

Защитные мероприятия для отдельных категорий лиц при контакте с пациентом после радионуклидной терапии

Л.А. Чипига^{1,2,3}, А.В. Лихачева^{1,4}, И.А. Звонова¹, А.В. Водоватов^{1,5}, О.Ю. Тоскин⁶,
А.А. Сапельников⁶, К.С. Величина⁷, А.С. Терентьева⁷, А.А. Станжевский²

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

⁵ Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

⁶ Акционерное общество «Европейский медицинский центр», Москва, Россия

⁷ Общество с ограниченной ответственностью «Научно-технический центр экспертиз безопасности ТУК», Санкт-Петербург, Россия

Пациенты, проходящие радионуклидную терапию с радиофармацевтическими препаратами, могут становиться источником внешнего облучения для окружающих людей. Выписка таких пациентов требует строгого соблюдения требований к радиационной безопасности, чтобы минимизировать воздействие на окружающих лиц, особенно детей и беременных женщин. Целью работы было определение защитных мероприятий по ограничению времени контакта пациента после радионуклидной терапии с окружающими лицами и разработка рекомендаций, позволяющих снизить дозы окружающих лиц. Для анализа были рассмотрены различные сценарии: контакт с детьми и совместный сон с партнерами. Определение необходимых временных ограничений было проведено с использованием литературных данных и расчетов методом Монте-Карло на различном расстоянии от пациента. Результаты показали, что при проведении радионуклидной терапии ²²⁵Ac, ²²³Ra, ⁸⁹Sr и ⁹⁰Y доза облучения окружающих от контакта с пациентом не превысит ограничения в 0,3 мЗв даже при отсутствии ограничительных мер. Однако для пациентов, прошедших терапию с ¹³¹I, ¹⁷⁷Lu и ¹⁵³Sm, требуются ограничительные меры по сокращению времени близкого контакта с детьми и совместного сна с партнерами. Предложенные меры обеспечивают радиационную безопасность людей, контактирующих с пациентом, ограничивая их облучение пределами доз для населения, и помогают пациентам сохранять социальные контакты, что важно для их восстановления.

Ключевые слова: ядерная медицина, радионуклидная терапия, радиофармацевтический лекарственный препарат, радиологические критерии выписки, радиационная безопасность.

Введение

Радионуклидная терапия (РНТ) является одним из наиболее быстро и широко развивающихся методов лечения онкологических заболеваний [1, 2]. При РНТ пациент может становиться источником внешнего облучения для окружающих лиц, что наиболее характерно для радиофармацевтических лекарственных препаратов (РФЛП), меченных радионуклидами, которые испускают гамма-

кванты (например, ¹³¹I, ¹⁷⁷Lu). Выписка пациентов после РНТ с такими РФЛП требует применения особых мер по радиационной защите окружающих пациента лиц [3, 4].

Радиационная безопасность окружающих лиц, контактирующих с пациентом после РНТ, обеспечивается путем выписки пациента из медицинской организации при соблюдении установленных радиологических критериев выписки¹ [5-8]. Выполнение критериев выписки пациентов обеспечивает уровень излучения от пациента (мощность

¹ СанПиН 2.6.1.2523-09. НРБ-99/2009. Нормы радиационной безопасности. [Norms of the Radiation Safety NRB-99/2009 (In Russ.)]; 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: Rosпотребнадзор; 2008. 99 p. (In Russ.)]

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

дозы на расстоянии 1 метр от пациента при выписке из отделения РНТ), при котором эффективная доза у критической группы лиц не превысит годовой предел дозы для населения. Рекомендации МАГАТЭ и МКРЗ предлагают рассматривать пациента после РНТ как один из источников облучения для лиц из категории населения и для целей радиационной защиты предлагают использовать долю от предела дозы для населения – граничную дозу. В качестве значения граничной дозы для защиты лиц из населения в некоторых странах принимается 0,3 мЗв [3,5,9] в России в качестве защитной меры используется годовой предел дозы для населения от техногенных источников 1 мЗв. Родственники, проживающие с пациентом, а также лица, осуществляющих уход за пациентом, получают непосредственную пользу от лечения пациента и для них применяется значение граничной дозы равное 5 мЗв [3, 5].

Методика определения критериев выписки нацелена на защиту лиц, которые находятся в постоянном (ежедневном) контакте с пациентом. Для расчётов ежедневный контакт моделируется пребыванием на расстоянии 1 метр при времени контакта: 7 часов в день для взрослых лиц, которые обеспечивают уход за пациентом и 3-4 часа в день для лиц из категории населения, в том числе детей, контактирующих с пациентом после РНТ [5,8].

Однако в некоторых ситуациях возможно меньшее расстояние от пациента: например, при контакте с маленьким ребенком, когда он находится на руках, или в ситуации, когда партнер спит в одной кровати с пациентом. Сокращение расстояния от пациента будет приводить к росту мощности дозы облучения партнера или ребенка. Таким образом, для отдельных категорий лиц годовая эффективная доза от контактов с пациентом после процедуры РНТ может превысить установленный предел дозы. В таком случае должны применяться дополнительные меры, ограничивающие контакты пациентов с этими категориями людей.

Цель исследования – определение защитных мероприятий по ограничению времени контакта пациента после РНТ с окружающими лицами и разработка рекомендаций, позволяющих снизить дозы окружающих лиц.

Материалы и методы

В работе были рассмотрены контакты пациента после РНТ с $Na^{131}I$ при тиреотоксикозе и раке щитовидной железы, ^{131}I -МИБГ, ^{153}Sm -оксифтор, ^{177}Lu -ПСМА-617, ^{177}Lu -ДОТАТАТЕ, ^{225}Ac -ПСМА-617, ^{225}Ac -ДОТАТАТЕ, ^{223}Ra -дихлорид, ^{89}Sr -дихлорид и ^{90}Y -зевалин со следующими категориями лиц:

- маленькие дети (от новорожденных до 3-х-летнего возраста), которых пациент после РНТ может держать на руках (близкий контакт – 5 см от пациента);
- партнеры, которые спят в одной кровати (10 см от пациента по 8 часов в сутки).

Для оценки эффективности ограничительных мероприятий были проведены оценки доз облучения от пациента за два периода: доза, полученная за период ограничений ($E_{огр}$) и период после снятия ограничений ($E_{ост}$) с использованием формул (1) и (2), соответственно:

$$E_{огр} = 34,6 \cdot 10^{-3} \cdot \dot{E}(t_1) \cdot OF_{огр} \cdot A_0 \cdot \sum_i a_i T_{effi} \times \left(e^{-\ln 2 \frac{t_1}{T_{effi}}} - e^{-\ln 2 \frac{t_2}{T_{effi}}} \right), \quad (1)$$

$$E_{ост} = 34,6 \cdot 10^{-3} \cdot \dot{E}(t_2) \cdot OF_{ост} \cdot A_0 \cdot \sum_i a_i T_{effi}, \quad (2)$$

где $\dot{E}$ – мощность эффективной дозы на соответствующем расстоянии от пациента, нормированная на 1 МБк, $мкЗв \cdot ч^{-1} \cdot МБк^{-1}$ (табл. 1);

t_1 – время от введения РФЛП до выписки пациента, сут. (табл. 1);

t_2 – время от введения РФЛП до снятия ограничений, сут.;

$OF_{огр}$ – доля времени, которое партнер проводит в кровати с пациентом на период ограничений (0 – 0 часов в день для партнеров, которые спят в одной кровати);

$OF_{ост}$ – доля времени контакта с пациентом после снятия ограничений (0,15 – 3,5 часа в день для контакта с детьми; 0,33 – 8 часов в день для партнеров, которые спят в одной кровати);

a_i – доля РФЛП с эффективным периодом полувыведения T_{effi} ;

T_{effi} – эффективный период полувыведения выведения i -й фазы РФЛП, сут.

Ограничительные мероприятия для защиты детей и партнеров были оценены исходя из того, что суммарная доза, полученная за время контакта с пациентом за оба рассмотренных периода, не должна превышать 0,3 мЗв [3, 4, 9].

В предыдущих работах авторов [8,10,11] на основании данных о выведении РФЛП и радиоактивном распаде радионуклидов были определены эффективные периоды полувыведения РФЛП. Для определения времени выписки пациентов после РНТ использовали следующие критерии выписки пациентов:

- 3 мкЗв/ч на расстоянии 1 метр от пациента для РФЛП на основе ^{225}Ac , ^{223}Ra , ^{89}Sr , ^{90}Y согласно СанПиН 2.6.1.2368–08;
- 20 мкЗв/ч на расстоянии 1 метр от пациента для РФЛП на основе ^{131}I согласно НРБ-99/2009;
- 29 мкЗв/ч на расстоянии 1 метр от пациента для РФЛП на основе ^{177}Lu [8];
- 100 мкЗв/ч на расстоянии 1 метр от пациента для РФЛП на основе ^{153}Sm согласно НРБ-99/2009.

Значения мощности эффективной дозы от пациента после РНТ были определены на основании литературных данных [12-16] с учетом коэффициентов перехода от $H_p(10)$ к эффективной дозе [17], дополнительно методом Монте Карло с помощью программы MCNP были просчитаны мощности эффективной дозы на разных расстояниях от тела пациента с радионуклидом. Параметры в формулах (1) и (2), используемые при расчетах представлены в таблице 1.

Результаты

Значения допустимого времени контакта пациента после РНТ с детьми (маленькие дети, которых пациент после РНТ может держать на руках – 5 см от пациента) в зависимости от времени, прошедшего после выписки пациента, представлены в таблице 2.

Таблица 1

Параметры в формулах (1) и (2), используемые при расчетах

[Table 1

Parameters were used in the equations (1) and (2)]

РФЛП [Radiopharmaceutical]	A_0 , МБк [MBq]	a_1	T_{eff1} , сут. [day]	a_2	T_{eff2} , сут. [day]	t_1 , сут. [day]	Мощность эффективной дозы $\dot{E}$ на разном расстоянии от пациента, мкЗв·ч ⁻¹ ·МБк ⁻¹ [Effective dose rate at different dis- tant from the patient, μSv·h ⁻¹ ·MBq ⁻¹]		
							1 метр [1 m]	5 см [5 cm]	10 см [10 cm]
Na ¹³¹ I-тиреотоксикоз [Na ¹³¹ I-thyrototoxicosis]	600	0,2	0,333	0,8	7,5	1,8	0,046	4,5	1,3
Na ¹³¹ I-рак ЩЖ [Na ¹³¹ I-thyroid cancer]	7500	0,9	0,333	0,1	7,5	5,8	0,046	4,5	1,3
¹³¹ I-МИБГ [¹³¹ I-mIBG]	7500	0,37	0,121	0,63	1,88	6,3	0,046	4,5	1,3
¹⁷⁷ Lu-ПСМА-617 [¹⁷⁷ Lu-PSMA-617]	7500	0,5	0,071	0,5	2,5	0,25	0,006	0,067	0,058
²²⁵ Ac-ПСМА-617 [²²⁵ Ac-PSMA-617]	6	0,5	0,072	0,5	2,9	0	0,06	0,35	0,3
¹⁷⁷ Lu-ДОТА-ТАТЕ [¹⁷⁷ Lu-DOTATATE]	7500	0,5	0,18	0,5	4,2	0,25	0,006	0,067	0,058
²²⁵ Ac-ДОТА-ТАТЕ [²²⁵ Ac-DOTATATE]	6	0,5	0,18	0,5	5,3	0	0,06	0,35	0,3
¹⁵³ Sm-оксабифор [¹⁵³ Sm-oxabifor]	2800	0,8	0,64	0,2	1,9	0	0,017	0,53	0,24
⁸⁹ Sr-дихлорид [⁸⁹ Sr-dichloride]	150	0,33	1	0,67	5,8	0	<0,001	0,004	0,001
²²³ Ra-дихлорид [²²³ Ra-dichloride]	4	1	1,17	-	-	0	0,09	0,56	0,49
⁹⁰ Y-зевалин [⁹⁰ Y-zevalin]	1200	1	2,67	-	-	0	<0,001	0,01	0,01

Таблица 2

Время, которое нужно выждать пациенту перед тем, как держать на руках ребенка
(время после выписки до начала контакта ($t_2 - t_1$)) при разном времени контакта

[Table 2

The time a patient needs to wait before holding a baby and different contact times]

Период ограничений [Restriction period]	OF _{ор}		Время после выписки до начала контакта ($t_2 - t_1$), сут [Time after release before contact, day]
	доля времени [fraction of time]	мин в день [minutes a day]	
Na ¹³¹ I-тиреотоксикоз (выписка через 44 часа после введения РФЛП) [Na ¹³¹ I-thyrotoxicosis (release after 44 hours after radiopharmaceutical administration)]			
	0,069	100	56
1 неделя [1 week]	0,049	71	55
	0,031	44	54
	0,014	20	53

Период ограничений [Restriction period]	OF _{ср}		Время после выписки до начала контакта ($t_2 - t_1$), сут [Time after release before contact, day]
	доля времени [fraction of time]	мин в день [minutes a day]	
2 недели [2 week]	0,04	58	51
	0,032	46	50
	0,024	34	49
	0,017	24	48
3 недели [3 week]	0,017	25	44
	0,014	20	43
	0,010	15	42
	0,007	10	41
4 недели [4 week]	0,015	22	40
	0,012	18	39
	0,01	15	38
	0,008	12	37
Na ¹³¹ I-рак ЩЖ (выписка через 140 часов после введения РФЛП) [Na ¹³¹ I-thyroid cancer (release after 140 hours after radiopharmaceutical administration)]			
1 неделя [1 week]	0,073	105	57
	0,052	75	56
	0,033	48	55
	0,015	22	54
2 недели [2 week]	0,033	48	51
	0,025	36	50
	0,018	26	49
	0,011	16	48
3 недели [3 week]	0,018	26	45
	0,014	21	44
	0,011	16	43
	0,008	11	42
4 недели [4 week]	0,015	22	41
	0,013	19	40
	0,011	16	39
	0,009	13	38
¹³¹ I-МИБГ (выписка через 152 часа после введения РФЛП) [¹³¹ I-mIBG (release after 152 hours after radiopharmaceutical administration)]			
1 неделя [1 week]	0,056	80	9
	0,035	50	8
	0,02	29	7
	0,01	14	6
2 недели [2 week]	0,029	42	7
	0,019	28	6
	0,013	19	5
	0,009	13	4
3 недели [3 week]	0,03	43	7
	0,02	29	6
	0,014	20	5
	0,009	14	4

Период ограничений [Restriction period]	OF _{ср}		Время после выписки до начала контакта ($t_2 - t_1$), сут [Time after release before contact, day]
	доля времени [fraction of time]	мин в день [minutes a day]	
4 недели [4 week]	0,020	29	6
	0,014	20	5
	0,01	14	4
	0,006	9	3
¹⁷⁷ Lu-ПСМА-617 (выписка через 6 часов после введения РФЛП) [¹⁷⁷ Lu-PSMA-617 (release after 6 hours after radiopharmaceutical administration)]			
1 неделя [1 week]	0,066	95	6
	0,044	63	5
	0,027	39	4
	0,014	20	3
2 недели [2 week]	0,042	61	4
	0,031	45	3
	0,023	33	2
	0,017	24	1
3 недели [3 week]	0,033	48	3
	0,025	36	2
	0,019	27	1
	0,014	20	0
¹⁷⁷ Lu-ДОТАТАТ (выписка через 6 часов после введения РФЛП) [¹⁷⁷ Lu-DOTATATE (release after 6 hours after radiopharmaceutical administration)]			
1 неделя [1 week]	0,084	120	15
	0,060	87	14
	0,041	59	13
	0,024	34	12
2 недели [2 week]	0,034	49	10
	0,026	38	9
	0,019	28	8
	0,014	20	7
3 недели [3 week]	0,028	41	8
	0,02	34	7
	0,019	28	6
	0,015	22	5
4 недели [4 week]	0,026	38	7
	0,022	31	6
	0,018	26	5
	0,015	22	4

Период ограничений [Restriction period]	OF _{орг}		Время после выписки до начала контакта ($t_2 - t_1$), сут [Time after release before contact, day]
	доля времени [fraction of time]	мин в день [minutes a day]	
¹⁵³ Sm-оксабифор (выписка сразу после введения РФЛП) [¹⁵³ Sm-oxabifor (release immediately after radiopharmaceutical administration)]			
1 неделя [1 week]	0,081	117	5
	0,051	73	4
	0,029	42	3
	0,015	21	2
2 недели [2 week]	0,058	83	4
	0,038	54	3
	0,022	32	2
	0,012	18	1
3 недели [3 week]	0,058	84	4
	0,038	55	3
	0,023	33	2
	0,012	18	1
4 недели [4 week]	0,038	55	3
	0,023	33	2
	0,012	18	1
	0,007	10	0
²²⁵ Ac (выписка сразу после введения РФЛП) [²²⁵ Ac (release immediately after radiopharmaceutical administration)]			
—*	0,15	216	0
²²³ Ra (выписка сразу после введения РФЛП) [²²³ Ra (release immediately after radiopharmaceutical administration)]			
—*	0,15	216	0
⁸⁹ Sr-дихлорид (выписка сразу после введения РФЛП) [⁸⁹ Sr-dichloride (release immediately after radiopharmaceutical administration)]			
—*	0,15	216	0
⁹⁰ Y-зевалин (выписка сразу после введения РФЛП) [⁹⁰ Y-zevalin (release immediately after radiopharmaceutical administration)]			
—*	0,15	216	0

*эффективная доза у детей на руках у пациентов после РНТ с ²²⁵Ac, ²²³Ra, ⁸⁹Sr и ⁹⁰Y даже без ограничительных мероприятий не превышала 0,3 мЗв [effective dose of children in the arms of patients after radiopharmaceutical therapy with ²²⁵Ac, ²²³Ra, ⁸⁹Sr and ⁹⁰Y, even without precautions, did not exceed 0.3 mSv].

Полученные результаты показали, что дозы у детей от пациентов после РНТ с ²²⁵Ac, ²²³Ra, ⁸⁹Sr и ⁹⁰Y не превысят 0,3 мЗв даже в случае ежедневного близкого контакта в течение 3,5 часов каждый день. Однако ограничительные мероприятия по контакту с детьми на близком расстоянии необходимы пациентам после с РНТ с радионуклидами ¹³¹I, ¹⁷⁷Lu и ¹⁵³Sm. При этом для радиационной защиты ребенка необходимо запретить пациенту держать на руках ребенка в течение первых дней после введения РФЛП. Чем дольше будет бесконтактный период, тем больше времени в дальнейшем можно будет контактировать с ребенком на постоянной основе. Однако оптимальное решение существенно зависит от семейных обстоятельств, привязанности пациента и ребенка, необходимости ухода за ним, и прочих, трудно планируемых особенностей семьи. Стоит отметить, что после снятия ограничений время контакта (менее 0,5 часа)

может оказаться недостаточным для выполнения ежедневных функций и систематически превышать. Поэтому в качестве необходимого в работе рассматривалось время ежедневного контакта с ребенком не менее 30 минут. Таким образом, авторами были выбраны следующие ограничения, которые могут быть рекомендованы пациенту по близкому контакту с ребенком в течение:

- первых семи недель после проведения РНТ с Na¹³¹I и в дальнейшие две недели держать ребенка на руках не более 35 минут в день;
- первой недели после выписки из отделения РНТ с ¹³¹I-МИБГ и в следующую неделю держать ребенка на руках не более 30 минут в день;
- первой недели после выписки из отделения РНТ с ¹⁷⁷Lu-ПСМА-617 или ¹⁷⁷Lu-ДОТА-TATE и в следующие три недели держать ребенка на руках не более 35 минут в день;

– первых двух дней после выписки из отделения РНТ с ^{153}Sm -оксабифор и в следующие 14 дней держать ребенка на руках не более 30 минут в день.

Продолжительность ограничений для партнеров спать в одной кровати с пациентом после РНТ представлены в таблице 3.

Полученные результаты показали, что дозы у близких людей, которые спят в одной кровати с пациентом после РНТ с ^{225}Ac и ^{223}Ra , не превысят 0,3 мЗв, отсутствует необходимость введения ограничительных мероприятий для радиационной защиты партнеров пациента. Однако ограничительные мероприятия необходимы для пациентов после РНТ с ^{131}I , ^{177}Lu , ^{153}Sm – спать раздельно от пациента в течение нескольких недель.

Обсуждение

Важным этапом при выписке пациента является его информирование по вопросам радиационной безопасности и соблюдению мер предосторожности для снижения возможного облучения окружающих лиц.

Одной из критических групп, подверженных высоким дозам облучения от пациентов, являются дети, при контакте с которыми нет возможности выдержать дистанцию. При сокращении расстояния от пациента растёт мощность дозы облучения ребенка, что требует сокращения времени контактирования с пациентом. В первое время после РНТ мощность дозы от пациента наиболее высокая, поэтому в работе были определены промежутки времени, в течение которого стоит воздержаться от близкого контакта с детьми (держать на руках и обнимать), а также ограничение по времени контакта в дальнейшем. Рекомендованные меры предосторожности представлены в таблице 3. Выполнение предложенных ограничений позволит снизить дозу у ребенка до 0,3 мЗв [3,4,9]. Несмотря на то, что в Российской Федерации отсутствует оптимизация посредством применения граничной дозы использование 0,3 мЗв для ограничения дозы у лиц из категории населения, контактирующих с пациентом на постоянной основе, применение данного ограничения является приемлемым и обоснованным по следующим причинам:

- гармонизация с международными подходами [3, 4, 9];
- планируемое введение концепции граничной дозы в закон «О радиационной безопасности населения»;
- возможность проведения в течение года нескольких курсов РНТ пациенту и связанная с этим вероятность получения близкими людьми годовой эффективной дозы техногенного облучения за счет совместного проживания и постоянного контакта с пациентом, превышающей основной предел дозы для населения;
- обеспечение радиационной защиты с учетом облучения лиц за счет других источников ионизирующего излучения.

К другой группе лиц, которая подвержена высоким дозам облучения от пациента после РНТ, относятся партнеры, которые могут спать в одной кровати с пациентом, а также контактировать с пациентом в дневное время. Годовая эффективная доза техногенного облучения партнера за счет облучения от пациента после РНТ во время сна может превысить предел дозы для населения, если не соблюдать строгие временные ограничения. Это существенно с учетом дополнительного контакта с пациентом в дневное время. Чаще всего партнер осуществляет уход и поддержку пациента в течение дня и облучается от пациента на протяжении

Таблица 3

Время, которое нужно выждать пациенту после РНТ и его партнеру для того, чтобы спать в одной кровати

[Table 3]

The time a patient and his or her partner need to wait after radiopharmaceutical therapy to sleep in the same bed]

РФЛП [Radiopharmaceutical]	Время выписки пациента после введения РФЛП (t_1), ч [Patient release time after admin- istration, h]	Время после выписки до начала контакта ($t_2 - t_1$), сут [Time after release before contact, day]
$\text{Na } ^{131}\text{I}$ -тиреотоксикоз [$\text{Na } ^{131}\text{I}$ -thyrotoxicosis]	44	56
$\text{Na } ^{131}\text{I}$ -пак ЩЖ [$\text{Na } ^{131}\text{I}$ -thyroid cancer]	140	61
^{131}I -МИБГ [^{131}I -mIBG]	152	17
^{177}Lu -ПСМА-617 [^{177}Lu -PSMA-617]	6	11
^{177}Lu -ДОТА-ТАТЕ [^{177}Lu -DOTATATE]	6	22
^{153}Sm -оксабифор [^{153}Sm -oxabifor]	0	7
^{225}Ac	0	—*
^{223}Ra	0	—*
^{89}Sr -дихлорид [^{89}Sr -dichloride]	0	—*
^{90}Y -зевалин [^{90}Y -zevalin]	0	—*

*эффективная доза у партнеров, которые спят в одной кровати с пациентом после РНТ с ^{225}Ac , ^{223}Ra , ^{89}Sr и ^{90}Y , даже без ограничительных мероприятий не превышала 0,3 мЗв. [the effective dose of partners sleeping in the same bed with a patient after radiopharmaceutical therapy with ^{225}Ac , ^{223}Ra , ^{89}Sr and ^{90}Y , even without precautions, did not exceed 0.3 mSv]

этого времени. Согласно требованиям НРБ-99/2009 и рекомендациями МАГАТЭ и МКРЗ, доза у этой категории лиц не должна превышать 5 мЗв за год [3,4]. Существующие критерии выписки пациентов определены с учетом непревышения 1 мЗв при ежедневном контакте с пациентом 3-4 часа в день, что обеспечивает с запасом непревышение дозы в 5 мЗв для лиц, оказывающих уход и поддержку пациенту. При соблюдении ограничений, представленных в таблице 4, доза у партнера за счет сна в одной кровати с пациентом не превысит 0,3 мЗв и доза от контакта с пациентом не превысит 5 мЗв с учетом обеспечения ухода за пациентом.

Кроме ограничений контактов по времени, пациенту рекомендуется соблюдать меры предосторожности, касающиеся использования предметов гигиены и посуды в течение первых недель, чтобы исключить возможность контакта окружающих лиц с биологическими жидкостями пациента (слюна, моча), которые могут содержать радионуклид.

Таблица 4

Меры предосторожности для пациента после РНТ с различными РФЛП

[Table 4]

Precautions for the patient after radiopharmaceutical therapy with different radiopharmaceuticals]

РФЛП [Radiopharmaceutical]	Не держать на руках и не обнимать детей после выписки [Do not hold and hug children after release]	Держать на руках детей не более 30-35 минут в день [Hold children in the arms for no more than 30-35 minutes a day]	Спать одному и воздерживаться от интимных контактов [Sleeping alone and avoiding sexual contacts]
	Длительность ограничительного периода [Duration of the restrictive period]		
Na ¹³¹ I-тиреотоксикоз [Na ¹³¹ I-thyrototoxicosis]	7 недель [7 weeks]	2 недели [2 weeks]	2 месяца [2 months]
Na ¹³¹ I-рак ЩЖ [Na ¹³¹ I-thyroid cancer]	7 недель [7 weeks]	2 недели [2 weeks]	2 месяца [2 months]
¹³¹ I-МИБГ [¹³¹ I-mIBG]	1 неделя [1 week]	1 неделя [1 week]	2,5 недели [2.5 weeks]
¹⁷⁷ Lu-ПСМА-617 [¹⁷⁷ Lu-PSMA-617]	1 неделя [1 week]	1 неделя [1 week]	2 недели [2 weeks]
¹⁷⁷ Lu-ДОТА-TATE [¹⁷⁷ Lu-DOTATATE]	1 неделя [1 week]	1 неделя [1 week]	3 недели [3 weeks]
¹⁵³ Sm-оксабифор [¹⁵³ Sm-oxabifor]	2 дня [2 days]	2 недели [2 weeks]	1 неделя [1 week]
²²⁵ Ac, ²²³ Ra, ⁸⁹ Sr, ⁹⁰ Y	—*	—*	—*

*не требуются дополнительные ограничительные мероприятия для контакта с окружающими [additional precautions for contact with others are not required]

Заключение

На основании проведенных в работе расчетов были предложены рекомендации для пациентов после проведения РНТ при контакте с окружающими лицами на близком расстоянии. Соблюдение мер предосторожности и ограничение времени контактов является основополагающим при обеспечении радиационной защиты окружающих пациента лиц, однако пациентам не стоит полностью прекращать общение, поскольку взаимодействие с близкими людьми может являться важным аспектом при восстановлении пациента после терапии. При этом необходимо заботиться о радиационной безопасности близких людей и соблюдать рекомендации, полученные при выписке. Рекомендации для разных РФЛП отличаются в зависимости от физических характеристик радионуклида, входящего в состав РФЛП, а также фармакокинетики самого РФЛП.

При этом необходимо помнить о важности информирования пациента и его близких о мерах предосторожности для защиты себя и своих близких в форме письменной инструкции. Выполнение рекомендованных мер предосторожности обеспечит радиационную защиту окружающих лиц при контакте с пациентом после прохождения РНТ и не превышение пределов доз у лиц, контактирующих с пациентом.

Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Чипига Л.А. – научное руководство исследованием, разработка дизайна исследования, формулировка научных гипотез, обработка и анализ полученных результатов, обсуждение результатов исследования, написание текста статьи, редактирование текста статьи.

Лихачева А.В. – поиск и анализ литературы, проведение расчетов, обработка и анализ полученных результатов, написание текста статьи.

Звонова И.А. – поиск и анализ литературы, обсуждение результатов исследования.

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

Тоскин О.Ю. – анализ и интерпретация результатов обсуждения результатов исследования.

Сапельников А.А. – анализ и интерпретация результатов обсуждения результатов исследования.

Величина К.С. – проведение расчетов, редактирование текста статьи, перевод.

Терентьева А.С. – проведение расчетов, редактирование текста статьи, перевод.

Станжевский А.А. – поиск и анализ литературы, обсуждение результатов исследования, редактирование текста статьи.

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».

Литература

1. Evaluation of Medical Exposure to Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) 2020/2021 Report Volume I. Annex A.
2. Scott A.M., Zeglis B.M., Lapi S.E. et al. Trends in nuclear medicine and the radiopharmaceutical sciences in oncology: workforce

- challenges and training in the age of theranostics // *Lancet Oncology*. 2024. Vol. 25, No 6. P. e250-e259. DOI: 10.1016/S1470-2045(24)00037-8. Erratum in: *Lancet Oncology*. 2024. Vol. 25, No 8. e336 p. DOI: 10.1016/S1470-2045(24)00378-4.
3. International Commission on Radiological Protection. Release of patients after therapy with unsealed radionuclides. ICRP Publication 94 // *Annals of the ICRP*. 2004. Vol. 34, No (2).
 4. International Atomic Energy Agency. Release of Patients After Radionuclide Therapy. Safety Reports Series No. 63. IAEA. Vienna, 2009.
 5. Балонов М.И., Голиков В.Ю., Звонова И.А. Радиологические критерии выписки пациента из клиники после радионуклидной терапии или брахитерапии с имплантацией закрытых источников // *Радиационная гигиена*. 2009. Т. 2, № 4. С. 5-9.
 6. Звонова И.А., Балонов М.И., Голиков В.Ю. Критерии освобождения пациентов, прошедших радионуклидную терапию, и критерии пересечения ими государственной границы Российской Федерации // *Дозиметрия радиационной защиты*. 2011. Т. 147, № 1-2. С. 254-257. DOI: 10.1093/rpd/ncr308.
 7. Наркевич Б.Я., Лысак Ю.В. Обеспечение радиационной безопасности при амбулаторном режиме применения терапевтических радиофармпрепаратов // *Медицинская радиология и радиационная безопасность*. 2015. Т. 60, № 4. С. 27-35.
 8. Чипига Л.А., Звонова И.А., Водоватов А.В. и др. Совершенствование подхода к определению радиологических критериев выписки пациентов после радионуклидной терапии // *Радиационная гигиена*. 2023. Т. 16, № 2. С. 19-31. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-2-19-31.
 9. Mattsson S., Hoeschen C. *Radiation Protection in Nuclear Medicine*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013. 159 p.
 10. 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.
 11. 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.
 12. Demir M., Abuqbeith M., Uslu-Beşli L. et al. Evaluation of radiation safety in ¹⁷⁷Lu-PSMA therapy and development of outpatient treatment protocol // *Journal of Radiological Protection*. 2016. Vol. 36, No. 2. P. 269-278. DOI: 10.1088/0952-4746/36/2/269.
 13. Wanke C., Pinkert J., Szermerski B., Geworski L. Assessment of the radiation exposure of relatives and caregivers of patients treated with Ra-223 - Results of a German multicenter study // *Zeitschrift für Medizinische Physik*. 2021. Vol. 31, No 1. 58-64. DOI: 10.1016/j.zemedi.2020.09.002.
 14. Dauer L.T., Williamson M.J., Humm J. et al. Radiation safety considerations for the use of ²²³RaCl₂ DE in men with castration-resistant prostate cancer // *Health Physics*. 2014. Vol. 106, No 4. P. 494-504. DOI: 10.1097/HP.0b013e3182a82b37.
 15. Serencsits B., Chu B.P., Pandit-Taskar N. et al. Radiation Safety Considerations and Clinical Advantages of α-Emitting Therapy Radionuclides // *Journal of Nuclear Medicine Technology*. 2022. Vol. 50, No 1. P. 10-16. DOI: 10.2967/jnmt.121.262294.
 16. NCRP report № 155. Management of Radionuclide Therapy Patients. National Council on Radiation Protection and Measurements, New York, 2007.
 17. International Commission on Radiological Protection. Conversion Coefficients for Radiological Protection Quantities for External Radiation Exposures. ICRP Publication 116 // *Annals of the ICRP*. 2010. Vol. 40, No (2-5).

Поступила: 03.02.2025

Чипига Лариса Александровна – кандидат технических наук, старший 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

Лихачева 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

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

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

Тоскин Олег Юрьевич – руководитель отдела радиационной безопасности АО «Европейский медицинский центр», Москва, Россия

Сапельников Александр Александрович – инженер отдела радиационной безопасности АО «Европейский медицинский центр», Москва, Россия

Величина Кристина Сергеевна – инженер, общество с ограниченной ответственностью «Научно-технический центр экспертиз безопасности ТУК», Санкт-Петербург, Россия

Терентьева Анастасия Сергеевна – инженер, общество с ограниченной ответственностью «Научно-технический центр экспертиз безопасности ТУК», Санкт-Петербург, Россия

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

Для цитирования: Чипига Л.А., Лихачева А.В., Звонова И.А., Водоватов А.В., Тоскин О.Ю., Сапельников А.А., Величкина К.С., Терентьева А.С., Станжевский А.А. Защитные мероприятия для отдельных категорий лиц при контакте с пациентом после радионуклидной терапии // Радиационная гигиена. 2025. Т. 18, № 1. С. 59–69. DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-1-59-69

Precautions for certain categories of individuals in contact with a patient after radionuclide therapy

Larisa A. Chipiga^{1,2,3}, Anastasia V. Likhacheva^{1,4}, Irina A. Zvonova¹, Aleksandr V. Vodovатов^{1,5}, Oleg Yu. Toskin⁶, Aleksandr A. Sapelnikov⁶, Kristina S. Velichkina⁷, Anastasia S. Terenteva⁷, Andrey A. Stanzhevsky²

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

⁵ Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia

⁶ European Medical Center, Moscow, Russia

⁷ Technical Scientific Centre for Safety Assessment of RM Packages, Saint Petersburg, Russia

Patients undergoing radionuclide therapy with radiopharmaceuticals may become a radiation source of external exposure. Release of the patients requires strict abidance of radiation safety regulations to minimize exposure to individuals in contact with patient, especially children and pregnant women. The purpose of the current study was to determine precautions for patients after radionuclide therapy to limit the contact time with others and to develop guidelines to reduce doses to individuals in contact with patient. Two cases were considered for analysis: contact with young children and co-sleeping with partners. Determination of the necessary time limitations was performed using open-assessed publications and Monte Carlo calculations at different distances from the patient. The results showed that radionuclide therapy with ²²⁵Ac, ²²³Ra, ⁸⁹Sr, and ⁹⁰Y would not exceed the limit of 0.3 mSv to individuals in contact with patient after radionuclide therapy, even in the case of no precautions. However, for patients with ¹³¹I, ¹⁷⁷Lu and ¹⁵³Sm, precautions to limit the time of close contact with children and co-sleeping with partners are required. The suggested precautions ensure the radiation safety of individuals in contact with the patient after radionuclide therapy by limiting the exposure limits and allow patients to maintain social contacts, which is important for their rehabilitation.

Key words: nuclear medicine, radionuclide therapy, radiopharmaceutical, patient release criteria, 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.

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

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

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

Toskin O.Yu. – analysis and interpretation of the results, discussion of the results.

Sapelnikov A.A. – analysis and interpretation of the results, discussion of the results.

Velichkina K.S. – calculations, editing the text of the article, translation.

Terenteva A.S. – calculations, editing the text of the article, translation.

Stanzhevsky A.A. – search and analysis of literature, discussion of the results, editing the text of the article.

Conflict of interests

The author declares no conflict of interest.

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

Sources of funding

The work was performed as a part of the program of Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing «Development and scientific justification of a set of measures to ensure radiation protection in nuclear medicine».

References

1. Evaluation of Medical Exposure to Ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) 2020/2021 Report Volume I. Annex A.
2. Scott AM, Zeglis BM, Lapi SE, Scott PJH, Windhorst AD, Abdel-Wahab M, et al. Trends in nuclear medicine and the radiopharmaceutical sciences in oncology: workforce challenges and training in the age of theranostics. *Lancet Oncology*. 2024;25(6):e250-e259. DOI: 10.1016/S1470-2045(24)00037-8. Erratum in: *Lancet Oncology*. 2024;25(8):e336. DOI: 10.1016/S1470-2045(24)00378-4.
3. International Commission on Radiological Protection. Release of patients after therapy with unsealed radionuclides. ICRP Publication 94. *Annals of the ICRP*. 2004;34(2).
4. International Atomic Energy Agency. Release of Patients After Radionuclide Therapy. Safety Reports Series No. 63. IAEA. Vienna; 2009.
5. Balonov MI, Golikov VYu, Zvonova IA. Radiological Criteria for Patient Release from Clinic after Radionuclide Therapy of Brachytherapy with Sealed Source Implantation. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2009;2(4): 5-9. (In Russian).
6. Release criteria for patients having undergone radionuclide therapy and criteria or their crossing the state border of the Russian Federation. *Radiation Protection Dosimetry*. 2011;147(1-2): 254-257. DOI: 10.1093/rpd/ncr308.
7. Narkevich BYa, Lysak YuV. Radiation Safety in the Outpatient Regimen for the Use of Therapeutic Radiopharmaceuticals. *Meditsinskaya radiologiya i radiatsionnaya bezopasnost = Medical Radiology and Radiation Safety*. 2015;60(4): 27-35. (In Russian).
8. Chipiga LA, Zvonova IA, Vodovatov AV, Petryakova AV, Stanzhevsky AA, Vazhenina DA, et al. Improvement of the approach to definition of patient release criteria after radionuclide therapy. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023;16(2): 19-31. (In Russian). DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-2-19-31.
9. Mattsson S, Hoeschen C. Radiation Protection in Nuclear Medicine. Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2013. 159 p.
10. 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.
11. 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.
12. Demir M, Abuqbeitah M, Uslu-Besli L, Yildirim Ö, Yeyin N, Çavdar İ, et al. Evaluation of radiation safety in 177Lu-PSMA therapy and development of outpatient treatment protocol. *Journal of Radiological Protection*. 2016;36(2): 269-278. DOI: 10.1088/0952-4746/36/2/269.
13. Wanke C, Pinkert J, Szermerski B, Geworski L. Assessment of the radiation exposure of relatives and caregivers of patients treated with Ra-223 - Results of a German multicenter study. *Zeitschrift für Medizinische Physik*. 2021;31(1): 58-64. DOI: 10.1016/j.zemedi.2020.09.002.
14. Dauer LT, Williamson MJ, Humm J, O'Donoghue J, Ghani R, Awadallah R, et al. Radiation safety considerations for the use of ²²³RaCl₂ DE in men with castration-resistant prostate cancer. *Health Physics*. 2014;106(4): 494-504. DOI: 10.1097/HP.0b013e3182a82b37.
15. Serencsits B, Chu BP, Pandit-Taskar N, McDevitt MR, Dauer LT. Radiation Safety Considerations and Clinical Advantages of α-Emitting Therapy Radionuclides. *Journal of Nuclear Medicine Technology*. 2022;50(1): 10-16. DOI: 10.2967/jnmt.121.262294.
16. NCRP report № 155. Management of Radionuclide Therapy Patients. National Council on Radiation Protection and Measurements, New York; 2007.
17. International Commission on Radiological Protection. Conversion Coefficients for Radiological Protection Quantities for External Radiation Exposures. ICRP Publication 116. *Annals of the ICRP*. 2010;40(2-5).

Received: February 03, 2025

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 Wellbeing; 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)

Anastasia V. Likhacheva – 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

Irina A. Zvonova – Doctor of Engineering 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 Wellbeing, Saint Petersburg, Russia

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 Wellbeing; Docent, Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg, Russia

Oleg Yu. Toskin – Head of Radiation Safety Department, JSC «European Medical Center», Moscow, Russia

Aleksandr A. Sapelnikov – Radiation Safety Engineer, JSC «European Medical Center», Moscow, Russia

Christina S. Velichkina – Engineer, LLC «Technical Scientific Centre for Safety Assessment of RM Packages», Saint Petersburg, Russia

Anastasia S. Terenteva – Engineer, LLC «Technical Scientific Centre for Safety Assessment of RM Packages», Saint Petersburg, Russia

Andrey A. Stanzhevsky – Doctor of Medical Sciences, 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

For citation: Chipiga L.A., Likhacheva A.V., Zvonova I.A., Vodovatov A.V., Toskin O.Yu., Sapelnikov A.A., Velichkina K.S., Terenteva A.S., Stanzhevsky A.A. Precautions for certain categories of individuals in contact with a patient after radionuclide therapy. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2025. Vol. 18, No. 1. P. 59–69. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2025-18-1-59-69.