

В.И. Тельнов, И.В. Лёгких, П.В. Окатенко

АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ ОТ ИНКОРПОРАЦИИ ПЛУТОНИЯ-239 У РАБОТНИКОВ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ПРИ ОПУХОЛЕВЫХ И НЕОПУХОЛЕВЫХ ПРИЧИНАХ СМЕРТИ

Южно-Уральский институт биофизики, Озерск; Челябинская обл.

Контактное лицо: Виталий Иванович Тельнов, e-mail: tvi@subi.su

РЕФЕРАТ

Цель: Количественная оценка влияния внутреннего облучения на продолжительность жизни (ПЖ) у работников ПО «Маяк» на основе анализа зависимости ряда показателей ПЖ от уровня инкорпорации плутония-239 при опухолевых и неопухолевых причинах смерти.

Материал и методы: Обследована когорта умерших работников ПО «Маяк» 1948–1958 годов найма с известным содержанием плутония-239 в организме численностью 2343 человека, в том числе 1739 мужчин и 604 женщины. С помощью регрессионного анализа у работников разного пола оценивали зависимость общей ПЖ и ПЖ после начала работы (ПЖпнр), а также долю лиц, не доживших до нормативного возраста в целом и после начала работы, от инкорпорации плутония-239 при опухолевой и неопухолевой патологии. Статистические показатели определяли с использованием программы Statistica.

Результаты: Показано, что с увеличением содержания плутония-239 в организме у мужчин и женщин наблюдается достоверное сокращение ПЖ и ПЖпнр, а также повышение доли лиц, не доживших до нормативного возраста ПЖ и ПЖпнр. На основе регрессионного анализа получены достоверные уравнения регрессии зависимости изученных показателей ПЖ от уровня инкорпорации радионуклида. Наблюдаемые сдвиги ПЖ и ПЖпнр были больше у мужчин, чем у женщин. В целом изменения исследованных характеристик ПЖпнр были более выраженными по сравнению с характеристиками общей ПЖ.

Заключение: Установлена достоверная зависимость сокращения ПЖ и ПЖпнр, повышения доли лиц, не доживших до нормативных ПЖ и ПЖпнр у работников ПО Маяк разного пола от инкорпорации плутония-239 при опухолевых и неопухолевых причинах смерти. Связь сокращения ПЖпнр с инкорпорацией плутония-239 была больше, чем с общей ПЖ, что, очевидно, объясняется непосредственным контактом работников с радионуклидом с начала их профессиональной деятельности. Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности использования не только показателей общей ПЖ, но и показателей ПЖ после начала работы при оценке ПЖ у работников, контактирующих с вредными факторами производства.

Ключевые слова: работники ПО «Маяк», плутоний-239, опухолевые и неопухолевые причины смерти, показатели продолжительности жизни, регрессионный анализ

Для цитирования: Тельнов В.И., Лёгких И.В., Окатенко П.В. Анализ зависимости показателей продолжительности жизни от инкорпорации плутония-239 у работников атомной промышленности при опухолевых и неопухолевых причинах смерти // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2021. Т. 66. № 6. С.57–62.

DOI: 10.12737/1024-6177-2021-66-6-57-62

Введение

Хорошо известно неблагоприятное влияние радиационного воздействия на здоровье облученных людей, которое проявляется на различных уровнях биологической организации организма [1]. Продолжительность жизни (ПЖ) – одна из важнейших характеристик уровня и качества жизни, являясь интегральным показателем здоровья населения, отражает влияние на человека множества самых разнообразных факторов, в том числе профессиональных. В экспериментальных исследованиях на различных видах животных установлено, что сокращение ПЖ является универсальным эффектом внешнего и внутреннего облучения [2–5]. Имеющиеся в литературе сведения о ПЖ у облученных людей весьма немногочисленны и противоречивы. Последнее связано, во-первых, с ограниченным числом облученных контингентов с достаточной статистической мощностью исследования, и, во-вторых, с неодинаковыми видами и дозами (или их отсутствием) облучения, неадекватным контролем и мерами радиационной защиты [6, 7].

Так, при изучении смертности и продолжительности жизни у американских рентгенологов и технического персонала, работавших в 1-й половине прошлого века, установлен повышенный риск смертности от злокачественных новообразований и сердечно-сосудистой патологии [8, 9]. При этом сокращение ПЖ у этой категории работников в среднем составляло 5,2 года [10]. В то же время в более ранних исследованиях смертности британских радиологов не было обнаружено ее сокращения, что объяснялось более ранним (на 20 лет) внедрением разра-

ботанных стандартов радиационной защиты в Англии по сравнению с США [цит. по 2].

Однако в последние годы появились данные о тенденции к увеличению риска смертности от рака у британских радиологов, сроки наблюдения за которыми превысили 40 лет после регистрации в 1921–1954 годах. [11]. При этом не было получено никаких доказательств влияния облучения на риск неонкологических заболеваний. В отличие от американских и британских радиологов, в когорте китайских рентгенологов, работавших с 1950 по 1985 гг., отмечено повышение риска злокачественных новообразований на 21% [12]. Изучение ПЖ в данном исследовании не проводилось.

Наиболее убедительные количественные данные о сокращении ПЖ при радиационном воздействии были получены в когорте LSS японцев, подвергшихся атомной бомбардировке [7]. В этом исследовании было установлено сокращение ПЖ на 2,6 года у пострадавших, получивших дозы облучения более 1 Гр. Сокращение ПЖ при дозах облучения меньше 1 Гр не превышали 2 мес. В последние годы появились сообщения о повышении риска неопухолевой патологии у разных облученных контингентов [13–15], что вызывает интерес к оценке ПЖ при неопухолевых причинах смерти.

Следует подчеркнуть, что рассмотренные выше исследования были посвящены анализу влияния внешнего облучения на ПЖ облученных людей. Что касается сокращения ПЖ у людей, подвергшихся внутреннему облучению, то наиболее убедительные данные были получены у рисовальщиц циферблатов, больных тубер-

кулезом костей или анкилозирующим спондилитом, которые подверглись воздействию радия, в том числе в результате лечения [16–18]. В когорте населения реки Течи, подвергшегося воздействию стронция-90 и цезия-137 в результате сбросов радиоактивных отходов ПО «Маяк», не было получено убедительных данных о сокращении ПЖ [19, 20].

Изучение влияния инкорпорации плутония-239 на ПЖ у людей началось в последние годы. При анализе равных по численности групп работников ПО «Маяк» с разным содержанием плутония-239 было показано сокращение их ПЖ с увеличением уровня инкорпорации плутония-239. При этом с повышением содержания плутония-239 в организме наблюдалось снижение среднего возраста смерти, то есть сокращение ПЖ как у мужчин, так и у женщин. Исходя из существенной связи возраста найма на работу с возрастом смерти, в этом исследовании была также определена ПЖ после начала работы, как разница между общей ПЖ и возрастом найма на работу (далее ПЖпнр), которая также снижалась с увеличением содержания плутония-239 в организме [21, 22]. Такой подход имеет принципиальное значение, так как именно с возраста найма на работу и начинается изучение когорты работников, за пределами которой остаются демографические события предшествующего периода в исходной популяции.

Целью настоящего исследования явилась количественная оценка зависимости ряда статических и потенциальных показателей ПЖ от инкорпорации плутония-239 у работников ПО «Маяк» при опухолевых и неопухолевых причинах смерти.

Материал и методы

Медико-дозиметрическая характеристика обследованной когорты, входящей в состав Регистра персонала ПО «Маяк» и прослеженной до 2009 года, представлена ранее [21, 22].

Как известно, половые различия в продолжительности жизни установлены для большинства биологических видов [23]. У человека гендерные различия определяются комплексом биологических и социально-экономических факторов, а также их взаимодействием. У населения стран ЕС эти различия в последнее время составляют 5–6 лет [24], а в России, в том числе в Озерске – одни из

самых больших в мире: 11–12 лет [25, 26]. В данном когортном исследовании различия в средней ПЖ у женщин (72,3 года) и у мужчин (67,1 года) составили 5,2 года, то есть практически 5 лет. В связи с этим для оценки доли лиц, не доживших до нормативного возраста, были приняты гендерные значения ПЖ, равные 65 годам у мужчин и 70 годам у женщин [27]. Для норматива ПЖпнр были приняты значения 40 и 45 лет соответственно у мужчин и женщин, представляющие собой разницу между нормативной ПЖ и возрастом найма на работу, в среднем составлявшем 25 лет (табл. 1). Статистические показатели определяли с использованием программы Statistica.

Результаты и обсуждение

При анализе характера распределения показателей продолжительности жизни и содержания плутония-239 в организме у работников было установлено, что распределение ПЖ и ПЖпнр было практически нормальным (близкие значения средней арифметической и медианы, центральное положение медианы между 25-м и 75-м перцентилями и низкий коэффициент асимметрии), а распределение содержания плутония-239 – скошенным вправо (существенные различия средней арифметической и медианы, более далекое положение медианы от 75-го перцентиля и высокий коэффициент асимметрии), как у мужчин, так и у женщин (табл. 2). Учитывая некоторые различия в характере распределения показателей ПЖ и содержания плутония-239 в организме работников, представленных в табл. 2, для оценки их связи были рассчитаны параметрические (коэффициент корреляции Пирсона) и непараметрические (ранговый коэффициент корреляции Спирмена) параметры. Из табл. 3 видно, что параметрические и непараметрические коэффициенты корреляции, свидетельствующие о достоверной отрицательной связи показателей ПЖ с инкорпорацией плутония-239, были практически одинаковыми у мужчин и имели небольшие различия у женщин. Исходя из этого, для количественной оценки зависимости показателей ПЖ от содержания плутония-239 был использован линейный регрессионный анализ. При этом, помимо ПЖ и ПЖпнр были рассчитаны и такие показатели, как доля лиц, не доживших до 65 лет у мужчин и до 70 лет у женщин, для общей ПЖ, и доля лиц, не проживших после начала работы 40 лет (мужчины) и 45 лет (женщины).

Таблица 1

Показатели продолжительности жизни
Life expectancy indicators

Статические показатели	
1. Общая продолжительность жизни	ПЖ, лет
2. Продолжительность жизни после начала работы	ПЖпнр, лет
Потенциальные показатели	
3. Доля мужчин, не доживших до 65 лет общей продолжительности жизни	ПЖ _{<65} , %
4. Доля мужчин, не проживших 40 лет после начала работы	ПЖпнр _{<40} , %
5. Доля женщин, не доживших до 70 лет общей продолжительности жизни	ПЖ _{<70} , %
6. Доля женщин, не проживших 45 лет после начала работы	ПЖпнр _{<45} , %

Таблица 2

Параметры распределения показателей продолжительности жизни и содержания плутония-239 у работников
Parameters of the distribution of indicators of life expectancy and plutonium-239 content in workers

Показатели	Средняя арифметическая	Медиана	Процентили		Коэффициент асимметрии
			25-й	75-й	
Мужчины					
ПЖ, лет	67,2	68,0	61,0	74,0	-0,35
ПЖпнр, лет	42,6	44,0	36,0	50,0	-0,54
Плутоний-239, кБк	2,344	0,781	0,285	2,083	4,23
Женщины					
ПЖ, лет	73,1	75,0	68,0	79,0	-0,72
ПЖпнр, лет	48,3	50,0	44,0	54,0	-1,10
Плутоний-239, кБк	2,064	0,624	0,169	1,394	4,69

Таблица 3

Оценка связи показателей продолжительности жизни и содержания плутония-239 у работников (корреляционный анализ *)
Assessment of the relationship between life expectancy and plutonium-239 content in workers (correlation analysis *)

Показатели	Коэффициент корреляции, r			Ранговый коэффициент корреляции, R		
	ПЖ, лет	ПЖпнр, лет	Pu-239, кБк	ПЖ, лет	ПЖпнр, лет	Pu-239, кБк
Мужчины						
ПЖ, лет	1,0	–	–	1,0	–	–
ПЖпнр, лет	0,81	1,0	–	0,79	1,0	–
Pu-239, кБк	-0,15	-0,20	1,0	-0,14	-0,20	1,0
Женщины						
ПЖ, лет	1,0	–	–	1,0	–	–
ПЖпнр, лет	0,80	1,0	–	0,74	1,0	–
Pu-239, кБк	-0,13	-0,17	1,0	-0,11	-0,13	1,0

Примечание: * – Представлены достоверные коэффициенты корреляции (p < 0,05)

Таблица 4

Оценка зависимости показателей продолжительности жизни от содержания плутония-239 у работников при опухолевых и неопухолевых причинах смерти

Assessment of the dependence of life expectancy indicators on the content of plutonium-239 in workers with tumor and non-tumor causes of death

Группы	Уравнение регрессии	F	p
Опухолевые причины смерти			
Мужчины (n=574)	ПЖ, лет = (66,62±0,459)–(0,28±0,068)×Pu-239, кБк	16,5	<0,00006
	ПЖпнр, лет = (41,90±0,443)–(0,36±0,066)×Pu-239, кБк	29,3	<0,0000001
	ПЖ<65 лет (%) = (36,8±2,348)+(1,53±0,347)×Pu-239, кБк	19,6	<0,00001
	ПЖпнр<40 лет (%) = (35,7±2,32)+(1,73±0,344)×Pu-239, кБк	25,3	<0,000001
Женщины (n=174)	ПЖ, лет = (69,46±0,826)–(0,13±0,050)×Pu-239, кБк	9,9	<0,01
	ПЖпнр, лет = (45,82±0,814)–(0,16±0,049)×Pu-239, кБк	10,8	<0,0013
	ПЖ<70 лет (%) = (45,1±4,21)+(0,66±0,255)×Pu-239, кБк	6,4	<0,01
	ПЖпнр<45 лет (%) = (38,5±4,12)+(0,83±0,250)×Pu-239, кБк	11,1	<0,001
Неопухолевые причины смерти			
Мужчины (n=1165)	ПЖ, лет = (68,47±0,323)–(0,31±0,075)×Pu-239, кБк	17,3	<0,00003
	ПЖпнр, лет = (44,22±0,293)–(0,41±0,068)×Pu-239, кБк	35,0	<0,0000001
	ПЖ<65 лет (%) = (30,7±1,53)+(1,13±0,358)×Pu-239, кБк	9,9	<0,002
	ПЖпнр<40 лет (%) = (26,4±1,48)+(1,77±0,346)×Pu-239, кБк	26,2	<0,0000001
Женщины (n=431)	ПЖ, лет = (75,0±0,415)–(0,24±0,049)×Pu-239, кБк	25,1	<0,000001
	ПЖпнр, лет = (49,81±0,343)–(0,26±0,044)×Pu-239, кБк	36,6	<0,0000001
	ПЖ<70 лет (%) = (20,2±2,09)+(0,89±0,245)×Pu-239, кБк	13,2	<0,004
	ПЖпнр<45 лет (%) = (20,1±2,09)+(0,93±0,245)×Pu-239, кБк	14,4	<0,0002

При регрессионном анализе было получено 16 достоверных уравнений регрессии, описывающих зависимость исследованных показателей ПЖ от инкорпорации плутония-239 (табл. 4). В целом эти зависимости у мужчин были более достоверными, чем у женщин, что можно объяснить большей численностью мужской группы. В результате регрессионного анализа показано, что на 1 кБк инкорпорированного плутония-239 при опухолевых причинах смерти у мужчин общая ПЖ сокращалась на 0,32, ПЖпнр – на 0,36 года, а у женщин – на 0,13 и 0,16 года соответственно. На 1 кБк инкорпорированного плутония-239 у мужчин доля не доживших до 65 лет и доля не проживших 40 лет после начала работы повышались на 1,53 и 1,73% соответственно. У женщин доля не доживших до 70 лет и доля не проживших 45 лет после начала работы повышались на 0,66 и 0,83% соответственно. Эффект повышения доли мужчин и женщин, не проживших после начала работы 40 и 45 лет, был более выраженным, чем эффект повышения доли лиц, не доживших до 65 и 70 лет. При неопухолевых причинах смерти на 1 кБк у мужчин общая ПЖ сокращалась на 0,31, ПЖпнр – на 0,41 года, а у женщин – на 0,24 и 0,26 года соответственно. У мужчин доля не доживших до 65 лет и доля не проживших 40 лет после начала работы повышались на 1,13 и 1,77% соответственно. У женщин доля не доживших до 70 лет и доля не проживших 45 лет после начала работы повышались на 0,89 и 0,93% соответственно.

Эффект повышения доли мужчин и женщин, не проживших после начала работы 40 и 45 лет (ПЖпнр), был также более выраженным, чем эффект повышения доли

лиц, не доживших до 65 и 70 лет соответственно. Последнее, очевидно, можно объяснить тем, что ПЖпнр была непосредственно связана с инкорпорацией плутония-239, тогда как общая ПЖ включала период жизни до контакта с радионуклидом. На основе уравнений регрессии, представленных в табл. 3, были получены графики зависимости исследованных показателей ПЖ от содержания плутония-239 (рис. 1,2).

Из рис. 1 следует, что у мужчин сокращение ПЖ на 1 кБк плутония было менее выраженным, чем сокращение ПЖвнр, как при опухолевых, так и при неопухолевых причинах смерти. В отличие от мужчин, у женщин при данных причинах смерти различия в сокращении ПЖ и ПЖпнр на 1 кБк были менее выраженным.

На рис. 2 видно, что при максимальных уровнях инкорпорации плутония повышение доли мужчин, не проживших 40 лет ПЖпнр, превышало 90 %, а у женщин, не проживших 45 лет ПЖпнр, только 71 и 56 % соответственно. При этом и у мужчин, и у женщин повышение доли лиц, не доживших соответственно до 40 и 45 лет ПЖвнр, было больше, чем повышение доли лиц, не доживших до 65 и 70 лет ПЖ.

На следующем этапе был проведен сравнительный анализ изменений показателей ПЖ и ПЖпнр у работников при опухолевых и неопухолевых причинах смерти при содержании радионуклида в организме 39 кБк относительно нулевой инкорпорации. В результате было установлено более существенное сокращение ПЖпнр и повышение доли лиц, не доживших до нормативного возраста ПЖпнр, по сравнению с соответствующими харак-

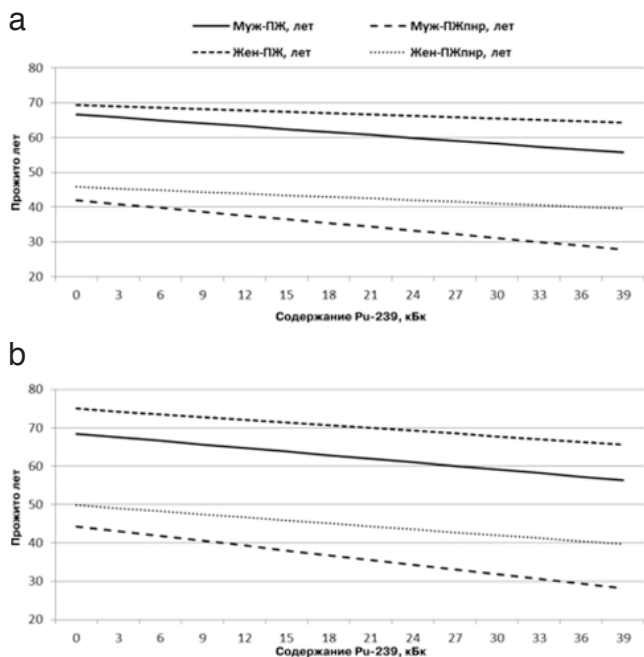


Рис. 1. Зависимость сокращения показателей продолжительности жизни от содержания плутония-239 у мужчин и женщин при опухолевых (а) и неопухолевых (б) причинах смерти
 Fig. 1. Dependence of the reduction in life expectancy on the content of plutonium-239 in men and women with tumor (a) and non-tumor (b) causes of death

теристиками ПЖ. При этом наблюдаемые сдвиги были более выраженными у мужчин по сравнению с женщинами (табл. 5).

Таким образом, в проведенном исследовании наряду со статичным подходом, при котором проводилась непосредственная оценка ПЖ, фиксирующая число прожитых лет, осуществлялся и потенциальный подход, то есть оценка доли лиц, не доживших до нормативного возрастного предела в целом, а также после начала работы. В результате проведенного исследования установлена достоверная зависимость сокращения ПЖ и ПЖпнр от инкорпорации плутония-239 у работников, в частности повышение доли лиц, не доживших до 65 (мужчины) и 70 (женщины) лет и не проживших 40 (мужчины) и 45 лет (женщины) после начала работы.

Таблица 5

Сравнительная анализ изменений показателей продолжительности жизни при разном содержании плутония-239 (кБк) у работников при опухолевых и неопухолевых причинах смерти
 Comparative analysis of changes in life expectancy at different levels of plutonium-239 (BCF) in workers with tumor and non-tumor causes of death

Группы	ПЖ, лет		Сокращение ПЖ, лет	ПЖпнр, лет		Сокращение ПЖпнр, лет
	0 кБк	39 кБк		0 кБк	39 кБк	
Опухолевые причины смерти						
Мужчины	66,6	55,7	10,9	41,5	27,9	13,6
Женщины	69,5	64,4	5,1	45,8	39,6	6,2
Неопухолевые причины смерти						
Мужчины	68,5	56,4	12,1	44,2	28,2	16,0
Женщины	75,0	65,6	9,4	49,8	39,7	10,1
Группы	Доля лиц, не доживших до нормативной ПЖ*		Повышение доли лиц	Доля лиц, не доживших до нормативной ПЖпнр*		Повышение доли лиц
	0 кБк	39 кБк		0 кБк	39 кБк	
Опухолевые причины смерти						
Мужчины	36,8 %	96,5 %	49,7 %	35,7 %	100 %	64,3 %
Женщины	45,1 %	70,9 %	25,8 %	38,5 %	70,8 %	32,3 %
Неопухолевые причины смерти						
Мужчины	30,7 %	74,8 %	44,1 %	26,4 %	95,4 %	69,0 %
Женщины	20,2 %	54,9 %	34,7 %	20,1 %	56,4 %	36,3 %

Примечание: * – Пояснения в тексте

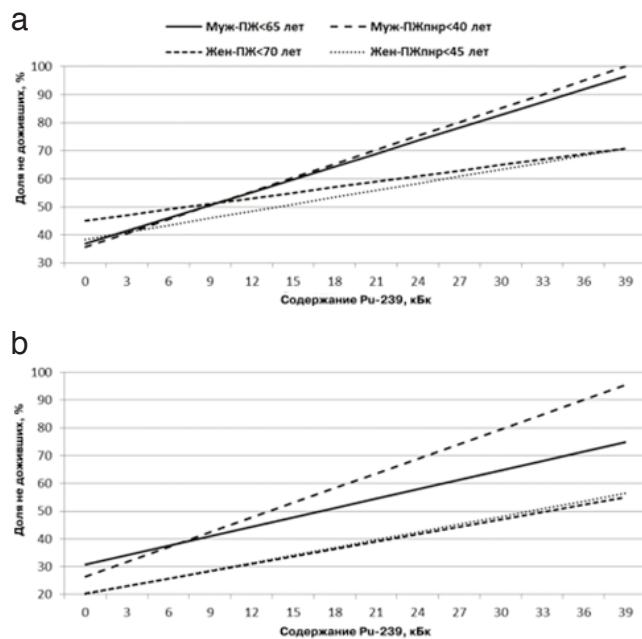


Рис. 2. Зависимость повышения доли работников, не доживших до 65 лет и не проживших 40 лет после начала работы у мужчин и соответственно до 70 и 45 лет у женщин от содержания плутония-239 при опухолевых (а) и неопухолевых (б) причинах смерти
 Fig. 2. Dependence of the increase in the proportion of workers who did not live to 65 years of age and did not live 40 years after starting work in men and, respectively, to 70 and 45 years in women on the content of plutonium-239 for tumor (a) and non-tumor (b) causes of death

При регрессионном анализе показано, что на 1 кБк инкорпорированного плутония-239 у мужчин ПЖ сокращается на 0,32 года, ПЖпнр – на 0,41 года, а у женщин – на 0,22 и 0,28 года соответственно. На 1 кБк инкорпорированного плутония-239 у мужчин доля не доживших до 65 лет и доля не проживших 40 лет после начала работы повышалась на 1,44 и 1,87 % соответственно. У женщин доля, не доживших до 70 лет и доля, не проживших 45 лет после начала работы, повышалась на 0,90 и 1,14 % соответственно. Эффект повышения доли мужчин и женщин, не проживших после начала работы 40 и 45 лет, был более выраженным, чем эффект повышения доли лиц, не доживших до 65 и 70 лет соответственно. Данный неблагоприятный эффект был выше у мужчин по сравнению с женщинами. Полученные результаты свидетельствуют о

гендерных различиях в показателях ПЖ и их изменениях у обследованной когорты работников ПО «Маяк» под влиянием инкорпорации плутония-239, что соответствует литературным представлениям [23].

Ранее было показано, что причиной сокращения ПЖ при инкорпорации плутония-239 является повышенная и преждевременная смертность как у мужчин, так и у женщин [21]. При этом повышенная смертность от опухолевых причин у мужчин и женщин наблюдалась, главным образом, при злокачественных новообразованиях легких и печени, являющихся основными органами депонирования плутония-239, а преждевременная смертность, то есть снижение возраста смерти, как у мужчин, так и у женщин наблюдалась при опухолевой и особенно при неопухолевой патологии основных и не основных органов депонирования. Однако в отличие от повышенной смертности, преждевременная смертность отмечалась при всех изученных причинах смерти в виде достоверного сдвига или тенденции.

Следует отметить, что в доступной литературе мы не нашли работ, в которых при анализе влияния неблагоприятных промышленных факторов на ПЖ у профессиональных контингентов использовался бы подход с оценкой ПЖ после начала работы. Полученные в настоящем исследовании данные свидетельствуют о большей эффективности такого подхода и, следовательно, о целесообразности его применения наряду с традиционным.

Выводы

1. У работников ПО «Маяк» в результате регрессионного анализа установлена достоверная линейная зависимость продолжительности жизни и продолжительности жизни после начала работы от уровня инкорпорации плутония-239. Зависимость продолжительности жизни после начала работы была выше, чем продолжительности жизни в целом.
2. Доля работников, не доживших до нормативного возраста после начала работы, была больше, чем доля работников, не доживших до общего нормативного возраста.
3. Более выраженная зависимость от инкорпорации плутония-239 показателей продолжительности жизни после начала работы по сравнению с показателями продолжительности жизни в целом объясняется тем, что именно в период после начала работы персоналом данного производства подвергался неблагоприятному воздействию плутония.
4. Зависимость сокращения продолжительности жизни от инкорпорации плутония-239 у мужчин была больше, чем у женщин.
5. Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности использования не только показатели общей продолжительности жизни, но и показатели продолжительности жизни после начала работы при оценке продолжительности жизни у работников, контактирующих с вредными факторами производства.

Analysis of Relation Between Lifetime Rates and Incorporation of Plutonium-239 in Atomic Production Workers Regarding Tumor and Non-Tumor Causes of Death

V.I. Tel'nov, I.V. Legkikh, P.V. Okatenko

Southern Urals Biophysics Institute, Ozyorsk, Chelyabinsk region, Russia.

Contact person: Vitaly Ivanovich Telnov, e-mail: tvi@subi.su

ABSTRACT

Purpose: The objective of the study was in quantitative assessment of the effect of internal exposure to lifetime in Mayak PA workers based on analyzing dependence of certain lifetime rates on incorporation of plutonium-239 regarding tumor and non-tumor causes of death.

Material and methods: The cohort of deceased Mayak PA workers employed in 1948–1958 with known Pu-239 body burden comprising 2343 individuals, of them 1739 males and 604 females, was investigated. Using regression analysis we have assessed dependence of general lifetime and lifetime after start of work as well as of proportion of individuals who did not survive until standard age in general and after start of work from incorporated Pu-239 separately for workers of different age regarding tumor and non-tumor causes of death. Statistical values were defined using Statistica software.

Results: It was stated that in case of increase of plutonium-239 body burden in males and females reliably increased shortening of lifetime and lifetime after start of work was observed as well as increased proportion of individuals who did not survive until standard lifetime rate and until standard lifetime after start of work. Reliable regression equations for dependence of the studied lifetime values from radionuclide incorporation rate were obtained based on regression analysis. Generally, changes in the studied characteristics of lifetime after start of work were more evident than in general lifetime characteristics.

Conclusion: Reliable dependence of shortening of lifetime and lifetime after start of work, of increased proportion of individuals who did not survive until standard lifetime and lifetime after start of work among Mayak PA workers of different gender from incorporation of plutonium-239 regarding tumor and non-tumor causes of death was stated. Dependence of lifetime after start of work on incorporated plutonium-239 was higher than of general lifetime that could be probably due to direct contact of workers with radionuclide after start of work. The results obtained indicate feasibility of using not only general lifetime but also lifetime after start of work in assessment of lifetime among workers who are in contact with production hazardous factors.

Key words: *Mayak PA workers, plutonium-239, tumor and non-tumor causes of death, lifetime rates, regression analysis*

For citation: Tel'nov VI, Legkikh IV, Okatenko PV. Analysis of Relation Between Lifetime Rates and Incorporation of Plutonium-239 in Atomic Production Workers Regarding Tumor and Non-Tumor Causes of Death. Medical Radiology and Radiation Safety. 2021;66(6): 57–62.

DOI: 10.12737/1024-6177-2021-66-6-57-62

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Участие авторов. Статья подготовлена одним автором.

Поступила: 17.07.2021. Принята к публикации: 05.09.2021.

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

Financing. The study had no sponsorship.

Contribution. The article was prepared by one author.

Article received: 17.07.2021. Accepted for publication: 05.09.2021

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- ICRP Publication 103: Recommendations of the ICRP / Ed. J. Valentin // *Annals of the ICRP*. Elsevier, 2007. 332 p.
- Ярмоненко С.П., Вайнсон А.А. Радиобиология человека и животных.: Учеб. Пособие. М.: Высшая школа, 2004. 549 с.
- Москалев Ю.И. Отдаленные последствия воздействия ионизирующих излучений. М.: Медицина, 1991. 464 с.
- Булдаков Л.А., Любчанский Э.Р., Москалев Ю.И., Нифатов А.П. Проблемы токсикологии плутония. М.: Атомиздат, 1969. 368 с.
- Калистратова В.С., Беляев И.К., Жорова Е.С., Парфенова И.М., Тищенко Г.С. Радиобиология инкорпорированных радионуклидов. Изд. 2-е / Под ред. Калистратовой В.С. М.: ФГБУ ГНЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2016. 556 с.
- Yoshinaga Sh., Mabuchi K., Sigurdson A.J., Doody M.M., Ron E. Cancer Risks Among Radiologists and Radiologic Technologists: Review of Epidemiologic Studies // *Radiology*. 2004. V.233, No. 2. P. 313–321.
- Cologne J.B., Preston D.L. Longevity of Atomic-Bomb Survivors // *Lancet*. 2000. V.356. P. 303–311.
- Mohan A.K., Hauptmann M., Freedman D.M., Ron E., Matanoski G.M., Lubin J.H., et al. Cancer and Other Causes of Mortality among Radiologic Technologists in the United States // *Int. J. Cancer*. 2003. V.103, No. 2. P. 259–267.
- Hauptmann M., Mohan A.K., Doody M.M., Linet M.S., Mabuchi K. Mortality from Diseases of the Circulatory System in Radiologic Technologists in the United States // *Am. J. Epidemiol.* 2003. V.157, No. 3. P. 239–248.
- Warren S. Longevity and Causes of Death from Irradiation in Physicians // *J. Am. Med. Assoc.* 1956. V.162, No. 5. P. 464–468.
- Berrington A., Darby S.C., Weiss H.A., Doll R. 100 years of Observation on British Radiologists: Mortality from Cancer and Other Causes 1897–1997 // *Br. J. Radiol.* 2001. V.74, No. 882. P. 507–519.
- Wang J.X., Inskip P.D., Boice J.D.Jr., Li B.X., Zhang J.Y., Fraumeni J.F.Jr. Cancer Incidence among Medical Diagnostic X-ray Workers in China, 1950 to 1985 // *Int. J. Cancer*. 1990. V.45, No. 5. P. 889–895.
- Shimizu Y., Kodama K., Nishi N., et al. Radiation Exposure and Circulatory Disease Risk: Hiroshima and Nagasaki Atomic Bomb Survivor Data, 1950–2003 // *BMJ*. 2010. V.340. P. b5349. doi: 10.1136/bmj.b5349.
- Little M.P., Tawn E.J., Tzoulaki I., et al. Review and Meta-Analysis of Epidemiological Associations Between Low/Moderate Doses of Ionizing Radiation and Circulatory Disease Risks, and Their Possible Mechanisms // *Radiat Environ. Biophys.* 2010. V.49, No. 2. P.139–153. doi: 10.1007/s00411-009-0250-z.
- Vrijheid M., Cardis E., Ashmore P., et al. Mortality from Diseases other than Cancer Following Low Doses of Ionizing Radiation: Results from the 15-Country Study of Nuclear Industry Workers // *International Journal of Epidemiology*. 2007. V.36. P. 1126–1135. doi:10.1093/ije/dym138.
- Polednak A.P., Stehney A.F., Rowland R.E. Mortality among Women First Employed Before 1930 in the U.S. Radium Dial-Painting Industry. A Group Ascertained from Employment Lists // *Am. J. Epidemiol.* 1978. V.107, No. 3. P. 179–195.
- Spieß H. Life-Span Study on Late Effects of 224Ra in Children and Adults // *Health Phys.* 2010. V.99, No. 3. P. 286–291. doi: 10.1097/HP.0b013e3181cb857f.
- Smith P.G., Doll R. Mortality among Patients with Ankylosing Spondylitis after a Single Treatment Course with X Rays // *BMJ*. 1982. V.284, No. 6314. P. 449–460.
- Сауров М.М., Гнеушева Г.И., Косенко М.М. Демографические исследования в радиационной гигиене / Под ред. члена-корр. АМН Л.А. Булдакова. М., 1987. 226 с.
- Яковлева В.П., Косенко М.М. Продолжительность жизни населения, подвергшегося хроническому радиационному воздействию // Медико-биологические и экологические последствия радиоактивного загрязнения реки Теча / Под ред. А.В. Аклеева, М.Ф. Киселева. Издание второе, исправленное и дополненное. М.: Издательство ГУП Вторая типография ФУ «Медбиоэкстрем», 2001. С. 298–304.
- Тельнов В.И. Плутоний и сокращение продолжительности жизни у профессиональных работников // Гигиена и санитария. 2015. Т.94, № 3. С. 56–60.
- Тельнов В.И., Третьяков Ф.Д., Окатенко П.В. Инкорпорация плутония-239 и сокращение продолжительности жизни у работников ПО «Маяк» при опухолевых и неопухолевых причинах смерти // *Мед. Радиол. и радиац. безопасность*. 2017. Т.62, № 2. С. 28–34.
- Гаврилов Л.А., Гаврилова Н.С. Биология продолжительности жизни. 2-е изд. М.: Наука, 1991. 280 с.
- Human Mortality Database. Электронный ресурс: <http://www.mortality.org>
- Демографический ежегодник России. 2017: Стат. сб. / Росстат. М., 2017. 263 с.
- Тельнов В.И., Третьяков Ф.Д. Медико-демографические аспекты здоровья населения моногорода атомной промышленности Озерска // *Здоровье населения промышленных моногородов: программа и материалы междисциплинарной конференции с международным участием. 24–25 апреля 2014 г. Челябинск*, 2014. С. 104–120.
- Практическая демография / Под ред. Рыбаковского Л.Л. М.: ЦСП, 2005. 280 с.

REFERENCES

- Ed. Valentin J. ICRP Publication 103: Recommendations of the ICRP. *Annals of the ICRP*. Elsevier, 2007. 332 p.
- Yarmonenko SP, Vaynson AA. Human and Animal Radiobiology.: Study Guide. Moscow, Vys'shaya Shkola Publ., 2004. 549 p. (In Russian).
- Moskalev YI. Late Effects of Ionizing Radiation Exposure. Moscow, Meditsina Publ., 1991. 464 p. (In Russian).
- Buldaikov LA, Lyubchanskiy ER, Moskalev YI, Nifatov AP. Aspects of Plutonium Toxicology. Moscow, Atomizdat Publ., 1969. 368 p. (In Russian).
- Kalistratova VS, Belyaev IK, Zhorova ES, Parfenova IM, Tishchenko GS. Radiobiology of Incorporated Radionuclides. 2nd Edition. Ed. Kalistratova V.S. Moscow, A.I. Burnazyan FMBC Publ., 2016. 556 p. (In Russian).
- Yoshinaga Sh., Mabuchi K., Sigurdson AJ, Doody MM, Ron E. Cancer Risks Among Radiologists and Radiologic Technologists: Review of Epidemiologic Studies *Radiology*. 2004;233;2:313–321.
- Cologne JB, Preston DL. Longevity of Atomic-Bomb Survivors. *Lancet*. 2000;356:303–311.
- Mohan AK, Hauptmann M, Freedman DM, Ron E, Matanoski GM, Lubin JH et al. Cancer and Other Causes of Mortality among Radiologic Technologists in the United States. *Int. J. Cancer*. 2003;103;2:259–267.
- Hauptmann M, Mohan AK, Doody MM, Linet MS, Mabuchi K. Mortality from Diseases of the Circulatory System in Radiologic Technologists in the United States. *Am. J. Epidemiol.* 2003;157;3:239–248.
- Warren S. Longevity and Causes of Death from Irradiation in Physicians. *J. Am. Med. Assoc.* 1956;162;5:464–468.
- Berrington A, Darby SC, Weiss HA, Doll R. 100 years of Observation on British Radiologists: Mortality from Cancer and Other Causes 1897–1997. *Br. J. Radiol.* 2001;74;882:507–519.
- Wang JX, Inskip PD, Boice JD Jr, Li BX, Zhang JY, Fraumeni JF Jr. Cancer Incidence among Medical Diagnostic X-ray Workers in China, 1950 to 1985. *Int. J. Cancer*. 1990;45;5:889–895.
- Shimizu Y, Kodama K, Nishi N., et al. Radiation Exposure and Circulatory Disease Risk: Hiroshima and Nagasaki Atomic Bomb Survivor Data, 1950–2003. *BMJ*. 2010;340:b5349. doi: 10.1136/bmj.b5349.
- Little MP, Tawn EJ, Tzoulaki I., et al. Review and Meta-Analysis of Epidemiological Associations Between Low/Moderate Doses of Ionizing Radiation and Circulatory Disease Risks, and Their Possible Mechanisms. *Radiat Environ. Biophys.* 2010;49;2:139–153. doi: 10.1007/s00411-009-0250-z.
- Vrijheid M, Cardis E, Ashmore P, et al. Mortality from Diseases other than Cancer Following Low Doses of Ionizing Radiation: Results from the 15-Country Study of Nuclear Industry Workers. *International Journal of Epidemiology*. 2007;36:1126–1135. doi:10.1093/ije/dym138.
- Polednak AP, Stehney AF, Rowland RE. Mortality among Women First Employed Before 1930 in the U.S. Radium Dial-Painting Industry. A Group Ascertained from Employment Lists. *Am. J. Epidemiol.* 1978;107;3:179–195.
- Spieß H. Life-Span Study on Late Effects of 224Ra in Children and Adults. *Health Phys.* 2010;99;3:286–291. doi: 10.1097/HP.0b013e3181cb857f.
- Smith PG, Doll R. Mortality among Patients with Ankylosing Spondylitis after a Single Treatment Course with X Rays. *BMJ*. 1982;284;6314:449–460.
- Saurov MM, Gneusheva GI, Kosenko MM. Demographic Studies in Radiation Hygiene. Ed. Buldaikov L.A. Moscow Publ., 1987. 226 p. (In Russian).
- Yakovleva VP, Kosenko MM. Lifetime in Population Subject to Chronic Radiation Exposure. Medical-Biological and Ecological Consequences of Radioactive Contamination of Techa River. Ed. Akleev A.V., Kiselev M.F. 2nd Edition, Revised and Updated. Moscow Publ., 2001. P. 298–304. (In Russian).
- Tel'nov VI. Plutonium and Lifetime Shortening in Professional Workers. *Hygiene and Sanitary*. 2015;94;3:56–60. (In Russian).
- Tel'nov VI, Tretyakov FD, Okatenko PV. Plutonium-239 Incorporation and Lifetime Shortening in Mayak PA Workers Regarding Tumor and Non-Tumor Causes of Death. *Medical Radiology and Radiation Safety*. 2017;62;2:28–34. (In Russian).
- Gavrilov LA, Gavrilova NS. Lifetime Biology. 2nd edition. Moscow, Nauka Publ., 1991. 280 p. (In Russian).
- Human Mortality Database. Electronic Source: <http://www.mortality.org>.
- Russian Demographic Annals. 2017: Statistical Digest. Rosstat. Moscow Publ., 2017. 263 p. (In Russian).
- Tel'nov VI, Tretyakov FD. Medical and Demographic Aspects of Public Health in Population of the Atomic Production Monocity Ozersk. Public Health in Industrial Monocities: Program and Material of the Inter-Disciplinary Conference with International Participation. April 24–25, 2014. Chelyabinsk Publ., 2014. P. 104–120. (In Russian).
- Ed. Rybakovskiy LL. Practical Demography Moscow TsSP Publ., 2005. 280 p. (In Russian).