

Оценка содержания ^{223}Ra в сточных водах канализационной системы медицинской организации во время проведения радионуклидной терапии с ^{223}Ra -дихлоридом (Ксофиго®)

Л.А. Чипига¹⁻³, А.В. Петрякова^{1,4}, А.В. Водоватов^{1,5}, К.С. Сапрыкин¹, Д.А. Важенина², А.А. Станжевский², Д.Н. Майстренко²

¹ФБУН «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены им. проф. П.В. Рамзаева» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека; Россия, 197101 Санкт-Петербург, ул. Мира, 8;

²ФГБУ «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий им. акад. А.М. Гранова» Минздрава России; Россия, 197758 Санкт-Петербург, п. Песочный, ул. Ленинградская, 70;

³ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова» Минздрава России; Россия, 197341 Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, 2;

⁴СПБ БУЗ «Городская больница № 40 Курортного района»; Россия, 197706 Санкт-Петербург, Сестрорецк, ул. Борисова, 9;

⁵ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет» Минздрава России; Россия, 194100 Санкт-Петербург, ул. Литовская, 2

Контакты: Лариса Александровна Чипига larisa.chipiga@gmail.com

Введение. Радионуклидная терапия с препаратом ^{223}Ra -дихлорид (Ксофиго®) является эффективным методом, направленным на лечение поражений костной ткани при метастатическом кастрационно-резистентном раке предстательной железы. Рост количества процедур радионуклидной терапии с ^{223}Ra требует пересмотра и актуализации существующих требований к обеспечению радиационной безопасности. Актуальной задачей с точки зрения радиационной безопасности при проведении радионуклидной терапии является оценка выведения радиофармацевтического лекарственного препарата из организма пациента и содержания радионуклидов в отходах пациента.

Цель исследования – оценить активность ^{223}Ra , выводимую из организма пациентов во время нахождения их в медицинской организации (первые часы после введения радиофармацевтического лекарственного препарата), и удельную активность в сточных водах медицинской организации при радионуклидной терапии с ^{223}Ra -дихлоридом (Ксофиго®).

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 11 пациентов с метастатическим кастрационно-резистентным раком предстательной железы, получавшие радионуклидную терапию с ^{223}Ra -дихлоридом. У всех пациентов на протяжении 4 ч отбирали каждую микцию, после чего подготавливали пробы для измерения активности ^{223}Ra в моче пациента. Остатки пробы смывали в отдельный унитаз для пациентов в отделении радионуклидной диагностики и терапии. Отбор проб сточных вод осуществляли в 3 точках (люках). Измерение активности ^{223}Ra в пробах мочи пациентов и сточных вод проводили с использованием полупроводникового гамма-спектрометра.

Результаты. Все пробы мочи по значению удельной активности ^{223}Ra превышали предельное значение отношения к жидким радиоактивным отходам. Удельная активность в сточных водах у корпуса радионуклидной диагностики и терапии и в точке объединения потоков сточных вод корпуса радионуклидной диагностики и терапии с соседним корпусом превышала предельное значение. Удельная активность ^{223}Ra снижалась при увеличении потока воды в канализации, и в люке на выходе из медицинской организации удельная активность в пробах была ниже предельного значения.

Заключение. Результаты позволяют судить о значительном разведении биологических отходов пациентов и достаточном снижении удельной активности ^{223}Ra в системе водоотведения крупных медицинских организаций, что говорит о допущении сброса отходов пациентов напрямую в хозяйственно-фекальную канализацию и возможности применения дифференцированного подхода к обращению с отходами пациентов после терапии с ^{223}Ra -дихлоридом.

Ключевые слова: ядерная медицина, радионуклидная терапия, ^{223}Ra -дихлорид, радиационная безопасность, жидкие радиоактивные отходы

Для цитирования: Чипига Л.А., Петрякова А.В., Водоватов А.В. и др. Оценка содержания ^{223}Ra в сточных водах канализационной системы медицинской организации во время проведения радионуклидной терапии с ^{223}Ra -дихлоридом (Xсофиго®). Онкоурология 2024;20(3):94–103.

DOI: <https://doi.org/10.17650/1726-9776-2024-20-3-94-103>

Estimation of ^{223}Ra in a sewage system of hospital during radiopharmaceutical therapy with ^{223}Ra dichloride (Xofigo®)

L.A. Chipiga¹⁻³, A.V. Petryakova^{1,4}, A.V. Vodovатов^{1,5}, K.S. Saprykin¹, D.A. Vazhenina², A.A. Stanzhevskiy², D.N. Maystrenko²

¹Saint Petersburg Scientific Research Institute of Radiation Hygiene named after Prof. P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing; 8 Mira St., Saint Petersburg 197101, Russia;

²Russian Scientific Center for Radiology and Surgical Technologies named after Acad. A.M. Granov, Ministry of Health of Russia; 70 Leningradskaya St., Pesochnyi, Saint Petersburg 197758, Russia;

³V.A. Almazov National Medical Research Center, Ministry of Health of Russia; 2 Akkuratova St., Saint Petersburg 197341, Russia;

⁴City Hospital No. 40 of the Kurort District; 9 Borisova St., Sestroretsk, Saint Petersburg 197706, Russia;

⁵Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Ministry of Health of Russia; 2 Litovskaya St., Saint Petersburg 194100, Russia

Contacts: Larisa Aleksandrovna Chipiga larisa.chipiga@gmail.com

Background. Radiopharmaceutical therapy with ^{223}Ra dichloride (Xofigo®) is an effective method of treatment of bone metastases in patients with metastatic castration-resistant prostate cancer. Increased number of radiopharmaceutical therapy procedures with ^{223}Ra requires revision and update of the existing requirements to ensure radiation safety. Current problems in terms of radiation safety during radiopharmaceutical therapy are assessment of radiopharmaceutical excretion from a patient body and radionuclide activity in patient biological waste.

Aim. To estimate the activity of ^{223}Ra excreted from a patient body at hospital (during the first hours after radiopharmaceutical administration) and activity concentration in the sewage water of the hospital during radiopharmaceutical therapy with ^{223}Ra dichloride (Xofigo®).

Materials and methods. Eleven male patients with metastatic castration-resistant prostate cancer undergoing radiopharmaceutical therapy with ^{223}Ra dichloride were included in the study. Each micturition from patients in four hours had been sampled, and the samples were prepared to measure activity of ^{223}Ra in the urine. The urine sample residue was flushed down a dedicated patient toilet in the Department of Radionuclide Diagnosis and Therapy. Sewage water sampling was performed at three points (at three manholes) of the hospital. The ^{223}Ra activity in urine and sewage water samples was measured using a gamma semiconductor spectrometer.

Results. All urine samples exceeded the threshold value of ^{223}Ra activity concentration and were considered liquid radioactive waste. The activity concentration of ^{223}Ra in the sewage water close to the Department of Radionuclide Diagnosis and Therapy building, and at the point where the sewage water from the building merged with the water from and the nearest building exceeded the threshold value. The activity concentration of ^{223}Ra decreased with increasing sewage water flow in the sewage system, and in the output from the entire hospital the activity concentration in the sewage water samples was below the threshold value.

Conclusion. The results of this work show dilution of patient biological waste and reduction of ^{223}Ra activity concentration in the sewage system of a large hospital, which suggest that patient biological waste after radiopharmaceutical therapy with ^{223}Ra dichloride could be disposed directly into the sewage system and a differentiated approach to patient waste management after radiopharmaceutical therapy with ^{223}Ra dichloride could be applied.

Keywords: nuclear medicine, radiopharmaceutical therapy, ^{223}Ra dichloride, radiation safety, liquid radioactive waste

For citation: Chipiga L.A., Petryakova A.V., Vodovатов A.V. et al. Estimation of ^{223}Ra in a sewage system of hospital during radiopharmaceutical therapy with ^{223}Ra dichloride (Xofigo®). *Onkourologiya = Cancer Urology* 2024;20(3):94–103. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.17650/1726-9776-2024-20-3-94-103>

Введение

По статистике рак предстательной железы (РПЖ) является наиболее часто диагностируемым злокачественным новообразованием мочеполовой системы у мужчин [1]. По темпам прироста РПЖ лидирует среди всех онкологических заболеваний. За 10 лет (2011–2021 гг.)

численность пациентов с РПЖ на 100 тыс. населения увеличилась более чем в 2 раза (с 84,6 до 187,3), при этом выявляемость данного типа рака на запущенной стадии (IV) составляет около 20 % [1]. В структуре онкологической заболеваемости в России РПЖ находится на 2-м месте после рака легкого, в структуре смертно-

сти — на 3-м месте [1]. У большинства пациентов с диссеминированным опухолевым процессом в предстательной железе после гормональной терапии заболевание постепенно прогрессирует в метастатическую кастрационно-резистентную стадию РПЖ (мКРРПЖ) [2]. Наиболее распространенной локализацией метастазов при мКРРПЖ является костная система, что может сопровождаться болями, переломами, компрессией спинного мозга и нарушениями функции костного мозга [3, 4]. Эффективным методом, направленным на лечение поражений костной ткани, является радионуклидная терапия (РНТ) препаратами радия-223 (^{223}Ra) [5–7].

Развитие РНТ в целом и с ^{223}Ra в частности требует специальных условий, необходимых для обеспечения радиационной безопасности населения. В настоящее время в России установлены достаточно жесткие требования к обеспечению радиационной безопасности при проведении РНТ. Обязательным требованием является наличие спецканализации [8, 9], что позволяет предотвратить попадание отходов с радионуклидами от пациентов в окружающую среду. Также постановлением Правительства Российской Федерации от 19 октября 2012 г. № 1069 [10] установлены предельные значения отнесения отходов к радиоактивным по удельной активности радионуклида, в том числе к жидким радиоактивным отходам (ЖРО). В соответствии с данным Постановлением биологические жидкости пациента, содержащие радионуклиды с достаточно коротким периодом радиоактивного распада, будут относиться к радиоактивным отходам.

Для возможного смягчения требований к обеспечению радиационной безопасности при проведении РНТ актуальной задачей является оценка выведения радиофармацевтического лекарственного препарата (РФЛП) из организма пациента и содержания радионуклидов в отходах пациента. В предыдущих работах мы провели оценку активности радионуклидов, выводимых из организма пациента после РНТ во время нахождения его в медицинской организации (МО), основываясь на моделях биовыведения РФЛП из организма пациентов [11, 12]. На основании проведенных оценок был предложен дифференцированный подход обращения с такими отходами, предполагающий возможность работы без спецканализации в случае, если объема сточных вод МО достаточно для снижения активности радионуклидов в отходах естественным путем до уровней предельных значений и на выходе в городскую канализацию сточные воды МО не классифицировались как ЖРО. Однако для введения такого подхода в широкую практику требуются экспериментальная верификация использованной модели, а также подтверждение низких значений удельной активности в сточных водах МО после разведения.

Цель исследования — оценить активность ^{223}Ra , выводимую из организма пациентов во время нахождения его в МО (первые часы после введения РФЛП),

и удельную активность в сточных водах МО при РНТ с ^{223}Ra -дихлоридом (Ксофиго®).

Материалы и методы

Отбор проб

Отбор проб проводили на базе Российского научного центра радиологии и хирургических технологий им. акад. А.М. Гранова (Центр), где проводят РНТ с ^{223}Ra -дихлоридом (Ксофиго®). Отбор проб осуществляли в период с октября 2023 г. по февраль 2024 г. Критериями отбора были нормальная функция мочевыделительной системы и способность самообслуживания. Всего в исследовании приняли участие 11 пациентов с мКРРПЖ, получавшие РНТ с ^{223}Ra -дихлоридом. Характеристика пациентов и вводимые им активности ^{223}Ra -дихлорида в день отбора проб представлены в табл. 1.

Пациенты, получающие РНТ с ^{223}Ra -дихлоридом, находились в отделении радионуклидной диагностики и терапии в течение 3 ч после введения им РФЛП. За это время пациенты ходили в туалет в специальные емкости. Ни у одного пациента за время нахождения в отделении не было позывов к дефекации, поэтому в работе проводился анализ только мочи пациентов. На протяжении времени нахождения пациента в отделении каждую микцию собирали отдельно, измеряли массу пробы, подготавливали аликвоту для измерения активности ^{223}Ra (не более 10 мл). Остатки пробы смывали в отдельный унитаз для пациентов в отделении радионуклидной диагностики и терапии.

Таблица 1. Характеристики пациентов, получавших радионуклидную терапию с ^{223}Ra -дихлоридом, и вводимые им активности

Table 1. Parameters of the patients who underwent radiopharmaceutical therapy with ^{223}Ra dichloride and administered activities

Номер пациента Patient number	Масса тела пациента, кг Patient weight, kg	Введенная активность ^{223}Ra , МБк Administered activity of ^{223}Ra , MBq
1	91	5
2	84	4,6
3	103	5,7
4	60	3,3
5	103	5,7
6	115	6,3
7	104	5,7
8	83	4,6
9	89	4,9
10	85	4,7
11	65	3,6

Отбор проб сточных вод осуществляли в 3 точках (люках), представленных на рис. 1, через определенные промежутки времени от слива мочи в унитаз с учетом расстояния от унитаза до люка и скорости потока воды в системе канализации:

- 1-й люк (точка 1) расположен на расстоянии 4 м от унитаза, отбор проб осуществляли сразу после слива воды в унитазе (единственный поток воды);
- 2-й люк (точка 2) расположен на расстоянии 64 м от унитаза, отбор проб осуществляли через 3 мин после слива воды в унитазе;
- 3-й люк (точка 3) расположен на расстоянии 475 м от унитаза, отбор проб осуществляли через 9 мин после слива воды в унитазе.



Рис. 1. Схема системы водоотведения Российского научного центра радиологии и хирургических технологий им. акад. А.М. Гранова (Центр) (красные пунктирные линии) и точки отбора проб сточных вод (желтые точки). Точка 1 – непосредственно у корпуса радионуклидной диагностики и терапии, куда поступают воды только из одного туалета пациентов отделения; точка 2 – объединение потоков сточных вод из всего корпуса радионуклидной диагностики и терапии и соседнего корпуса (отбор осуществляли в точке до слияния 2 потоков); точка 3 – на выходе из всего Центра с общим потоком сточных вод от всех корпусов Центра

Fig. 1. Scheme of the sewage system of the Russian Scientific Center for Radiology and Surgical Technologies named after Acad. A.M. Granov (Center) (red dotted lines) and sewage water sampling points (yellow points). Point 1 – at the Department of Radionuclide Diagnosis and Therapy building which receives water only from the toilet of the department; point 2 – point of merging of sewage water flows from the entire Department of Radionuclide Diagnosis and Therapy building and the nearest building (sampling was performed at the point before the merging of the two flows); point 3 – at the output of the entire Center with the common sewage water flow from all buildings of the Center

Измерение активности ^{223}Ra в пробах и определение удельной активности в сточных водах

Для измерения активности ^{223}Ra в пробах мочи пациентов после РНТ и сточных водах Центра использовали полупроводниковый гамма-спектрометр ORTEC (модель TSP-DX-100T-PAC-PKG-1) с программным обеспечением ECOGAMMA, размещенный в низкофоновой СИЧ-камере (спектрометрический комплекс излучения человека). Перед измерениями активности определяли массу аликвоты. Пробы размещали на расстоянии 6–10 см от детектора в целях снижения погрешности, учета мертвого времени и оптимизации загрузки спектрометра. При этом уменьшаются погрешности, связанные с неопределенностями геометрических размеров, суммированием каскадных квантов. Идентификацию ^{223}Ra проводили по энергетическим пикам, представленным в табл. 2. Измеренная активность в пробах была приведена к дате и времени введения ^{223}Ra -дихлорида пациенту.

Удельную активность проб мочи и сточных вод определяли путем деления активности ^{223}Ra в пробе на объем аликвоты. Активность ^{223}Ra в каждой микции пациента определяли путем умножения удельной активности ^{223}Ra в пробе мочи на массу пробы.

Обработка данных

Обработку данных проводили с использованием программного обеспечения Microsoft Excel; графический анализ данных – с применением Plotly Chart Studio.

Таблица 2. Энергии фотонов, использованные при спектрометрии ^{223}Ra , и их вероятности

Table 2. Photon energies used in ^{223}Ra spectrometry and probabilities

Энергия, кэВ Energy, keV	Вероятность, % Probability, %
122	1,2
144	3,3
154	5,7
270	13,9
324	4,0
338	2,8
445	1,2

Результаты

Данные радиометрии проб мочи пациентов после введения им ^{223}Ra -дихлорида, собранные в течение 3 ч нахождения пациента в Центре, представлены в табл. 3.

Распределение удельной активности ^{223}Ra в пробах мочи за первые 3 микции в сравнении с предельным значением удельной активности отнесения отходов к ЖРО для ^{223}Ra (0,14 Бк/г) представлено на рис. 2. Удельная активность в пробах мочи была выше предельного значения у всех пациентов.

Распределение удельной активности ^{223}Ra в пробах сточных вод после сброса мочи одного пациента в сравнении с предельным значением удельной активности отнесения отходов к ЖРО представлено на рис. 3. Удельная активность в сточных водах непосредственно у корпуса радионуклидной диагностики и терапии,

Таблица 3. Активность ^{223}Ra в пробах мочи пациентов

Table 3. ^{223}Ra activity in urine samples of the patients

Номер пациента Patient number	Время от введения препарата, мин Time after radiopharmaceutical administration, min	Активность, кБк Activity, kBq	Масса, г Mass, g
Первая микция после введения РФЛП First micturition after radiopharmaceutical administration			
1	20	10,0	54
2	15	0,19	94
3	10	Нет данных No data	474
4	60	7,35	124
5	30	1,10	206
6	78	0,55	64
7	10	4,69	83
8	52	3,38	20
9	60	4,24	52
10	–	–	–
11	–	–	–
Среднее \pm СО Mean \pm SD	37 \pm 26	3 \pm 4	130 \pm 140
Вторая микция после введения РФЛП Second micturition after radiopharmaceutical administration			
1	70	12,8	77
2	85	1,4	77
3	105	12,9	144
4	115	2,61	172
5	70	5,55	70
6	155	0,51	88
7	45	9,6	61
8	107	2,9	140
9	95	2,4	85
10	–	–	–
11	–	–	–
Среднее \pm СО Mean \pm SD	94 \pm 32	6 \pm 5	100 \pm 40

Номер пациента Patient number	Время от введения препарата, мин Time after radiopharmaceutical administration, min	Активность, кБк Activity, kBq	Масса, г Mass, g
Третья микция после введения РФЛП Third micturition after radiopharmaceutical administration			
1	–	–	–
2	135	1,28	101
3	175	6,36	138
4	157	1,21	196
5	110	4,31	356
6	220	0,34	89
7	76	1,95	111
8	157	1,16	172
9	120	1,86	108
10	–	–	–
11	–	–	–
Среднее ± СО Mean ± SD	143 ± 43	2 ± 2	160 ± 90

Примечание. РФЛП – радиофармацевтический лекарственный препарат; СО – стандартное отклонение.
 Note. SD – standard deviation.

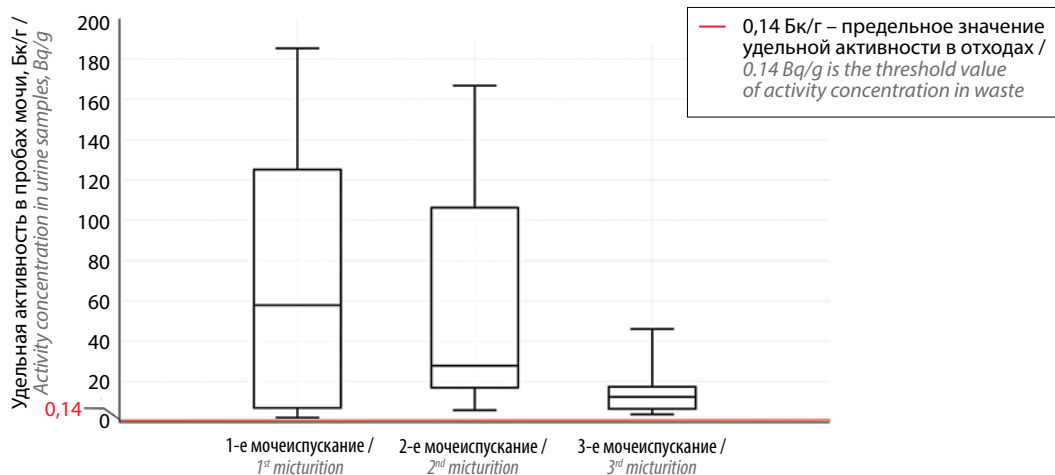


Рис. 2. Удельная активность ²²³Ra в пробах мочи. Прямоугольник означает 25–75 %; отрезок – минимальное и максимальное значения
 Fig. 2. The activity concentration of ²²³Ra in the urine samples. Rectangle denotes 25–75 %; whiskers – min–max

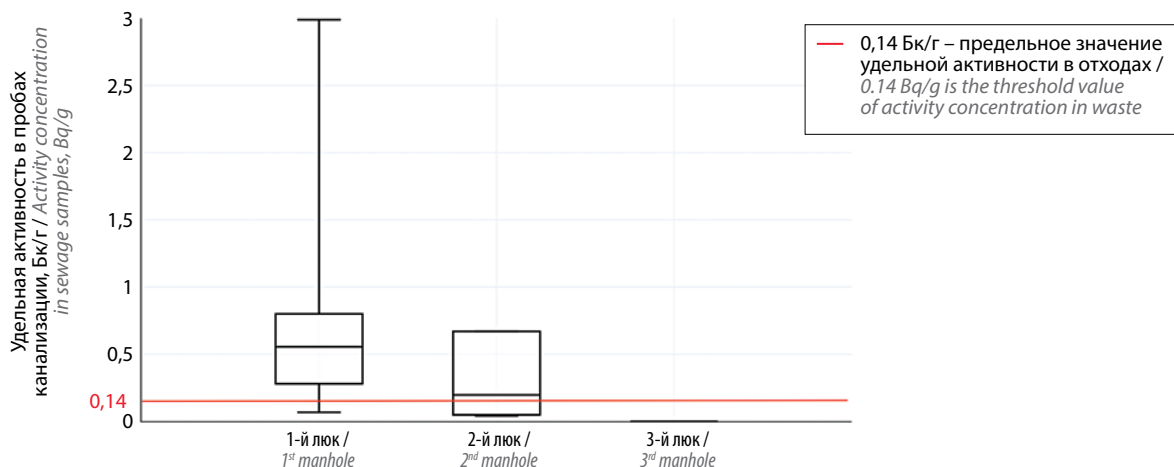


Рис. 3. Удельная активность ^{223}Ra в пробах сточных вод. Прямоугольник означает 25–75 %; отрезок – минимальное и максимальное значения
Fig. 3. The activity concentration of ^{223}Ra in the sewage water samples. Rectangle denotes 25–75 %; whiskers – min–max

куда поступают воды только из одного туалета пациентов отделения радионуклидной диагностики и терапии (точка 1), и на выходе из корпуса радионуклидной диагностики и терапии в точке объединения потоков сточных вод с соседним корпусом (точка 2) превышала предельное значение. Однако удельная активность ^{223}Ra снижалась при увеличении потока воды в канализации за счет сточных вод из остальных отделений, и в люке на выходе из Центра (точка 3) удельная активность в пробах была ниже порога детектирования и, соответственно, ниже предельного значения.

Рассчитанное среднечасовое значение удельной активности ^{223}Ra , образующейся за час в системе водоотведения Центра при потоке 4 пациента с ^{223}Ra -дихлоридом в час, равно 0,01 Бк/г, что ниже установленного предельного значения удельной активности в отходах.

Обсуждение

Полученные результаты продемонстрировали, что все пробы мочи по значению удельной активности ^{223}Ra относятся к ЖРО (см. рис. 2), что необходимо учитывать при планировании мероприятий по обеспечению радиационной безопасности при проведении РНТ с ^{223}Ra .

По результатам прямой радиометрии проб мочи пациентов, полученных в первые часы после введения ^{223}Ra -дихлорида, активность ^{223}Ra в отходах пациентов (моча) достигает 0,7 % от введенной активности. Полученные в работе результаты согласуются с опубликованными данными о выведении ^{223}Ra -дихлорида с мочой. Сравнение полученных в работе результатов

о выведении активности ^{223}Ra с мочой пациентов с опубликованными данными в работах [13, 14] и данными модели выведения, полученными ранее в работе [11], представлено на рис. 4.

Полученные данные свидетельствуют о том, что в первые часы после введения РФЛП ^{223}Ra выводится с мочой пациента. Ранее проведенные оценки выведения ^{223}Ra из организма пациентов после РНТ с ^{223}Ra -дихлоридом, представленные в работе [11], были сделаны с помощью модели биовыведения ^{223}Ra -дихлорида из организма пациента, основанной на выведении ^{223}Ra в более поздние сроки (несколько суток) с учетом выведения с калом. Результаты настоящей работы показали, что использованная ранее модель существенно завышает значения выводимой активности в первые часы после введения пациенту РФЛП и является консервативной для стандартного потока пациентов. Однако с учетом возможности госпитализации пациентов более чем на несколько часов в МО, а также возможности ускоренного метаболизма у некоторых пациентов, связанного с индивидуальными особенностями, эта модель может быть использована при планировании мероприятий по обеспечению радиационной безопасности в МО при проведении РНТ с ^{223}Ra -дихлоридом.

Результаты оценки удельной активности ^{223}Ra в 3 точках отбора проб системы канализации показывают, что превышение предельного значения отнесения отходов к ЖРО было установлено только для 1-й и 2-й точек – канализационных люков со сточными водами из отделения радионуклидной диагностики и терапии. Значения удельной активности в 3-й точке отбора проб (люке на выходе из Центра) находились ниже порога

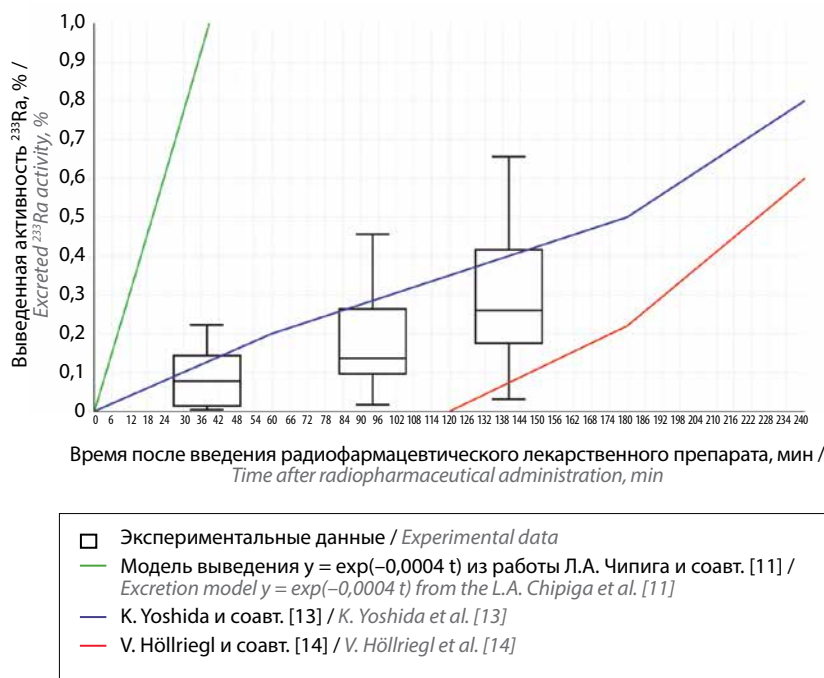


Рис. 4. Суммарное процентное отношение выведенной активности с мочой к введенной активности ^{233}Ra пациенту. Прямоугольник означает 25–75 %; отрезок – минимальное и максимальное значения
Fig. 4. Cumulative percentage of excreted activity of ^{233}Ra . Rectangle denotes 25–75 %; whiskers – min–max

детектирования. Также полученная среднечасовая удельная активность ^{233}Ra , образующаяся в сточных водах Центра в условиях потока из 4 пациентов в час, оказалась на порядок ниже установленного предельного значения удельной активности ^{233}Ra . Таким образом, сточные воды, содержащие отходы пациентов после РНТ с ^{233}Ra -дихлоридом, на выходе из Центра не классифицируются как ЖРО, не требуют сбора и выдержки на распад и могут сливаться в общегородскую канализационную систему.

Результаты работы позволяют судить о значительном разведении биологических отходов пациентов и достаточном снижении активности ^{233}Ra в системе водоотведения крупных МО. Однако это не говорит о том, что во всех случаях возможно проведение РНТ с ^{233}Ra без спецканализации. Например, для небольших МО, представляющих собой обособленное отделение радионуклидной диагностики и/или терапии, или при работе с несколькими радионуклидами объемов воды в системе водоотведения МО может быть недостаточно для естественного снижения удельной активности до уровней ниже предельных значений, и сточные воды в системе водоотведения при прямом сбросе отходов от пациентов будут классифицироваться как ЖРО. В таком случае необходимо предусматривать систему

для сбора и выдержки на распад ЖРО. В случае невозможности оборудования в МО спецканализации могут быть установлены небольшие баки-сборники ЖРО для выдержки отходов на распад, которые не потребуют значительных затрат на размещение. Необходимое количество баков-сборников ЖРО определяется исходя из планируемого потока пациентов и условий проведения РНТ (амбулаторно/стационарно). Подробно метод представлен в работе [11]. Например, исходя из данных о выведении ^{233}Ra из организма пациента для обеспечения радиационной безопасности при потоке 15 амбулаторных пациентов в месяц будет достаточно 2 баков объемом $0,4 \text{ м}^3$. Однако в случае проведения терапии в стационарных условиях потребуется больший объем баков для сбора и выдержки отходов на распад. В любом случае обращение с отходами пациентов должно быть обосновано в проектной документации подразделения ядерной медицины (следует учитывать все планируемые к применению радионуклиды, число пациентов и время их пребывания в МО), а также соответствовать требованиям, установленным в действующих нормативно-методических документах. Более детальному описанию планирования системы обращения с отходами пациентов в отделениях ядерной медицины будет посвящена следующая работа авторов.

Заключение

В работе проведен анализ проб мочи пациентов и сточных вод системы водоотведения МО после проведения РНТ с ^{223}Ra -дихлоридом. По результатам сравнения удельной активности в пробах мочи с предельным значением отнесения к ЖРО было установлено, что удельная активность ^{223}Ra превышает данное значение у всех пациентов. Удельная активность ^{223}Ra в канализационных люках со сточными водами только из отделения радионуклидной диагностики и терапии превышала предельное значение отнесения к ЖРО. Значения удельной активности в канализационном люке после смешивания отходов из отделения радионуклидной диагностики и терапии со сточными водами из других отделений были ниже порога детектирования и не классифицировались как ЖРО.

В работе была проведена верификация модели био-выведения ^{223}Ra -дихлорида (Ксофиго®) из организма пациентов для целей планирования мероприятий по обеспечению радиационной безопасности в МО при проведении РНТ с ^{223}Ra -дихлоридом. Результаты работы позволяют судить о значительном разведении биологических отходов пациентов и достаточном снижении активности ^{223}Ra в системе водоотведения крупных МО, что подтверждает возможность дифференцированного подхода к обращению с отходами пациентов после РНТ с ^{223}Ra -дихлоридом в МО и допущении сброса отходов пациентов напрямую в хозяйственно-фекальную канализацию при обосновании радиационной безопасности.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Состояние онкологической помощи населению России в 2021 году. Под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, А.О. Шахзадовой. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена – филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2023. 239 с. State of oncological care in Russia in 2021. Eds.: A.D. Kaprin, V.V. Starinskiy, A.O. Shakhzadova. Moscow: MNI OI im. P.A. Gertse-na – filial FGBU “NMITS radiologii” Minzdrava Rossii, 2023. 239 p. (In Russ.).
2. Водоватов А.В., Чипига Л.А., Петрова А.Е., Станжевский А.А. Анализ моделей биораспределения ^{223}Ra -дихлорида для оценки доз внутреннего облучения. Формулы фармации 2020;2(1):54–69. DOI: 10.17816/phf20403 Vodovатов A.V., Chipiga L.A., Petrova A.E., Stanzhevskiy A.A. Evaluation of the ^{223}Ra -dichloride biodistribution models for the assessment of the doses from internal exposure. Formuly farmatsii = Pharmacy Formulas 2020;2(1):54–69. (In Russ.). DOI: 10.17816/phf20403
3. Костин А.А., Мурадян А.Г., Толкачев А.О., Попов С.В. Радий-223. Место в лечении метастатического кастрационно-рефрактерного рака предстательной железы. Исследования и практика в медицине 2017;4(4):79–88. DOI: 10.17709/2409-2231-2017-4-4-9 Kostin A.A., Muradyan A.G., Tolkahev A.O., Popov S.V. Radium-223. Place in the treatment of metastatic castration-refractory prostate cancer. Issledovaniya i praktika v meditsine = Research'n Practical Medicine Journal 2017;4(4):79–88. (In Russ.). DOI: 10.17709/2409-2231-2017-4-4-9
4. Carrasquillo J.A., O'Donoghue J.A., Pandit-Taskar N. et al. Phase I pharmacokinetic and biodistribution study with escalating doses of ^{223}Ra -dichloride in men with castration-resistant metastatic prostate cancer. Eur J Nucl Med Mol Imaging 2013;40(9):1384–93. DOI: 10.1007/s00259-013-2427-6
5. Nilsson S. Alpha-emitter radium-223 in the management of solid tumors: current status and future directions. Am Soc Clin Oncol Educ Book 2014:e132–9. DOI: 10.14694/EdBook_AM.2014.34.e132
6. Матвеев В.Б., Маркова А.С. Эффективность и безопасность радия-223 в исследованиях реальной клинической практики. Онкоурология 2020;16(4):129–35. DOI: 10.17650/1726-9776-2020-16-4-129-135 Matveev V.B., Markova A.S. Efficacy and safety of radium-223 in routine clinical practice. Onkourologiya = Cancer Urology 2020;16(4):129–35. (In Russ.). DOI: 10.17650/1726-9776-2020-16-4-129-135
7. Клинические рекомендации. Рак предстательной железы. Минздрав России, 2020. Доступно по: https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/12_3 (дата обращения 17.10.2024). Clinical guidelines. Prostate cancer. Ministry of Health of Russia, 2020. Available at: https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/12_3 (accessed date 17.10.2024). (In Russ.).
8. СП 2.6.1.2612-10. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010) СП 2.6.1.2612-10. Basic sanitary rules for radiation safety. Sanitary rules and regulations 2.6.1.2612-10 (In Russ.).
9. СанПиН 2.6.1.2368–08. Гигиенические требования по обеспечению радиационной безопасности при проведении лучевой терапии с помощью открытых радионуклидных источников. М.: Роспотребнадзор, 2008. 99 с. Sanitary Regulations and Standards 2.6.1.2368–08. Hygienic requirements for radiation safety during radiation therapy using open radionuclide sources. Moscow: Rospotrebnadzor, 2008. 99 p. (In Russ.).
10. Постановление Правительства Российской Федерации от 19 октября 2012 г. № 1069 «О критериях отнесения твердых, жидких и газообразных отходов к радиоактивным отходам, отнесения радиоактивных отходов к особым радиоактивным отходам и к удаляемым радиоактивным отходам и критериях классификации удаляемых радиоактивных отходов». Resolution of the Government of the Russian Federation No. 1069 of October 19, 2012 “On the criteria for classifying solid, liquid and gaseous waste as radioactive waste, classifying radioactive waste as special radioactive waste and as radioactive waste to be disposed of criteria for classifying radioactive waste to be disposed of” (In Russ.).
11. Чипига Л.А., Водоватов А.В., Звонова И.А. и др. Обращение с биологическими отходами пациентов после проведения радионуклидной терапии. Радиационная гигиена 2022;15(2):19–30. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-2-19-30

- Chipiga L.A., Vodovатов A.V., Zvonova I.A. et al. Management of biological waste of patients after radionuclide therapy. Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene 2022;15(2):19–30. (In Russ.). DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-2-19-30
12. 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;15(4):34–44. DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-4-34-44
Chipiga L.A., Vodovатов A.V., Petryakova A.V. 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 Russ.). DOI: 10.21514/1998-426X-2022-15-4-34-44
13. Yoshida K., Kaneta T., Takano S. et al. Pharmacokinetics of single dose radium-223 dichloride (BAY 88-8223) in Japanese patients with castration-resistant prostate cancer and bone metastases. Ann Nucl Med 2016;30:453–60. DOI: 10.1007/s12149-016-1093-8
14. Höllriegl V., Petoussi-Henss N., Hrkamp K. et al. Radiopharmaceutical modelling and radiation dose assessment of ²²³Ra used for treatment of metastatic castration-resistant prostate cancer. EJNMMI Phys 2021;8(1):44. DOI: 10.1186/s40658-021-00388-1

Благодарность. Авторы выражают благодарность коллективу отделения радионуклидной диагностики и терапии ФГБУ «Российский научный центр радиологии и хирургических технологий им. акад. А.М. Гранова» Минздрава России за помощь при проведении отбора проб.
Acknowledgment. The authors express thanks to the staff of the Department of Radionuclide Diagnostics and Therapy, Russian Scientific Center for Radiology and Surgical Technologies named after Acad. A.M. Granov, Ministry of Health of Russia for their assistance in sampling.

Вклад авторов

Л.А. Чипига: научное руководство исследованием, разработка дизайна исследования, формулировка научных гипотез, обработка и анализ полученных результатов, написание текста статьи;
А.В. Петрякова: поиск и анализ литературы, проведение расчетов, обработка и анализ полученных результатов, написание текста статьи, перевод;
А.В. Водоватов: анализ и интерпретация результатов, обсуждение результатов исследования, редактирование текста статьи;
К.С. Сапрыкин: проведение измерений, обсуждение результатов исследования;
Д.А. Вазенина, А.А. Станжевский: поиск и анализ литературы, обсуждение результатов исследования, редактирование текста статьи;
Д.Н. Майстренко: обсуждение результатов исследования, редактирование текста статьи.

Authors' contributions

L.A. Chipiga: scientific supervision, study design, formulation of scientific hypotheses, processing and analysis of the results, article writing;
A.V. Petryakova: literature search and analysis, calculations, processing and analysis of the results, article writing, translation;
A.V. Vodovатов: result analysis and interpretation, discussion of the results, manuscript editing;
K.S. Saprykin: measurements, discussion of the results;
D.A. Vazhenina, A.A. Stanzhevskiy: literature search and analysis, discussion of the results, article editing;
D.N. Maystrenko: discussion of the results, article editing.

ORCID авторов / ORCID of authors

Л.А. Чипига / L.A. Chipiga: <https://orcid.org/0000-0001-9153-3061>
А.В. Петрякова / A.V. Petryakova: <https://orcid.org/0000-0003-2663-9091>
А.В. Водоватов / A.V. Vodovатов: <https://orcid.org/0000-0002-5191-7535>
К.С. Сапрыкин / K.S. Saprykin: <https://orcid.org/0000-0003-2387-7051>
Д.А. Вазенина / D.A. Vazhenina: <https://orcid.org/0000-0002-6236-709X>
А.А. Станжевский / A.A. Stanzhevskiy: <https://orcid.org/0000-0002-1630-0564>
Д.Н. Майстренко / D.N. Maystrenko: <https://orcid.org/0000-0001-8174-7461>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Финансирование. Исследование проведено при поддержке компании АО «Байер».

Funding. The study was performed with the support by the Bayer company.

Статья поступила: 06.10.2024. Принята к публикации: 27.10.2024. Опубликована онлайн: 21.11.2024.

Article submitted: 06.10.2024. Accepted for publication: 27.10.2024. Published online: 21.11.2024.