

Проблемы обращения с биологическими отходами пациентов в радионуклидной диагностике

Л.А. Чипига^{1,2,3,4}, С.А. Рыжов^{4,5,6}, А.В. Водоватов^{1,7}, И.А. Звонова¹, А.В. Петрякова^{1,8},
А.А. Станжевский², К.Д. Киселев^{5,9}, И.В. Глотова^{5,9}

¹ 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

² Российский научный центр радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

³ Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

⁴ Ассоциация медицинских физиков России, Москва, Россия

⁵ Национальный медицинский исследовательский центр детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева, Министерство здравоохранения Российской Федерации, Москва, Россия

⁶ Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Департамент здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

⁷ Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

⁸ Городская больница №40 Курортного района, Санкт-Петербург, Россия

⁹ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Министерство образования и науки Российской Федерации, Москва, Россия

Образующиеся при проведении радионуклидной диагностики биологические отходы (моча) пациентов, содержащие радионуклиды, как правило, поступают непосредственно в систему водоотведения медицинской организации. Установление новых критериев отнесения жидких отходов к радиоактивным согласно постановлению Правительства от 19.10.2012 № 1069 может повлечь за собой внесение изменений в нормативные документы, выдвигающие требования к организации работы отделений радионуклидной диагностики. К таким требованиям можно отнести обязательную организацию системы спецканализации. Данное требование может повысить стоимость процедуры радионуклидной диагностики, что, в свою очередь, повлияет на ее доступность для пациентов. Целью настоящей работы являлась оценка активностей радионуклидов в моче пациентов после радионуклидной диагностики и удельной активности в сточных водах медицинской организации и в баках биотуалетов в транспорте для определения путей обращения с такими отходами. На основании опубликованных литературных данных были определены параметры модели биологического выведения для следующих радиофармпрепаратов: ^{99m}Tc-пирофосфат, ⁶⁴Си-моноклональные антитела, ¹⁸F-ФДГ, ⁶⁸Ga-ПСМА-617. Были рассчитаны активности радионуклидов в моче пациентов, выводимой в медицинской организации и в общественном транспорте при перемещении пациента до места проживания после диагностической процедуры. Рассмотрены различные сценарии перемещения пациента. Получены величины выводимой активности, удельной активности и мощности дозы на расстоянии 1 м от бака биотуалета с отходами пациента для разных видов транспорта. Установлено, что при различных сценариях передвижения пациента рассчитанные значения удельной активности радионуклидов в баках биотуалетов превышает критерий отнесения жидких отходов к радиоактивным (вплоть до 180 раз для ⁶⁸Ga-ПСМА-617 при перемещении на автобусе). Таким образом, в соответствии с нормативными требованиями необходим сбор и выдержка биологических отходов от пациентов после радионуклидных диагностических исследований на распад. Однако оценочные расчеты показали, что эффективные дозы у лиц из населения от контакта с такими отходами не превышают допустимых значений. Это объясняется коротким периодом полураспада диагностических радионуклидов. В связи с чем предложены пути обращения с жидкими отходами пациентов после диагностических процедур без системы спецканализации.

Ключевые слова: радионуклидная диагностика, биологические отходы пациентов, облучение населения, критерии отнесения к жидким радиоактивным отходам, радиационная безопасность.

Чипига Лариса Александровна

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: larisa.chipiga@gmail.com

Введение

В связи с внесением изменений от 29 октября 2022 года в Постановление правительства №1069¹ и установлением критериев отнесения к жидким радиоактивным отходам (ЖРО), для ряда радионуклидов, применяемых в радионуклидной диагностике (РНД), вновь становится актуальным вопрос обращения с отходами пациентов в отделениях радионуклидной диагностики и позитронной эмиссионной томографии. В отличие от радионуклидной терапии, согласно отечественным нормативно-методическим документам² и международным рекомендациям [1], в отделениях радионуклидной диагностики не требуется организация специализированных систем для сбора и выдержки биологических отходов пациентов (моча) на распад. В предыдущих работах авторы обосновали возможность применения дифференцированного, в зависимости от применяемых радионуклидов, подхода к обращению с биологическими отходами пациентов в подразделениях ядерной медицины [2, 3].

Принятые изменения в Постановление правительства № 1069 и установление критериев отнесения к ЖРО для короткоживущих радионуклидов, применяемых в диагностике, могут потребовать внесения соответствующих требований в нормативные документы.

Цель исследования – оценка активностей радионуклидов в моче пациентов после РНД и удельной активности в сточных водах медицинской организации и в баках биотуалетов в транспорте для определения путей обращения с такими отходами.

Материалы и методы

Большинство диагностических радионуклидов выводятся с мочой. Степень экскреции и период полувыведения зависят не только от введенного РФЛП, но и от большого количества индивидуальных факторов, таких как состояние мочевыделительной системы, наличие общих заболеваний, возраст и пол пациента и т.д. Тем не менее в большинстве случаев до 60% от введенной активности выводятся в первые сутки, а максимальная активность в зависимости от РФЛП выводится в первые 4-6 часов после введения. При этом до 80% от введенной активности выводится в неизменном или частично не измененном виде. Для целей данной работы было принято, что порция мочи составляет 200 мл [4], а объем бака унитаза составляет 5,8 л. Вводимые активности РФЛП могут зависеть от массы пациента и приняты исходя из научных публикаций как максимальное из средних значений, рекомендованных для стандартного человека (таблица 1). Отдельно был рассмотрен вопрос естественного разбавления образующихся ЖРО другими сточными водами медицинской организации. Плотность образующихся ЖРО принята равной 1 г/мл.

Выведение РФЛП за время $\Delta t = (t_{l-1} - t_l)$ после введения РФЛП определяли по формуле (1) [5]:

$$A_{\text{вывед},l}(\Delta t) = A(t_{l-1}) - A(t_l) = A_0 \cdot \left[\sum_{i=1}^n a_i \exp(-\lambda_{eff,i} \cdot t_{l-1}) - \sum_{i=1}^n a_i \exp(-\lambda_{eff,i} \cdot t_l) \right], \quad (1)$$

где A_0 – вводимая пациенту активность радионуклида в РФЛП, Бк;

a_i – фракция выведения i -фазы РФЛП из организма пациента, отн. ед.;

$\lambda_{eff,i}$ – константа эффективного выведения i -фазы РФЛП, сут⁻¹.

Накопление активности радионуклидов в биологических отходах (моче) пациента определяли с учетом добавки активности от новой микции и радиоактивного распада предыдущих выделений) по формуле (2):

$$A_{\text{отход}}(t_l) = A_{\text{вывед},l}(\Delta t) + A_{\text{отход}}(t_{l-1}) \cdot \exp\left(-\ln 2 \cdot (t_l - t_{l-1}) / T_{phys}\right) \quad (2)$$

Параметры модели (формула 1) выведения РФЛП из организма пациентов определяли на основании опубликованных литературных данных [6-9]. Параметры из формул 1 и 2 представлены в таблице 1.

Динамика изменения активности радионуклидов, образующихся в отходах пациента с течением времени согласно модели биовыведения представлена на рисунке 1.

Активности радионуклидов в сточных водах, образующихся за время пребывания пациентов в медицинской организации, а также в транспорте представлены в таблицах 2 и 3.

Оценка выведения радионуклидов в медицинской организации показала, что средняя удельная активность в моче, например, для пациента после введения ¹⁸F-ФДГ составит 0,68 МБк/г, удельная активность после смывания микции в унитаз – 23 кБк/г, что существенно выше предельного значения отнесения отходов к ЖРО (10 Бк/г). При объеме сети стоков медицинской организации более 17 м³ средняя удельная активность сточных вод не будет превышать предельное значение. Помимо этого, следует учитывать, что за 24 часа активность ¹⁸F снизится в 8025 раз (до 0,02 МБк), таким образом удельная активность будет ниже предельного значения и указанные стоки не будут классифицироваться как радиоактивные отходы.

Оценки активностей радионуклидов в сточных водах, образующихся в транспорте от пациента после РНД, удельная активность сточных вод в баках биотуалетов в транспорте, а также оценки мощности дозы от баков со сточными водами биотуалетов, представлены в таблице 3.

¹ Постановление Правительства Российской Федерации от 29 октября 2022 г. № 1929 «Изменения, которые вносятся в постановление Правительства Российской Федерации от 19 октября 2012 г. № 1069» [Resolution of the Government of the Russian Federation No. 1929 of October 29, 2022 «Changes to be made to the Resolution of the Government of the Russian Federation No. 1069 of October 19, 2012» (In Russ.)]. (Далее – постановление Правительства № 1929).

² СанПиН 2.6.1.3288-15 «Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при подготовке и проведении позитронной эмиссионной томографии», утвержден Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 20 июля 2015 г. № 31 [Sanitary Regulations and Standards 2.6.1.3288-15 «Hygienic requirements for radiation safety during the preparation and the conduction of positron emission tomography» (In Russ.)] (далее – СанПиН 2.6.1.3288-15).

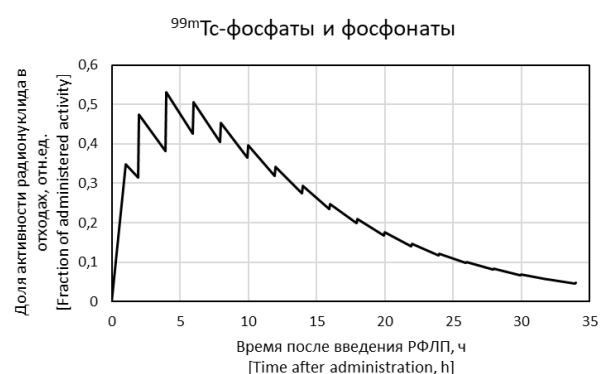
Таблица 1

Параметры из формул 1 и 2

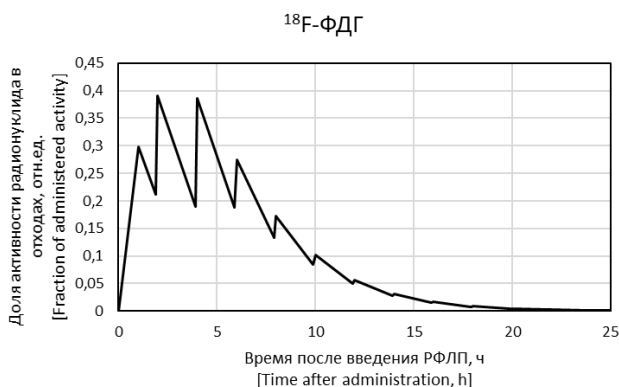
[Table 1

Parameters of equations 1 and 2]

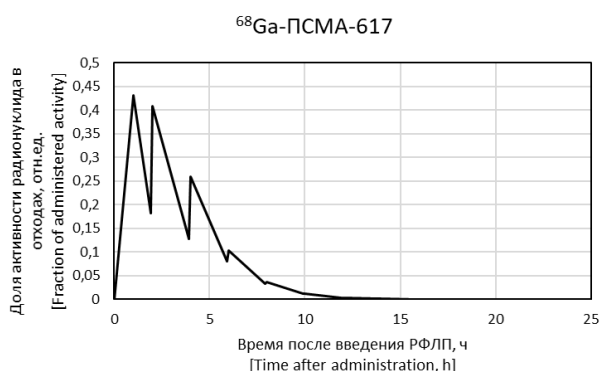
РФЛП [Radiopharmaceutical]	A_0 , МБк [MBq]	T_{phys}	a_1	Параметр [Parameter]				
				λ_{eff1} , сут ⁻¹ [day ⁻¹]	a_2	λ_{eff2} , сут ⁻¹ [day ⁻¹]	a_3	λ_{eff3} , сут ⁻¹ [day ⁻¹]
^{99m} Tc-пирофосфат [5] [^{99m} Tc-pyrophosphate]	700	6 ч [h]	0,3	36,2	0,3	11,2	0,4	3,0
⁶⁴ Cu-моноклональные антитела [5] [⁶⁴ Cu-monoclonal antibodies]	120	12,7 ч [h]	0,5	2,0	0,5	1,5	-	-
¹⁸ F-ФДГ [7,8] [¹⁸ F-FDG]	350	110 мин [min]	0,19	64,5	0,06	10,9	0,75	9,1
⁶⁸ Ga-ПСМА-617 [9] [⁶⁸ Ga-PSMA-617]	150	68 мин [min]	0,72	24,4	0,28	15,0	-	-



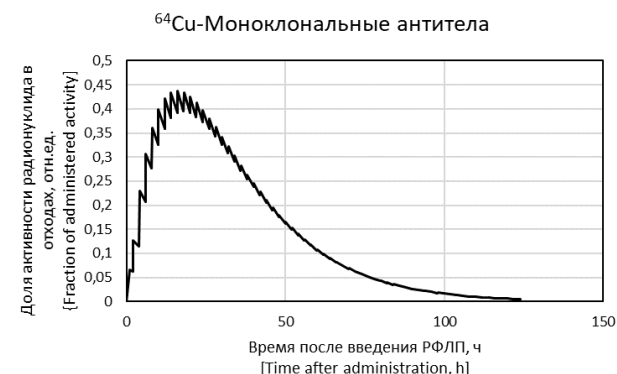
а



б



в



г

Рис. 1. Накопление активности радионуклидов в биологических отходах (моче) пациента (при микции через каждый час в первые 2 часа после введения РФЛП и дальше каждые 2 часа) с течением времени после введения РФЛП для: а – ^{99m}Tc-фосфаты и фосфонаты; б – ¹⁸F-ФДГ; в – ⁶⁸Ga-ПСМА-617, г – ⁶⁴Cu-моноклональные антитела
[Fig. 1. Radionuclide activity in biological waste of (urination every 1 hour during first 2 hours and then every 2 hours) with time after administration of radiopharmaceutical for: а – ^{99m}Tc-labeled phosphate and phosphonate agents; б – ¹⁸F-FDG; в – ⁶⁸Ga-PSMA-617, г – ⁶⁴Cu-monoclonal antibodies]

Таблица 2

Активности радионуклидов в сточных водах, образующиеся за время пребывания пациентов в медицинской организации (в расчете на одного пациента)

[Table 2]

Accumulation of radionuclide activity generated in the sewage water in the hospital (per 1 patient)

РФЛП [Radiopharmaceutical]	Время нахождения в МО, ч [Time in the hospital, h]	Активность в сточных водах, МБк (% от введенной) с учетом распада [Activity in the sewage water, MBq (% of the administered activity)]
^{99m} Tc-пирофосфат [^{99m} Tc-pyrophosphate]	4	371 (53%)
¹⁸ F-ФДГ [¹⁸ F-FDG]	2	137 (39%)
⁶⁸ Ga-ПСМА-617 [⁶⁸ Ga-PSMA-617]	2	61 (41%)
⁶⁴ Cu-моноклональные антитела [⁶⁴ Cu-monoclonal antibodies]	2	15 (13%)
	24	48 (40%)

Таблица 3

Активности радионуклидов в сточных водах, образующиеся в транспорте, удельная активность сточных вод в баке биотуалета в транспорте и мощность дозы на расстоянии 1 метр от бака

[Table 3]

Radionuclide activity generated in the sewage water from patient in transport, the activity concentration of sewage water in the toilet tank in transport and the dose rate at 1 meter from the tank

РФЛП [Radiopharmaceutical]	Критерий отнесения к ЖРО, Бк/г [Criteria for classifying liquid waste as radioactive, Bq/g]	Вид транспорта до места проживания [Type of transport to the place of residence]	Выводимая активность в транспорте, МБк [Excreted radionuclide activity in transport, MBq]	Удельная активность в баке биотуалета, Бк/г [Activity concentration in the toilet tank in transport, Bq/g]	Мощность дозы, мкЗв/ч [Dose rate, μSv/h]
^{99m} Tc-пирофосфат [^{99m} Tc-pyrophosphate]	100	электropоезд/автобус [commuter train/bus]	46	460	0,8
		поезд [intercity train]	82	270	1,5
		самолет [plane]	61	200	1,1
¹⁸ F-ФДГ [¹⁸ F-FDG]	10	электropоезд/автобус [commuter train/bus]	48	480	6,5
		поезд [intercity train]	48	160	6,5
		самолет [plane]	22	75	3,0
⁶⁸ Ga-ПСМА-617 [⁶⁸ Ga-PSMA]	0,5	электropоезд/автобус [commuter train/bus]	9	90	1,2
		поезд [intercity train]	9	31	1,2
		самолет [plane]	2	6	0,2
⁶⁴ Cu-моноклональные антитела [⁶⁴ Cu-monoclonal antibodies]	100	электropоезд/автобус [commuter train/bus]	4	44	0,1
		поезд [intercity train]	10	35	0,3
		самолет [plane]	7	25	0,2

Полученные результаты показывают, что удельная активность радионуклидов в сточных водах в биотуалете транспортного средства после посещения его пациентом после РНД может превышать предельное значение отнесения отходов к ЖРО. Мощность дозы на расстоянии 1 метр от баков биотуалетов со сточными водами может превышать 1 мкЗв/ч, что может быть зарегистрировано на пунктах радиационного контроля транспортной инфраструктуры, привести к нештатной (аварийной) ситуации и задержанию транспортного средства. Однако, максимальная активность диагностических радионуклидов с коротким

периодом полураспада и соответствующая мощность дозы от бака со сточными водами биотуалета (таблица 3) будет отмечаться в первые часы после начала поездки пациента в транспорте. За счет короткого периода полураспада активность радионуклидов в сточных водах в баке биотуалета и соответственно мощность дозы будет быстро снижаться. Как показано в таблице 4, эффективные дозы у пассажиров и проводников, технического персонала, обслуживающего баки, и других лиц из населения от этих отходов не превысят допустимого значения от обращения с радиоактивными отходами (100 мкЗв/год)³.

Таблица 4

Эффективные дозы облучения критических групп лиц от бака биотуалета за 1 поездку/рейс

[Table 4]

Effective doses for the critical groups from sewage tank per 1 trip		Эффективная доза, мкЗв [Effective dose, μSv]			
Вид транспорта до места проживания [Type of transport to the place of residence]	Группа критических лиц [Critical groups]				
		^{99m} Tc-пирофосфат [^{99m} Tc-pyrophosphate]	¹⁸ F-ФДГ [¹⁸ F-FDG]	⁶⁸ Ga-ПСМА-617 [⁶⁸ Ga-PSMA]	⁶⁴ Cu-моноклональные антитела [⁶⁴ Cu-monoclonal antibodies]
Электropоезд/автобус [commuter train/bus]	Пассажиры/экипаж [Passengers/crew]	1,5	9,1	1,4	0,21
	Технический персонал [Staff]	1,6	12	2,0	0,22
Поезд [intercity train]	Пассажиры/экипаж [Passengers/crew]	13	17	1,9	4,4
	Технический персонал [Staff]	2,9	12	2,0	0,52
Самолет [plane]	Пассажиры/экипаж [Passengers/crew]	5,4	7,4	0,4	1,1
	Технический персонал [Staff]	2,2	5,5	0,4	0,36

Результаты исследования показали, что, при прямом следовании нормативным требованиям, необходимо собирать и выдерживать отходы в специальных емкостях в медицинской организации для снижения удельной активности радионуклидов в них ниже уровня отнесения к ЖРО, т.е. предусматривать систему спецканализации в отделения РНД. Объем спецканализации должен определяться в каждом случае индивидуально для медицинской организации на этапе проектирования в зависимости от задач, применяемых РФЛП и потока пациентов, что существенно удорожит и усложнит процедуры РНД, а в ряде случаев для дей-

ствующих в настоящее время подразделений РНД сделает их проведение невозможным.

Таким образом, возможны следующие варианты обращения с биологическими отходами пациентов:

- устанавливать в отделениях ядерной медицины небольшие сборники для ЖРО. Альтернативой спецканализации для небольшого потока пациентов, или при невозможности конструктивно разместить систему спецканализации в медицинской организации, является использование специализированных биотуалетов с защищенными сборниками для сточных вод, относящихся по уровню удельной активности к ЖРО.

³ Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 26.04.2010 г. №40 (ред. от 16.09.2013) «Об утверждении СП 2.6.1.2612-10 «Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010)» (вместе с «СП 2.6.1.2612-10. ОСПОРБ 99/2010. Санитарные правила и нормативы...»)» (Зарегистрировано в Минюсте России 11.08.2010 № 18115) [Sanitary rules and norms SP 2.6.1.2612-10 «Basic sanitary rules of the provision of the radiation safety (OSPORB 99/2010)». (Registered in the Ministry of Justice of Russia on 11.08.2010 No. 41970) (In Russ.)]

– проводить РНД без использования системы специализации, ограничивая годовое потребление активности, исходя из объемов водоотведения медицинской организации (рисунок 2) и ограничивая активность на рабочем месте. При этом в систему водоотведения допускается сливать только биологические отходы пациентов, а при работе с несколькими радионуклидами годовой баланс активности для каждого радионуклида будет ниже. Ограничение активности на рабочем месте необходимо для равномерного распределения пациентов в течение года и недопущения единовременного сброса биологических отходов, содержащих радионуклиды, в систему водоотведения медицинской организации. Все прочие ЖРО, например, остатки РФЛП во флаконах и шприцах, необходимо собирать отдельно и выдерживать на распад в отделении.

В связи с тем, что превышение мощности дозы от пациентов с введённым диагностическим РФЛП может приводить к срабатыванию досмотровых систем на пунктах радиационного контроля транспортной инфраструктуры, при проектировании отделения должно быть обосновано время нахождения пациентов до выхода из отделения, а также

время, в течение которого пациенты должны воздержаться от совершения авиаперелётов и поездок на поездах и междугородних автобусах. Эти временные промежутки должны содержаться в регламентах проведения диагностических процедур ядерной медицины и применяться в повседневной работе отделения при проведении исследований и инструктировании пациентов.

Заключение

В работе для ряда РФЛП, применяемых в диагностике, определены активности радионуклидов, выводимые с мочой пациентов, а также удельные активности в сточных водах медицинской организации и баках биотуалетов в общественном транспорте во время перемещения пациента до места его проживания. На основании полученных результатов показано, что отсутствие необходимости в сборе и выдержки на распад биологических отходов пациентов после процедур РНД должно обосновываться на этапе проектирования отделения РНД с учетом планируемого перечня радионуклидов, потока пациентов и объемов водоотведения медицинской организации.

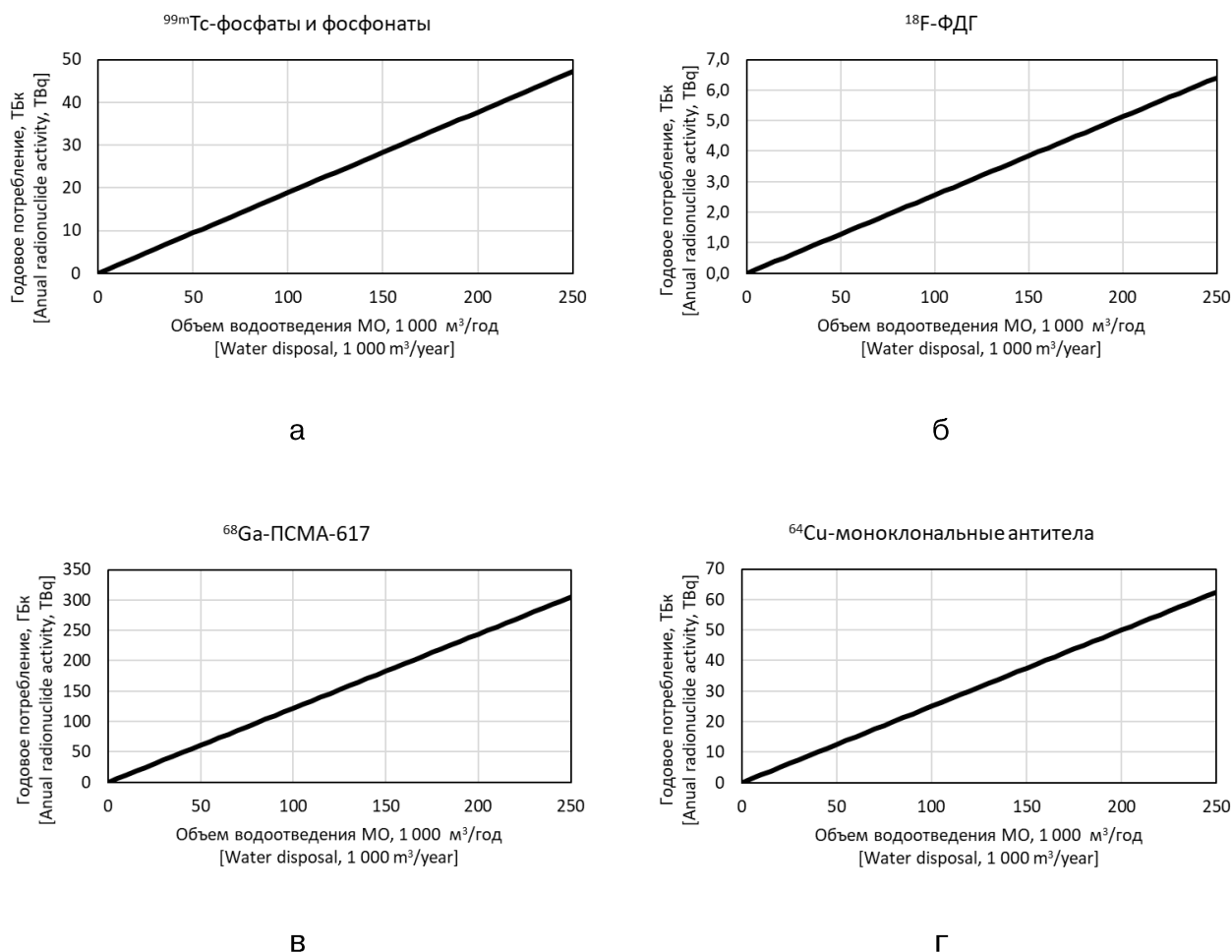


Рис. 2. Сопоставление годового баланса активности радионуклидов и водоотведения МО для: а – ^{99m}Tc -фосфаты и фосфонаты; б – ^{18}F -ФДГ; в – ^{68}Ga -ПСМА-617, г – ^{64}Cu -моноклональные антитела
[Fig. 2. Comparison of the annual radionuclide activity balance and hospital water disposal for: а – ^{99m}Tc -labeled phosphate and phosphonate agents; б – ^{18}F -FDG; в – ^{68}Ga -PSMA-617, г – ^{64}Cu -monoclonal antibodies]

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Чипига Л.А. – научное руководство исследованием, разработка дизайна исследования, поиск и анализ литературы, проведение расчетов, формулировка научных гипотез, обработка и анализ полученных результатов, написание текста статьи.

Рыжов С.А. – поиск и анализ литературы, проведение расчетов, анализ и интерпретация результатов, обсуждение результатов исследования, редактирование текста статьи.

Водоватов А.В. – анализ и интерпретация результатов, обсуждение результатов исследования, редактирование текста статьи.

Звонова И.А. – поиск и анализ литературы, проведение расчетов, анализ и интерпретация результатов.

Петрякова А.В. – поиск и анализ литературы, проведение расчетов.

Станжевский А.А. – обсуждение результатов исследования.

Киселев К.Д. – обсуждение результатов исследования, редактирование текста статьи, перевод.

Глотова И.В. – обсуждение результатов исследования, редактирование текста статьи, перевод.

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об источнике финансирования

Работа выполнена в рамках отраслевой программы Роспотребнадзора «Разработка и научное обоснование комплекса мер по обеспечению радиационной защиты в ядерной медицине», а также в рамках двух НИР: «Научное развитие медико-технологических и организационных аспектов обеспечения радиационной безопасности при оказании медицинской помощи» (№ ЕГИСУ: №123031500006-9) и «Разработка персонализированных методов радионуклидной диагностики и терапии у детей, а также радиологического контроля, в том числе с использованием технологий искусственного интеллекта» (№ ЕГИСУ: №124021200036-9).

Литература

1. IAEA-TECDOC-1183. Management of radioactive waste from the use of radionuclides in medicine. IAEA: Vienna, 2000. 83 p.
2. Чипига Л.А., Водоватов А.В., Звонова И.А. и др. Обращение с биологическими отходами пациентов после проведения радионуклидной терапии // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 2. С. 19-30. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-2-19-30.
3. Чипига Л.А., Водоватов А.В., Петрякова А.В. и др. Обоснование дифференцированного подхода к обращению с биологическими отходами пациентов в подразделениях ядерной медицины // Радиационная гигиена. 2022. Т. 15, № 4. С. 34-44. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-4-34-44.
4. Официальный сайт Международного Медицинского Центра «УРО-ПРО» Сочи. URL: <https://sochi.upclinic.ru/information/urologiya-seksologiya/rasstroystva-mocheispushkaniya/> (Дата обращения: 11.06.2024).
5. International Commission on Radiological Protection. Radiation dose to patients from radiopharmaceuticals: a compendium of current information related to frequently used substances. ICRP Publication 128. Ann. ICRP, 2015. 44(2S).
6. International Commission on Radiological Protection. Nuclear Decay Data for Dosimetric Calculations. ICRP Publication 107. Ann. ICRP, 2008. 38 (3).
7. Dowd M.T., Chen C.T., Wendel M.J., et al. Radiation dose to the bladder wall from 2-[¹⁸F] fluoro-2-deoxy-D-glucose in adult humans // Journal of Nuclear Medicine. 1991. Vol. 32, No 4. P. 707-712.
8. Chen C.T., Harper P.V., Lathrop K.A. A simple dynamic model for calculating radiation absorbed dose to the bladder wall / 4th International Radiopharmaceutical Dosimetry Symposium. 1985. P. 5-8.
9. Kurth J., Krause B.J., Schwarzenbock S.M., et al. External radiation exposure, excretion, and effective half-life in ¹⁷⁷Lu-PSMA-targeted therapies // European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging research. 2018. Vol. 8, No 1. P. 1-11. DOI: 10.1186/s13550-018-0386-4.
10. Петрякова А.В., Чипига Л.А., Звонова И.А. и др. Проблемы радиационной безопасности при передвижении в общественном транспорте пациента после радионуклидной терапии с ¹³¹I // Радиационная гигиена. 2024. Т. 17, № 2. С. 97-108. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-17-2-97-108.

Поступила: 18.06.2024

Чипига Лариса Александровна – кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; научный сотрудник Российского научного центра радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова Министерства здравоохранения Российской Федерации; доцент кафедры ядерной медицины и радиационных технологий Национального медицинского исследовательского центра им. В.А. Алмазова Министерства здравоохранения Российской Федерации. Адрес для переписки: 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: larisa.chipiga@gmail.com

ORCID: 0000-0001-9153-3061 SPIN 3920-7798

Рыжов Сергей Анатольевич – вице-президент Ассоциации медицинских физиков России; начальник отдела радиационной безопасности и медицинской физики Национального медицинского исследовательского центра детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева; научный сотрудник Научно-практического клинического центра диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

ORCID: 0000-0002-0640-7368

Водоватов Александр Валерьевич – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; доцент кафедры общей гигиены Санкт-Петербургского государственного педиатрического медицинского университета, Санкт-Петербург, Россия

ORCID: 0000-0002-5191-7535

Звонова Ирина Александровна – доктор технических наук, главный научный сотрудник лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций 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

ORCID: 0000-0003-4340-8666

Петрякова Анастасия Валерьевна – младший научный сотрудник лаборатории радиационной гигиены медицинских организаций Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; инженер по радиационной безопасности Городской больницы № 40 Курортного района, Санкт-Петербург, Россия

ORCID: 0000-0003-2663-9091 SPIN 1683-4733

Станжевский Андрей Алексеевич – доктор медицинских наук, заместитель директора по научной работе Российского научного центра радиологии и хирургических технологий имени академика А.М. Гранова Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

ORCID: 0000-0002-1630-0564 SPIN 4025-4260

Киселев Кирилл Дмитриевич – сотрудник отдела радиационной безопасности и медицинской физики Национального медицинского исследовательского центра детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева; обучающийся Инженерно-физического института биомедицины Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» Министерства образования и науки Российской Федерации, Москва, Россия

ORCID: 0009-0000-1293-7608

Глотова Ирина Владимировна – сотрудник отдела радиационной безопасности и медицинской физики Национального медицинского исследовательского центра детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева; обучающийся Инженерно-физического института биомедицины Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» Министерства образования и науки Российской Федерации, Москва, Россия

ORCID: 0009-0002-4756-7971

Для цитирования: Чипига Л.А., Рыжов С.А., Водоватов А.В., Звонова И.А., Петрякова А.В., Станжевский А.А., Киселев К.Д., Глотова И.В. Проблемы обращения с биологическими отходами пациентов в радионуклидной диагностике // Радиационная гигиена. 2023. Т. 16, № 3. С. 29–38. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-2-29-38

Problems of management of patient biological waste in radionuclide diagnostics

Larisa A. Chipiga^{1,2,3,4}, Sergey A. Ryzhov^{4,5,6}, Aleksandr V. Vodovotov^{1,7}, Irina A. Zvonova¹, Anastasia V. Petryakova^{1,8},
 Andrey A. Stanzhevsky², Kirill D. Kiselev^{5,9}, Irina V. Glotova^{5,9}

¹ 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

² A. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia

³ Almazov National Medical Research Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia

⁴ Association of Medical Physicists of Russia, Moscow, Russia

⁵ Dmitry Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia

⁶ Research and Practical Clinical Centre of Diagnostics and Telemedicine Technologies of Moscow Healthcare Department, Moscow, Russia

⁷ Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia

⁸ The City Hospital No 40 of the Kurortny District, Saint Petersburg, Russia

⁹ National Research Nuclear University «MEPhI», Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Moscow, Russia

Biological excretion from patients (urine) generated during radionuclide diagnostics enters directly into the hospital sewage system. The establishment of new clearance level according to Resolution of the Government of the Russian Federation No. 1069 of October 19, 2012 may entail amendments to regulatory documents for radionuclide diagnostics departments. One of these requirements is a mandatory dedicated sewage system. Establishment of the requirement may lead to an increase the cost of the radionuclide diagnostic examinations, and to a decrease the accessibility of radionuclide diagnostic. The aim of this study was to estimate the activity of radionuclides in patient urine after radionuclide diagnostic and activity concentration in sewage water in the hospital and in the transport tank of toilet for evaluation of paths of waste manage. Based on published literature data, models of biological excretion were constructed for the following radiopharmaceuticals: ^{99m}Tc-pyrophosphate, ⁶⁴Cu-Labeled Monoclonal Antibody, ¹⁸F-FDG, ⁶⁸Ga-PSMA-617. The activity of radionuclides in the patient waste in the hospital and in public transport during the patient transportation to home was calculated. Various scenarios of patient transportation were considered. The values of the excreted activity, activity concentration and dose rate at 1 m from the tank with sewage water for each type of transport were calculated. The calculated values of the radionuclide activity concentration in sewage water in transport tank of toilet for the majority scenarios exceed the clearance level (up to 180 times for ⁶⁸Ga-PSMA-617 when traveling by bus). According the regulatory requirements, it is necessary to collect patient excretions after radionuclide diagnostic examinations and hold it for decay. However, estimated effective doses of individuals from the public from contact with biological patient waste do not exceed the acceptable value. This is due to the short half-life of diagnostic radionuclides. The paths of management system of biological patient waste were proposed.

Key words: radionuclide diagnostic, patient, biological waste, public exposure, clearance level, radiation safety.

Authors' personal contribution

Chipiga L.A. – scientific management of the study, development of the study design, search and analysis of literature, calculations, formulation of the scientific conjectures, processing and analysis of results, writing the text of the article.

Ryzhov S.A. – search and analysis of literature, calculations, processing and analysis of results, discussion of the results, editing the text of the article.

Vodovotov A.V. – analysis and interpretation of the results, discussion of the results, editing the text of the article.

Zvonova I.A. – search and analysis of literature, calculations, analysis and interpretation of the results.

Petryakova A.V. – search and analysis of literature, calculations.

Stanzhevsky A.A. – discussion of the results.

Kiselev K.D. – discussion of the results, editing the text of the article, translation.

Glotova I.V. – discussion of the results, editing the text of the article, translation.

Conflict of interests

The authors declare no conflicts of interest.

Sources of funding

The work was performed as a part of the program of Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being «Development and scientific justification of a set of measures to ensure radiation protection in nuclear medicine» and within the framework of the research works «Scientific development of medical technological and organizational aspects of radiation safety in the provision of medical care» (No. EGISU: №123031500006-9) and «Development of personalized methods of radionuclide diagnostics and therapy of children and radiological control including using artificial intelligence technologies» (No. EGISU: 124021200036-9).

Larisa A. Chipiga

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

Address for correspondence: Mira Str., 8, Saint Petersburg, 197101, Russia; E-mail: larisa.chipiga@gmail.com

References

1. IAEA-TECDOC-1183. Management of radioactive waste from the use of radionuclides in medicine. IAEA: Vienna; 2000. 83 p.
2. Chipiga LA, Vodovatov AV, Zvonova IA, Stanzhevsky AA, Petryakova AV, Anokina EE, et al. Management of biological waste of patients after radionuclide therapy. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022;15(2): 19-30. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-2-19-30.
3. Chipiga LA, Vodovatov AV, Petryakova AV, Zvonova IA, Stanzhevsky AA, Maistrenko DN, et al. Justification of differential approach to management of patient biological waste in nuclear medicine departments. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2022;15(4): 34-44. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-4-34-44.
4. Official website of the International Medical Center «URO-PRO» Sochi. Available from: <https://sochi.upclinic.ru/information/urologiya-seksologiya/rasstroystva-mocheispuskaniya/> (Accessed: 11.06.2024).
5. International Commission on Radiological Protection. Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals: A Compendium of Current Information Related to Frequently Used Substances. ICRP Publication 128. *Annals of the ICRP*; 2015;44(2S).
6. International Commission on Radiological Protection. Nuclear Decay Data for Dosimetric Calculations. ICRP Publication 107. *Annals of the ICRP*; 2008;38 (3).
7. Dowd MT, Chen CT, Wendel MJ, et al. Radiation dose to the bladder wall from 2-[18F] fluoro-2-deoxy-D-glucose in adult humans. *Journal of Nuclear Medicine*. 1991;32(4): 707-712.
8. Chen CT, Harper PV, Lathrop KA. A simple dynamic model for calculating radiation absorbed dose to the bladder wall. 4th International Radiopharmaceutical Dosimetry Symposium; 1985: 587-612.
9. Kurth J, Krause BJ, Schwarzenbock SM, Stegger L, Schäfers M, Rahbar K. External radiation exposure, excretion, and effective half-life in ¹⁷⁷Lu-PSMA-targeted therapies. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging research*. 2018;8(1): 1-11. DOI: 10.1186/s13550-018-0386-4.
10. Petryakova AV, Chipiga LA, Zvonova IA, Vodovatov AV, Gorsky GA, Stanzhevsky AA. Radiation safety problems during the patient traveling by public transport after radiopharmaceutical therapy with ¹³¹I. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2024;17(2): 97-108. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2023-17-2-97-108.

Received: June 18, 2024

For correspondence: Larisa A. Chipiga – Candidate of Engineering Sciences, research fellow, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being; research fellow, A.M. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies of the Ministry of Health of the Russian Federation; docent, Almazov National Medical Research Centre of the Ministry of Health of the Russian Federation (Mira Str., 8, Saint Petersburg, 197101, Russia; E-mail: larisa.chipiga@gmail.com)

ORCID: 0000-0001-9153-3061 SPIN 3920-7798

Sergey A. Ryzhov – vice president, Association of Medical Physicists in Russia; research fellow, Research and Practice Center of Diagnostics and Telemedicine Technologies; head of the radiation safety and medical physics department, Dmitry Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, Russia

ORCID: 0000-0002-0640-7368

Aleksandr V. Vodovatov – Candidate of Biological Sciences, Head of Laboratory, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being; docent, Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia

ORCID: 0000-0002-5191-7535

Irina A. Zvonova – Doctor of Technical Sciences, Chief Researcher of Protection Laboratory, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint Petersburg, Russia

ORCID: 0000-0003-4340-8666

Anastasia V. Petryakova – acting junior researcher, Saint Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; radiation safety engineer, Saint Petersburg City Hospital No. 40, Saint Petersburg, Russia

ORCID: 0000-0003-2663-9091

Andrey A. Stanzhevsky – M.D., Deputy Director for Research, A.M. Granov Russian Scientific Center of Radiology and Surgical Technologies of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia

ORCID: 0000-0002-1630-0564

Kirill K. Kiselev – employee of the radiation safety and medical physics department, Dmitry Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology of the Ministry of Health of the Russian Federation; student of the Institute for physics and engineering in biomedicine of National research nuclear university MEPhI, Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Moscow, Russia

ORCID: 0009-0000-1293-7608

Irina V. Glotova – employee of the radiation safety and medical physics department, Dmitry Rogachev National Medical Research Center of Pediatric Hematology, Oncology and Immunology of the Ministry of Health of the Russian Federation; student of the Institute for physics and engineering in biomedicine of National research nuclear university MEPhI, Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Moscow, Russia

ORCID: 0009-0002-4756-7971

For citation: Chipiga L.A., Ryzhov S.A., Vodovatov A.V., Zvonova I.A., Petryakova A.V., Stanzhevsky A.A., Kiselev K.D., Glotova I.V. Problems of management of patient biological waste in radionuclide diagnostics. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2024. Vol. 17, No. 3. P. 29–38. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2024-17-3-29-38.