

ющих приготовление, фасовку и введение пациентам РФП. НРБ-99/2009¹ предписывают контролировать значения годовой эквивалентной дозы облучения кожи рук, операционной величиной для которой является индивидуальный эквивалент дозы $H_p(0,07)$. Годовой предел эквивалентной дозы в коже составляет 500 мЗв в год. Контроль эквивалентной дозы облучения кожи рук является одной из составляющих частей индивидуального дозиметрического контроля (ИДК) и в последнее время стал более актуальным в связи с ростом числа ПЭТ-центров в России. Так, в 2015 г. в Российской Федерации по данным [6] насчитывалось 54 ПЭТ-сканера, а в 2022 г. в городах с населением более 0,5 млн. человек размещены уже порядка 60 ПЭТ-центров [7]; следовательно, растет и количество персонала, задействованного в работах с использованием РФП в своей профессиональной деятельности. При этом дозы облучения всего персонала в центрах ЯМ в основном невелики, и их можно легко контролировать с помощью пассивных персональных дозиметров, носимых на груди, что подтверждается собственными измерениями лаборатории радиационного контроля, выполняемыми в рамках проведения текущего ИДК в организациях, и данными Европейской платформы [8]. В процессе фасовки, отпуска и введения пациентам РФП персоналу приходится более близко контактировать с радионуклидами, вследствие чего они могут получить значительные дозы облучения именно кожи рук. Тема дозиметрии кожи рук в медицине была предметом проектов CONRAD (2002–2006) [9] и ORAMED (2008–2011) [10]. Она была рассмотрена в Приложении Е к Публикации 106 [11] МКРЗ. На основе результатов измерений, проведенных в 20 отделениях ЯМ, исследование ORAMED пришло к выводу, что почти каждый пятый работник ЯМ может получить эквивалентную дозу облучения кожи, превышающую предельную годовую дозу в 500 мЗв. В [12] сделан вывод о том, что среди производственных процедур, выполняемых персоналом, наибольшие дозы ионизирующего излучения были получены персоналом во время контроля качества ^{18}F -ФДГ. Максимальная расчетная годовая доза $H_p(0,07)$ для химиков из отдела контроля качества может превышать годовую предельную дозу для кожи (500 мЗв). Но в данной статье сказано о том, что у персонала не было четкого разделения по обязанностям; определенные процедуры (такие, как производство РФП, контроль качества и фасовка) могли выполняться одним человеком, т.е. сотрудники взаимозаменяемы. Сделан вывод о том, что специализация на выполнении конкретных видов деятельности/процедур сокращает время выполнения процедур, что, в свою очередь, приводит к снижению доз. Автоматизация производства ^{18}F -ФДГ способствует оптимизации радиационной защиты персонала [13, 14]. Сочетание автоматически выполняемых производственных процедур с фрагментами ручной работы, выполняемой в рамках контроля качества РФП, приводит к увеличению облучения рук.

Цель исследования – оценить реальные значения доз облучения кожи рук работников центров ЯМ (медицинских сестёр и радиохимиков) при работе с РФП на основе ^{18}F в ПЭТ-центрах Российской Федерации

Задачи исследования

1. Анализ протоколов ИДК с результатами измерений индивидуального эквивалента дозы в коже рук $H_p(0,07)$ работников центров ЯМ.
2. Оценка условий работы персонала и выделение групп персонала со схожими сценариями облучения;
3. Анализ результатов измеренных эквивалентов доз облучения кожи рук у выделенных групп персонала.

Материалы и методы

Материалами для работы послужили протоколы ИДК с результатами измерений индивидуального эквивалента дозы в коже рук $H_p(0,07)$ работников центров ЯМ.

В рамках проведения ИДК персонала отделений ЯМ накопленные дозы регистрировались с помощью индивидуальных термолюминесцентных дозиметров, отвечающих требованиям для определения индивидуального эквивалента дозы внешнего облучения кожи $H_p(0,07)$, Finger Ring Type G² (Россия). Данный тип дозиметров представляет собой перстень с регулируемой по размеру окружности кольца. Дозиметр содержит в своем корпусе из тканеэквивалентного материала один детектор ДТГ-4 (LiF: Mg, Ti). Со слов ответственных за радиационную безопасность в исследуемых организациях, дозиметр размещался на левой (не ведущей) руке в основании среднего либо безымянного пальцев с расположением детектора в сторону ладони; одна из организаций дополнительно осуществляла ношение дозиметров также и на правых руках персонала в основании среднего либо безымянного пальцев, такое положение является рекомендуемым [15]. Ношение осуществлялось регулярно на протяжении каждого из кварталов в течение каждого года с ежеквартальной сменой дозиметров и поквартальными измерениями. Считывание производилось с помощью комплекса дозиметрического термолюминесцентного «ДОЗА-ТЛД». Диапазон измерения индивидуального эквивалента дозы $H_p(0,07)$: 0,02÷10000 мЗв. Основная относительная погрешность измерения индивидуального эквивалента дозы $H_p(0,07)$ в диапазоне от 0,05 мЗв до 100 мЗв фотонного излучения с энергией от 15 кэВ до 3 МэВ не превышает ±30%. Вклад позитронов в дозу не учитывался. Калибровка дозиметров производилась согласно методике³. Переход от индивидуального эквивалента дозы $H_p(0,07)$ к эквивалентной дозе в коже осуществлялся с использованием коэффициента, равного 1.

¹ Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09. Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 07.07.2009 № 47. Зарегистрированы в Министерстве юстиции Российской Федерации 14 августа 2009, регистрационный № 14534 [Norms of radiation safety (NRB-99/2009). Sanitary rules and norms SanPiN 2.6.1.2523-09. Approved by the resolution of the Chief state sanitary doctor of the Russian Federation of 07.07.2009 №. 47. Registered with the Ministry of justice of the Russian Federation on August 14, 2009, registration №. 14534. (In Russ.)]

² Паспорт ФВКМ.412113.075ПС Дозиметр термолюминесцентный Finger Ring Type G. [Passport ФВКМ.412113.075ПС Thermoluminescent dosimeter Finger Ring Type G. (In Russ.)]

³ Методика поверки ФВКМ.412118.010МП Комплексы дозиметрические термолюминесцентные «ДОЗА-ТЛД». [Verification Methodology ФВКМ.412118.010МП Thermoluminescent Dosimetric Complexes «DOZA-TLD». (In Russ.)]

Измерения индивидуальных эквивалентов дозы $H_p(0,07)$ проводились для 14 ПЭТ-центров и 2 центров, занимающихся производством РФП. Работа персонала была связана с изготовлением, фасовкой и введением ^{18}F -ФДГ. Работа с другими радионуклидами данным персоналом не проводилась.

Персонал был поделен на группы в зависимости от характера работы:

1. Медсестры: работают в ПЭТ-центрах (122 измеренных квартальных значения, 24 годовых значения);
2. Химики-аналитики: работают на производстве РФП для ПЭТ-центров (50 измеренных квартальных значения, 11 годовых значений).
3. Инженеры-радиохимики: работают на производстве РФП для ПЭТ-центров (25 измеренных квартальных значения, 4 годовых значения).

В обязанности инженера-радиохимика входит синтез и фасовка препарата во флаконы – автоматизированные процессы, в обязанности химика-аналитика входит контроль качества РФП – ручной процесс.

В обязанности медсестры входила фасовка РФП по шприцам, измерение активности каждого шприца, введение РФП пациентам – все эти процессы во включенных в работу центрах были ручными.

В работе представлен анализ результатов мониторинга квартальных и годовых эквивалентных доз облучения кожи рук, оцененных на основании измерений индивидуальных эквивалентов дозы $H_p(0,07)$ с использованием индивидуальных термолюминесцентных дозиметров. Годовые оцененные индивидуальные значения эквивалентных доз рассчитывались для каждого сотрудника, отработавшего последовательно все 4 квартала за каждый календарный год путем сложения доз за 4 квартала (период наблюдения с 2020 года по 2023 год). Отдельно были определены теоретические расчетные значения годовых эквивалентных доз: полученные квартальные значения умножались на 4; при учете квартальных значений использовались только те значения эквивалентной дозы облучения кожи рук, которые отличались от показаний фоновых дозиметров в данной организации.

Результаты измерений были обработаны с использованием программного обеспечения Statistica 10.

Результаты и обсуждение

Производство позитрон-излучающих РФП включает 3 основных этапа: наработку позитрон-излучающего изотопа, синтез на его основе РФП (введение изотопа в биологически активную молекулу), фасовку в упаковку и контроль качества полученного РФП. Контроль качества произведенной партии осуществляется химиками-аналитиками в лаборатории контроля качества согласно требованиям внутренней нормативной документации, разработанной в соответствии с требованиями Государственной фармакопеи. Внешний вид оценивается в вытяжном защитном шкафу за защитным свинцовым стеклом [5]. Процессы синтеза и фасовка во флаконы, выполняемые инженерами-радиохимиками, являются автоматизированными, поэтому контакт кожи рук персонала с радионуклидами минимален. В обязанности медсестры входят преимущественно только

ручные процессы такие как: фасовка РФП по шприцам, измерение активности каждого шприца, введение РФП пациентам. При таких манипуляциях, выполняемых руками, в контролируемых нами организациях, использовались дополнительные средства защиты персонала: контейнеры на основе вольфрама, катетеры для введения препарата, обеспечивающие минимизацию контакта рук медицинских сестер с РФП.

На рисунках 1–5 представлены распределения значений квартальных и годовых значений индивидуального эквивалента дозы облучения кожи рук $H_p(0,07)$ контролируемого персонала. На всех приведенных рисунках распределений представлен широкий разброс значений индивидуального эквивалента дозы $H_p(0,07)$ среди персонала. Дозы облучения кожи рук у инженеров-радиохимиков и химиков-аналитиков, работающих на производстве РФП для ПЭТ-центров, не превышали годового предела 500 мЗв. Максимальное полученное годовое значение у инженера-химика – 7,8 мЗв – 1,56% от предела дозы (среднее значение – 5,2 мЗв, минимальное значение – 2,9 мЗв). Максимальное полученное годовое значение у химика-аналитика – 171 мЗв составило всего лишь 34% от предела дозы (среднее значение – 28 мЗв, медиана – 8,8 мЗв, минимальное значение – 4,6 мЗв). При этом медсестры, занимающиеся преимущественно фасовкой и введением РФП, могут иметь более высокие значения годовых доз облучения кожи рук (среднее значение – 114 мЗв, медиана – 56 мЗв, минимальное значение – 1,3 мЗв). Максимальное значение годовой дозы, зафиксированное во время проведения работы, составило 573 мЗв, т.е. был превышен установленный в НРБ-99/2009 предел дозы 500 мЗв.

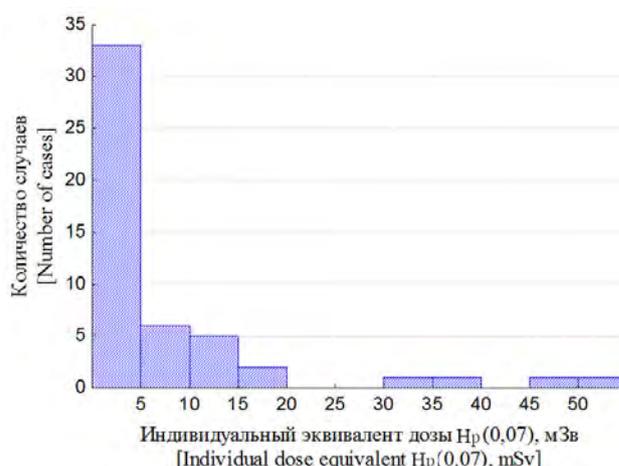


Рис. 1. Распределение квартальных индивидуальных эквивалентов дозы облучения кожи рук у химиков-аналитиков на производстве РФП для ПЭТ-центров (N=50, ср. знач. = 7,5 мЗв, медиана = 2,9 мЗв, мин. = 0,4 мЗв, макс. = 54 мЗв)

[Fig. 1.] Distribution of skin quarterly equivalent doses due to irradiation of hands of analytical chemists in the production of radiopharmaceuticals for PET centers (N=50, mean = 7.5 mSv, median = 2.9 mSv, min. = 0.4 mSv, max. = 54 mSv)]

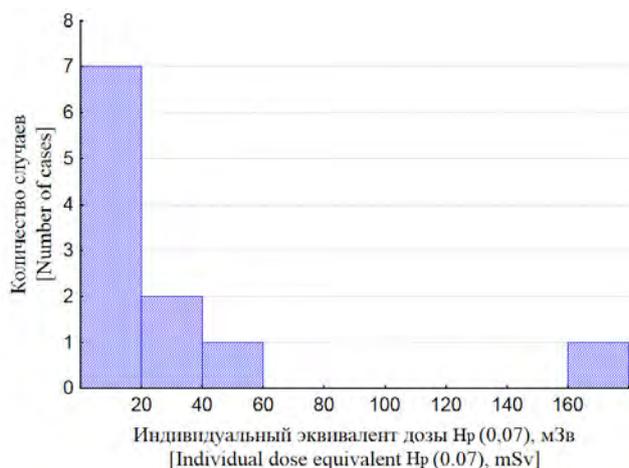


Рис. 2. Распределение годовых индивидуальных эквивалентов доз облучения кожи рук у химиков-аналитиков на производстве РФП для ПЭТ-центров (N=11, ср. знач. = 28 мЗв, медиана = 8,8 мЗв, мин. = 4,6 мЗв, макс. = 171 мЗв)

[Fig. 2. Distribution of skin annual equivalent doses due to irradiation of hands of analytical chemists in the production of radiopharmaceuticals for PET centers (N=11, mean = 28 mSv, median = 8.8 mSv, min. = 4.6 mSv, max. = 171 mSv)]

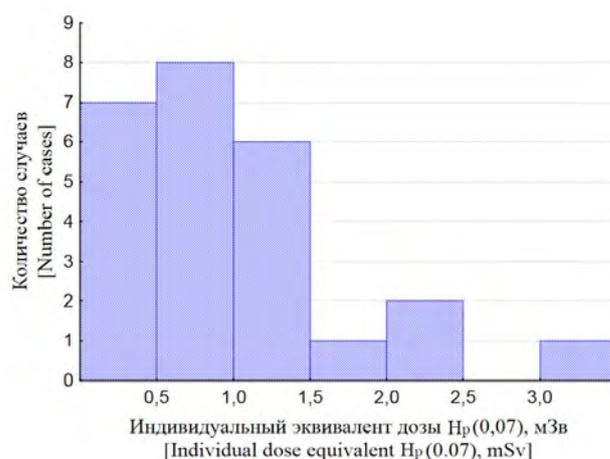


Рис. 3. Распределение квартальных индивидуальных эквивалентов доз облучения кожи рук у инженеров-радиохимиков на производстве РФП для ПЭТ-центров (N=25, ср. знач. = 1,0 мЗв, медиана = 0,9 мЗв, мин. = 0,2 мЗв, макс. = 3,5 мЗв)

[Fig. 3. Distribution of skin quarterly equivalent doses due to irradiation of hands of radiochemical engineers in the production of radiopharmaceuticals for PET centers (N=25, mean = 1.0 mSv, median = 0.9 mSv, min. = 0.2 mSv, max. = 3.5 mSv)]

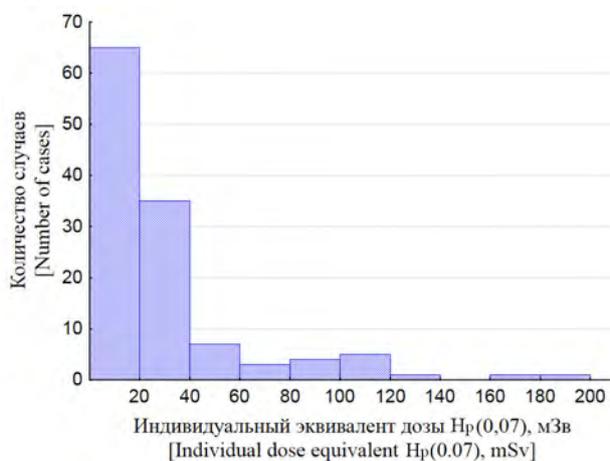


Рис. 4. Распределение квартальных индивидуальных эквивалентов доз облучения кожи рук у медсестёр из ПЭТ-центров (N=122, ср. знач. = 27 мЗв, медиана = 18 мЗв, мин. = 0,4 мЗв, макс. = 190 мЗв)

[Fig. 4. Distribution of skin quarterly equivalent doses due to irradiation of hands of nurses in PET centers (N=122, mean = 27 mSv, median = 18 mSv, min. = 0.4 mSv, max. = 190 mSv)]

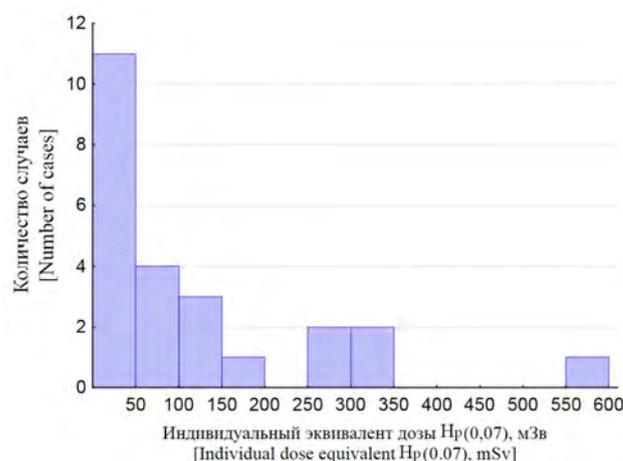


Рис. 5. Распределение годовых индивидуальных эквивалентов доз облучения кожи рук у медсестёр из ПЭТ-центров (N=24, ср. знач. = 114 мЗв, медиана = 56 мЗв, мин. = 1,3 мЗв, макс. = 573 мЗв)

[Fig. 5. Distribution of skin annual equivalent doses due to irradiation of hands of nurses in PET centers (N=24, mean = 114 mSv, median = 56 mSv, min. = 1.3 mSv, max. = 573 mSv)]

Полученные нами данные подтверждаются данными проекта ORAMED [10]. Этот масштабный проект, подробно изучавший условия облучения медицинского персонала, был закончен в 2012 году. Важным его разделом была оценка доз облучения кожи рук медицинского персонала различных специальностей. Исследование включало персонал, работающий с наиболее часто используемыми радионуклидами: ^{99m}Tc и ^{18}F – для диагностики; ^{90}Y и DOTATOC – для терапии. Был сделан вывод о том, что теоретическая расчетная годовая доза на кожу может превысить предел дозы облучения кожи рук для 20% персонала; для 49% составляет менее 150 мЗв; для 31% персонала доза находится в диапазоне от 150 мЗв до 500 мЗв

По аналогии с проектом ORAMED было решено оценить предполагаемые теоретические расчетные годовые дозы. Как было сказано выше, при оценке годовых измеренных значений был учтен только персонал, имеющий все четыре

квартальных измерения за год. Для получения расчетных максимальных доз были взяты все квартальные значения и, с учетом предположения, что нагрузка и количество рабочих дней в квартал неизменны, рассчитаны значения годовых доз. Все расчетные годовые значения сведены в таблице 1. Инженеры-радиохимики в данном расчете исключены, т.к. в нашем исследовании все полученные годовые значения $H_p(0,07)$ находились на уровне не более 1,5% от предела дозы. Годовые эквивалентные дозы внешнего облучения кожи рук у химиков-аналитиков по результатам измерения квартальных доз так же получились ниже установленного предела дозы: максимальное расчетное значение составило 216 мЗв (43% от предела дозы). Для медицинских сестёр при таком подходе три значения годовых эквивалентных доз в коже рук превышают установленный предел дозы, и пять значений оказались больше 410 мЗв (более 82% от предела дозы).

Таблица 1

Предполагаемые теоретические расчетные годовые эквивалентные дозы в коже рук

[Table 1

Estimated annual equivalent doses to hand skin]

Диапазон доз, мЗв [Dose range, mSv]	Собственные исследования [Own research]				ORAMED, %
	Медицинские сестры, случаев [Nurses, cases]	Химики-аналитики [Radiochemists, cases]	Всего [Total]		
			случаев [cases]	%	
<150	99	47	146	85	49
150-500	20	3	23	13	31
>500	3	0	3	2	20

Для предотвращения ситуаций потенциального превышения годового предела дозы в коже рук специалисты, ответственные за радиационную безопасность внутри контролируемых организаций, внимательно анализируют выданный протокол ИДК и своевременно принимают меры для будущего снижения дозы у конкретного сотрудника в виде уменьшения интенсивности работы и анализа соблюдения техники безопасности при работе с РФП.

Для одной организации, которая выдала своим сотрудником по два индивидуальных дозиметра на руки, было проведено сравнение квартальных значений индивидуальных эквивалентов доз $H_p(0,07)$ облучения левой и правой (ведущей) руки. Для наглядности значения доз для обеих рук и их соотношение представлены в таблицах 2 и 3.

Практически во всех случаях для химиков-аналитиков, инженеров-радиохимиков и медицинских сестёр соотношение «левая рука/правая рука» выше единицы свидетельствует о том, что дозы в коже ведущей руки обычно ниже, чем дозы в коже руки, не являющейся ведущей, что так же хорошо согласуется с выводами, сделанными в рамках проекта ORAMED [10]. В связи с тем, что левая рука, удерживающая флакон с РФП, имеет более высокое значение эквивалентной дозы облучения кожи рук, чем доминирующая правая рука, для избегания ситуаций недооценки дозы следует носить кольцевой дозиметр именно на левой руке, имеющий больший контакт с РФП.

Таблица 2

Результаты квартальных измерений индивидуального эквивалента дозы внешнего облучения кожи рук $H_p(0,07)$ медсестёр

[Table 2

Results of measurements of individual equivalent dose of external irradiation of skin of hands $H_p(0.07)$ of nurses]

$H_p(0,07)$, мЗв [$H_p(0.07)$, mSv]		Соотношение Левая рука/правая рука [Ratio Left hand/right hand]
Левая рука [Left hand]	Правая рука [Right hand]	
26	15	1,8
23	17	1,3
22	8,9	2,5
22	14	1,6
52	42	1,2
84	19	4,4
118	85	1,4
255	73	3,5
44	35	1,3
82	44	1,9
57	15	3,8
7,3	5,5	1,3
47	40	1,2
42	29	1,4
83	44	1,9
96	42	2,3
36	34	1,1
65	39	1,7

Таблица 3
Результаты квартальных измерений индивидуального эквивалента дозы внешнего облучения кожи рук $H_p(0,07)$ химиков-аналитиков и инженеров радиохимиков

[Table 3]
Results of measurements of the individual equivalent dose of external irradiation of the skin of the hands $H_p(0.07)$ of radiochemists]

$H_p(0,07)$, мЗв [$H_p(0.07)$, mSv]		Соотношение Левая рука/правая рука [Ratio Left hand / right hand]
Левая рука [Left hand]	Правая рука [Right hand]	
4,1	3,1	1,3
1,8	2,2	0,8
5,6	2,2	2,5
2,4	2,3	1,0
3,0	1,4	2,1
5,2	1,7	3,1
6,4	5,5	1,2
3,1	3,0	1,0
3,4	3,0	1,1
13,0	15,0	0,9
15,0	6,9	2,2
2,6	2,2	1,2
1,3	0,6	2,2
6,2	3,6	1,7
0,4	0,4	1,0
1,0	0,9	1,1
2,0	1,7	1,2
2,9	2,5	1,2
0,5	0,4	1,3
3,4	4,2	0,8
0,5	0,3	1,7
0,6	0,5	1,2
1,8	1,2	1,5
6,0	3,1	1,9
4,2	2,6	1,6
2,3	0,8	2,9
3,0	0,3	10,0
0,8	0,5	1,6
8,3	11,6	0,7
1,9	1,1	1,7
6,2	2,5	2,5

Заключение

Проведенное исследование показало, что на практике для сотрудников ПЭТ-центров, работающих с РФП на основе ^{18}F , а именно медсестёр, выполняющих фасовку РФП по шприцам и введение препарата пациенту, возможно получение существенных доз облучения кожи рук (более 500 мЗв за год).

По результатам анализа собственных измерений, был сделан вывод, что химики-аналитики, проводящие ручной контроль качества РФП так же могут иметь существенные дозы внешнего облучения кожи рук, но не превышающие 500 мЗв. При этом инженеры-радиохимики, задействованные в автоматизированных процессах синтеза и фасовки, имеют существенно более низкие значения эквивалентных доз облучения кожи рук.

Таким образом, специалисты, задействованные в ручных процессах при проведении манипуляций с РФП, требуют особого внимания с позиций ИДК при контроле дозы облучения кожи рук и соблюдения требований радиационной безопасности.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Шлеенкова Е.Н. осуществляла общее научное руководство исследованием, разработала дизайн исследования, определила цели и задачи, выполнила измерения индивидуальных эквивалентов доз, выполнила анализ данных, отредактировала и предоставила окончательный вариант рукописи для публикации в журнал.

Бажин С.Ю. провел литературный поиск, выполнил измерения индивидуальных эквивалентов доз, выполнил анализ данных, отредактировал промежуточный вариант рукописи, осуществил перевод текста.

Богатырёва В.Ю. провела литературный поиск и опросы ответственных за радиационную безопасность в исследуемых организациях.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов при выполнении работы и подготовке данной статьи.

Литература

1. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Sources and Effects of Ionizing Radiation. V.I, Annex A. Medical radiation exposures. NY: United Nations, 2010.
2. Чилига Л.А., Звонова И.А., Рыжкова Д.В. и др. Уровни облучения пациентов и возможные пути оптимизации ПЭТ-диагностики в России // Радиационная гигиена. 2017. Т. 10, № 4. С. 31-43. DOI: 10.21514/1998-426X-2017-10-4-31-43.
3. Kubo A.L.S.L., Mauricio C.L.P., TLD occupational dose distribution study in nuclear medicine // Radiation Measurements. 2014. Vol. 71. P. 442-446, ISSN 1350-4487. DOI: 10.1016/j.radmeas.2014.04.021.
4. Audi G., Wapstra A.H., Thibault C. The Ame2003 atomic mass evaluation: (II) // Tables, graphs and references, 2003. Vol. 729, No 1. P. 337-676. DOI: 10.1016/j.nuclphysa.2003.11.003.
5. Невзоров Д.И., Скрипачев И.А., Долгушин М.Б. и др. Производство радиофармацевтического лекарственного средства ^{18}F -фтордезоксиглюкоза // Онкологический журнал: лучевая диагностика, лучевая терапия. 2018. Т. 1, № 3. С. 10–14. DOI: 10.37174/2587-7593-2018-1-3-10-14.
6. Паспорт программы инновационного развития и технологической модернизации Госкорпорации «Росатом» на период до 2030 года (в гражданской части). М., 2016. 76 с.
7. Шимчук Г.Г., Брускин А.Б., Шимчук Гр.Г. Возможности и перспективы создания пэт-центров в России на основе генераторных радионуклидов // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2022. Т. 67, № 6. С. 62–66. DOI: 10.33266/1024-6177-2022-67-6-62-66.
8. European Platform for Occupational Radiation Exposure 1997 ESOREX Platform. URL: https://esorex-platform.org/database/query/skin?field_country_target_id (Дата обращения: 03.06.2024).

9. Vanhavere F., Carinou E., Donadille L. et al. An overview on extremity dosimetry in medical applications // Radiation Protection Dosimetry. 2008. Vol. 129, No 1–3. P. 350–355. DOI: 10.1093/rpd/ncn149.
10. ORAMED: Optimization of Radiation Protection of Medical Staff: EURADOS Report 2012-02, Braunschweig, April 2012. DOI: 10.12768/yc01-0d55.
11. International Commission on Radiological Protection. Radiation dose to patients from radiopharmaceuticals. Addendum 3 to ICRP Publication 53. ICRP Publication 106. Annex E. Radiation exposure of hands in radiopharmacies: Monitoring of doses and optimisation of protection // Annals of the ICRP. 2008. Vol. 38, No 1–2. P. 1–197. DOI: 10.1016/j.icrp.2008.08.003.
12. Wrzesień M. The Effect of Work System on the Hand Exposure of Workers in 18F-FDG Production Centers // Australasian Physical & Engineering Sciences in Medicine. 2018. No. 41. P. 541-548. DOI: 10.1007/s13246-018-0644-9.
13. Kollaard R., Zorz A., Dabin J. et al. Review of extremity dosimetry in nuclear medicine // Journal of Radiological Protection. 2021. Vol. 41, No 4. P. DOI: 10.1088/1361-6498/ac31a2. PMID: 34670207.
14. Cunha L., Dabin J., Leide-Svegborn S. et al. Extremity exposure of nuclear medicine workers: results from an EANM and EURADOS survey // The Quarterly Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging. 2023. Vol. 67, No 1. P. 29-36. DOI: 10.23736/S1824-4785.22.03504-X. Epub 2023 Jan 11. PMID: 36630081.
15. Kyriakidou A., Schlieff J., Ginjaume M., Kollaard R. Need for harmonisation of extremity dose monitoring in nuclear medicine: results of a survey amongst national dose registries in Europe // Journal of Radiological Protection. 2021. Vol. 41, No 4. DOI: 10.1088/1361-6498/abff3. PMID: 34723834.
16. Beganović A., Petrović B., Surić Mihić M. Extremity dosimetry for exposed workers in positron emission tomography in Bosnia and Herzegovina // Radiation Protection Dosimetry. 2023. Vol. 199, No 8-9. P. 859-864. DOI: 10.1093/rpd/ncad117. PMID: 37225180.
17. Kaljević J., Stanković K., Stanković J. et al. Hand dose evaluation of occupationally exposed staff in nuclear medicine // Radiation Protection Dosimetry. 2016. Vol. 170, No 1-4. P. 292-296. DOI: 10.1093/rpd/ncv500. Epub 2015 Dec 10. PMID: 26656262.

Поступила: 09.07.2024

Шлеенкова Екатерина Николаевна – младший научный сотрудник лаборатории радиационного контроля Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: eshleenkova@mail.ru

Бажин Степан Юрьевич – заведующий лабораторией радиационного контроля, старший научный сотрудник Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Богатырёва Виктория Юрьевна – младший научный сотрудник лаборатории радиационного контроля Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

Для цитирования: Шлеенкова Е.Н., Бажин С.Ю., Богатырёва В.Ю. Результаты индивидуального дозиметрического контроля кожи рук персонала, занятого при работе с радиофармацевтическими препаратами // Радиационная гигиена. 2024. Т. 17, № 4. С. 35–42. DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-4-35-42

Results of individual dosimetric monitoring of the hands skin for personnel engaged in working with radiopharmaceuticals

Ekaterina N. Shleenkova, Stepan Yu. Bazhin, Victoria Yu. Bogatyreva

Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance of Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint Petersburg, Russia

With the active development and wide use of positron emission tomography, ensuring radiation safety in matters of irradiation of the skin of the hands of personnel, has become very important. Work with radiopharmaceuticals labeled with various radionuclides is characterized by fairly close contact with a source of ionizing radiation, during which the skin of the hands can be irradiated in significant doses. Thus, the effect of ionizing radiation on the skin of the hands is one of the main problems of radiation protection of personnel at nuclear medicine centers. The work of personnel at nuclear medicine centers, depending on the nature of the actions performed, can be divided into two types: predominantly manual processes (nurses – packaging and administration of drugs, analytical chemists – quality control) and predominantly automated processes (radiochemical engineers – synthesis, packaging into vials). The individual equivalent doses to the skin of the hands of nurses, analytical chemists and radiochemical engineers working with ¹⁸F-based radiopharmaceuticals were estimated using thermoluminescence dosimetry with individual dosimeters calibrated in terms of H_p(0.07). The maximum annual value obtained for radiochemical engineers was 7.8 mSv, which is 1.56% of the dose limit, and for analytical chemists it was 171 mSv, which is 34% of the dose limit (mean value was 28 mSv, median was 8.8 mSv, minimum value was 4.6 mSv). At the same time, nurses, who are mainly engaged in the packaging and administration

Ekaterina N. Shleenkova

Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev

Address for correspondence: Mira Str., 8, Saint Petersburg, 197101, Russia; E-mail: eshleenkova@mail.ru

of radiopharmaceuticals, have higher values of annual doses in the skin of the hands (mean value – 114 mSv, median – 56 mSv, minimum value – 1.3 mSv). The maximum value of the annual dose in the skin of the hands, recorded during the work, for a nurse was 573 mSv, i.e. the dose limit of 500 mSv was exceeded. The results of the work indicate that specialists involved in manual processes when manipulating radiopharmaceuticals require special attention from the standpoint of individual dosimetric control of the irradiation dose to the skin of the hands and compliance with radiation safety requirements.

Key words: positron emission tomography, individual dose equivalent $H_p(0.07)$, equivalent dose in the skin, radiopharmaceutical, personnel.

Authors' personal contribution

Shleenkova E.N. provided general scientific supervision of the study, developed the study design, defined goals and objectives, performed measurements of individual dose equivalents, performed data analysis, edited and submitted the final version of the manuscript for publication in the journal.

Bazhin S.Yu. conducted a literature search, performed measurements of individual dose equivalents, performed data analysis and edited an intermediate version of the manuscript.

Bogatyeva V.Yu. conducted a literature search and surveys of those responsible for radiation safety in the organizations under study.

Conflict of interests

The authors declare that they have no conflicts of interest when conducting the study and preparing this article.

References

1. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Sources and Effects of Ionizing Radiation. V.I, Annex A. Medical radiation exposures. NY: United Nations; 2010.
2. Chipiga LA, Zvonova IA, Ryzhkova DV, Menkov MA, Dolgushin MB. Levels of patients exposure and a potential for optimization of the pet diagnostics in the Russian Federation. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2017;10(4): 31–43. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2017-10-4-31-43.
3. Kubo ALSL, Mauricio CLP. TLD occupational dose distribution study in nuclear medicine. *Radiation Measurements*. 2014;71: 442–446. DOI: 10.1016/j.radmeas.2014.04.021.
4. Audi G, Wapstra AH, Thibault C. The Ame2003 atomic mass evaluation: (II). *Tables, graphs and references*. 2003;729(1): 337–676. DOI: 10.1016/j.nuclphysa.2003.11.003.
5. Nevzorov DI, Skripachev IA, Dolgushin MB, Odzharova AA, Eremin NV. Production of Radiopharmaceutical Medicinal Product 18F-Fluorodeoxyglucose. *Onkologicheskii zhurnal: luchelevaya diagnostika, luchelevaya terapiya = Journal of oncology: diagnostic radiology and radiotherapy*. 2018;1(3): 10–14. (In Russian). DOI: 10.37174/2587-7593-2018-1-3-10-14.
6. Passport of the program of innovative development and technological modernization of the State Corporation Rosatom for the period up to 2030 (in the civil part). Moscow; 2016. 76 p. (In Russian).
7. Shimchuk GG, Bruskin AB, Shimchuk GrG. Opportunities and Prospects for Russia to Create PET Centers Based on Generator Radionuclides. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost = Medical Radiology and Radiation Safety*. 2022;67(6): 62–66. (In Russian). DOI: 10.33266/1024-6177-2022-67-6-62-66
8. European Platform for Occupational Radiation Exposure 1997 ESOREX Platform. Available from: https://esorex-platform.org/database/query/skin?field_country_target_id (Accessed: 03.06.2024).
9. Vanhavere F, Carinou E, Donadille L, Ginjaume M, Jankowski J, Rimpler A, et al. An overview on extremity dosimetry in medical applications. *Radiation Protection Dosimetry*. 2008;129(1–3): 350–355.
10. ORAMED: Optimization of Radiation Protection of Medical Staff: EURADOS Report 2012-02, Braunschweig, April 2012.
11. International Commission on Radiological Protection. Radiation dose to patients from radiopharmaceuticals. Addendum 3to ICRP Publication 53. ICRP Publication 106. Annex E. Radiation exposure of hands in radiopharmacies: Monitoring of doses and optimisation of protection. *Annals of the ICRP*. 2008;38(1–2): 1–197.
12. Wrzesień M. The effect of work system on the hand exposure of workers in 18F-FDG production centres. *Australasian Physical & Engineering Sciences in Medicine*. 2018;41(2): 541–548. DOI: 10.1007/s13246-018-0644-9.
13. Kollaard R, Zorz A, Dabin J, Covens P, Cooke J, Crabbé M, et al. Review of extremity dosimetry in nuclear medicine. *Journal of Radiological Protection*. 2021;41(4). DOI: 10.1088/1361-6498/ac31a2. PMID: 34670207.
14. Cunha L, Dabin J, Leide-Svegborn S, Zorz A, Kollaard R, Covens P. Extremity exposure of nuclear medicine workers: results from an EANM and EURADOS survey. *Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*. 2023;67(1): 29–36. DOI: 10.23736/S1824-4785.22.03504-X. Epub 2023 Jan 11. PMID: 36630081.
15. Kyriakidou A, Schlieff J, Ginjaume M, Kollaard R. Need for harmonisation of extremity dose monitoring in nuclear medicine: results of a survey amongst national dose registries in Europe. *Journal of Radiological Protection*. 2021;41(4). DOI: 10.1088/1361-6498/abfff3. PMID: 34723834.
16. Beganović A, Petrović B, Surić Mihić M. Extremity dosimetry for exposed workers in positron emission tomography in Bosnia and Herzegovina. *Radiation Protection Dosimetry*. 2023;199(8–9): 859–864. DOI: 10.1093/rpd/ncad117. PMID: 37225180.
17. Kaljevic J, Stankovic K, Stankovic J, Ciraj-Bjelac O, Arandjic D. Hand dose evaluation of occupationally exposed staff in nuclear medicine. *Radiation Protection Dosimetry*. 2016;170(1–4): 292–296. DOI: 10.1093/rpd/ncv500. Epub 2015 Dec 10. PMID: 26656262.

Received: July 09, 2024

For correspondence: Ekaterina N. Shleenkova – Junior Researcher of the Laboratory of Radiation Control, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing (Mira Str., 8, Saint Petersburg, 197101, Russia; E-mail eshleenkova@mail.ru)

Stepan Yu. Bazhin – Head of the Laboratory of Radiation Control, Senior Researcher, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint Petersburg, Russia

Victoria Yu. Bogatyeva – Junior Researcher of the Laboratory of Radiation Control, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Saint Petersburg, Russia

For citation: Shleenkova E.N., Bazhin S.Yu., Bogatyeva V.Yu. Results of individual dosimetric monitoring of the hands skin for personnel engaged in working with radiopharmaceuticals. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2024. Vol. 17, No. 4. P.35–42. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-4-35-42