

ОЦЕНКА ДОЗ ОБЛУЧЕНИЯ ХРУСТАЛИКА ГЛАЗА И КОЖИ ПЕРСОНАЛА В СОВРЕМЕННЫХ МЕДИЦИНСКИХ ТЕХНОЛОГИЯХ

¹ Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва

² Российская медицинская академия непрерывного последипломного образования Минздрава России, Москва

Контактное лицо: Охрименко Сергей Евгеньевич: ooniii@mail.ru

РЕФЕРАТ

Актуальность: Широкое распространение радиационных технологий в медицине ставит в повестку дня ряд новых вопросов в области обеспечения радиационной безопасности персонала. Это относится к современным методикам диагностики и лечения с применением рентгеновской техники и радиофармпрепаратов (РФП) в условиях воздействия на персонал рассеянного излучения низкой интенсивности. Применяемые средства индивидуальной защиты не обеспечивают защиту хрусталика глаза и облучаемых участков кожи.

Цель: Оценка доз облучения хрусталика глаза и кожи в современных медицинских технологиях персонала, осуществляющего работу в поле рассеянного ионизирующего излучения низкой интенсивности и непосредственном контакте с радионуклидными источниками.

Материал и методы: Использованы ТЛД-детекторы для оценки доз в хрусталике глаза $H_p(3)$ и коже пальцев рук $H_p(0,07)$. Привлечены данные зарубежных исследований.

Результаты: В условиях существенного снижения пределов эквивалентных доз на хрусталик глаза до 20 мЗв оценка уровней облучения последнего, на основе сведений по эффективной дозе, становится невозможной. Отмечаются факты поражения хрусталика при этих уровнях облучения. Дана оценка существующих уровней облучения хрусталика по целому ряду медицинских технологий. Показано, что существующие уровни облучения могут значительно превышать 20 мЗв в год для хрусталика (до 0,2 мЗв за операцию) и до 200 мЗв в год для кожи рук при работе с ^{18}F . Не исключён стохастический характер повреждений хрусталика. Приведены данные по уровням облучения кожи в рентгенохирургических технологиях и при использовании РФП на основе ^{18}F . Рассмотрены новые подходы к нормированию деятельности с радиационными источниками на основе оценки рабочей нагрузки.

Заключение: Материалы исследований подтверждают актуальность проблемы облучения хрусталика глаза и кожи персонала, работающего в поле рассеянного ионизирующего излучения низкой интенсивности. Наряду с оценками эквивалентных доз указанных органов, необходимо проведение эпидемиологических исследований для оценки и разработки адекватных мер радиационной защиты хрусталика глаза и облучаемых отделов кожи (руки).

Ключевые слова: хрусталик глаза, кожа, эффективная доза, эквивалентная доза, фтор-18, рентгеновское излучение, катаракта, персонал

Для цитирования: Охрименко С.Е., Коренков И.П., Шандала Н.К., Семенова М.П., Рыжкин С.А., Ермолина Е.П., Аكوпова Н.А. Оценка доз облучения хрусталика глаза и кожи персонала в современных медицинских технологиях // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2022. Т. 67. № 1. С. 54–59. DOI: 10.12737/1024-6177-2022-67-1-54-59

Dose Assessment to the Lens of the Eye and Skin of the Personnel in Advanced Medical Technologies

Korenkov I.P.¹, Okhrimenko S.E.^{1,2}, Shandala N.K.¹, Semenova M.P.¹, Ryzhkin S.A.², Ermolina E.P.², Akopova N.A.²

¹A.I. Burnasyan Federal Medical Biophysical Center, Moscow, Russia

²Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russia

Contact person: Okhrimenko Sergey Evgenevich: : ooniii@mail.ru

ABSTRACT

Background: The widespread use of radiation technologies in medicine puts some new issues on the agenda in the field of radiation safety and protection of the personnel. This primarily relates to the advanced methods of diagnosis and treatment with the use of X-ray technology and radiopharmaceuticals (RPhP) under conditions of occupational exposure to low-intensity scattered radiation. The applied personal protective equipment reliably assures that the effective dose is not exceeded, but does not ensure compliance with the standards for the lens of the eye and the irradiated areas of the skin.

Purpose: This study is to evaluate, in the advanced medical technologies, the doses to the lens of the eye and skin of the personnel working in a low-intensity radiation field and in direct contact with radioactive sources.

Materials and methods: To evaluate the doses, TLD detectors were used for the purpose of dose assessment to the lens of the eye $H_p(3)$ and the skin of the fingers $H_p(0,07)$. The data of international studies are involved.

Results: In conditions of a significant reduction in the limits of equivalent doses to the lens of the eye, up to 20 mSv the assessment of the radiation levels of the latter, based on data on the effective dose, becomes impossible. In addition, there are facts of damage to the lens of the eye at much lower levels of radiation than previously thought. The paper evaluates the existing exposure to the lens of the eye for some medical technologies, both according to the published data and according to the results of our own research. It is shown that the existing radiation levels can significantly exceed 20 mSv per year (up to 0.2 mSv per operation) and it is impossible to exclude the stochastic nature of lens damage. Data on the levels of skin irradiation in X-ray surgical technologies and when using RPhP based on ^{18}F (up to 200 mSv per year for finger biting) are also provided. New approaches to rationing activities with radiation sources are considered based on the assessment of the workload: the number of manipulations, the activity used.

Conclusion: The research data confirm the relevance of the problem of exposure to the lens of the eye and the skin of the personnel working in the field of scattered radiation of low intensity. Along with the assessment of the equivalent doses to these organs, epidemiological studies should be conducted for the purpose of assessment and development of adequate radiation protection measures for the lens of the eye and the irradiated parts of the skin (hands)

Keywords: lens of the eye, skin, effective dose, equivalent dose, ^{18}F , X-ray radiation, cataract, personnel

For citation: Okhrimenko SE, Korenkov IP, Shandala NK, Semenova MP, Ryzhkin SA, Ermolina EP, Akopova NA. Dose Assessment to the Lens of the Eye and Skin of the Personnel in Advanced Medical Technologies // Medical Radiology and Radiation Safety. 2022;67(1):39-44. DOI: 10.12737/1024-6177-2022-67-1-54-59

Введение

По данным формы государственной статистической отчетности 1-ДОЗ, эффективные дозы облучения персонала во всех отраслях деятельности не превысили гигиенических нормативов – предела дозы 20 мЗв за год, установленных Нормами радиационной безопасности (НРБ-99/2009). По данным [1] средняя эффективная доза медицинского персонала составляет приблизительно 1 мЗв/год. Между тем, в рекомендациях МКРЗ от 2007 г. отмечено, что к наиболее радиочувствительным тканям относятся хрусталик глаза, который может быть более радиочувствительным, чем это считалось ранее.

В группах лиц, выживших после атомных бомбардировок, у детей, проходивших лучевую терапию, имеются доказательства избыточного выхода катаракты при несколько более низких дозах, чем считалось ранее [2]. По материалам наблюдения за работниками ПО «Маяк» за 50 лет установлено, что из общего числа лиц (2100 человек) с профессиональными заболеваниями: ОЛБ, ХЛБ, ППС (плутониевый пневмосклероз) диагностировано: ХЛБ – 77 %, ППС – 5,9 %, лучевые ожоги – 10 %, ОЛБ – 2 %, лучевая катаракта < 0,19 % [3]. Отмечена необходимость контроля индивидуальных эквивалентных доз в хрусталике глаза в производственных условиях на предприятиях атомного судостроения и судоремонта [4]. В когорте работников ПО «Маяк», впервые нанятых на один из основных заводов (реакторы, радиохимический и плутониевый заводы) в период 1948–1982 гг., и подвергшихся профессиональному пролонгированному облучению, выявлена статистически значимая линейная зависимость заболеваемости старческой катарактой от суммарной дозы внешнего гамма-облучения. ИОР/Гр внешнего гамма-облучения для заболеваемости старческой катарактой составил 0,28 (95 % ДИ: 0,20–0,37) с учетом пола, достигнутого возраста, возраста на момент найма на предприятие и периода рождения. Введение поправки на дозу нейтронного облучения значительно увеличивало риск на единицу дозы внешнего гамма-облучения для заболеваемости катарактой (ИОР/Гр = 0,31 при 95 % ДИ: 0,22, 0,40) [5].

Дальнейшие исследования показали повышенный риск заболеваемости катарактой всех типов (задней субкапсулярной (ЗСК), кортикальной и ядерной) в когорте работников, подвергшихся хроническому облучению. Избыточный относительный риск на единицу дозы внешнего облучения (ИОР/Зв) составил 0,91 (95 % ДИ: 0,67–1,20) для ЗСК–63 (95 % ДИ: 0,49–0,76) для кортикальной катаракты и 0,47 (95 % ДИ: 0,35–0,60) для ядерной катаракты. Повышенный риск заболеваемости катарактой всех типов был обнаружен как у мужчин, так и у женщин изучаемой когорты, но ИОР/Зв у женщин был существенно выше [6]. Анализ заболеваемости разными формами катаракты в отдаленном периоде у населения, облученного в результате радиационных аварий на Южном Урале, показал статистически значимое влияние дозы облучения на появление помутнений в задней капсуле и ядре хрусталика [7].

Материал и методы.

В работе проанализированы результаты исследований доз облучения хрусталика глаза и кожи в медицинских технологиях, при воздействии рентгеновского излучения и γ -излучения радиофармпрепаратов (РФП). Для оценки эквивалентных доз облучения кожи и хрусталик глаза применялись дозиметры индивидуального эквивалента дозы $H_r(0,07)$ и $H_r(3)$, соответственно, с чувствительным элементом (детектором) ТЛД-1011(Т) (Производства НТЦ «Практика»). Данные детекторы представляют собой слой поликристаллического термолуминофора LiF(Cu, Mg, P), с массовой толщиной $5,0 \pm 0,1$ мг/см², нанесенный на алюминиевую подложку ($21,0 \pm 0,1$ мг/см²). Диапазон измерений 30 мкЗв –

12 Зв для энергий атомов 0,005 – 10 МэВ. Общая погрешность измерения с доверительной вероятностью 0,95 не хуже ± 10 %. При проведении измерений проводилась индивидуальная калибровка детекторов. Для калибровки использован источник гамма-излучения Cs-137 ($E_\gamma = 661$ кэВ) тип Ц2-5. Измерения детекторов проводились на термолуминесцентном анализаторе «Harshaw» TLD system 4000; Thermo Scientific Ltd «Лаборатории радиационного контроля» кафедры радиохимии МГУ им. М. В. Ломоносова.

Результаты и обсуждение

Вопрос облучения хрусталика глаза становится всё более актуальным при использовании медицинских источников в диагностических и терапевтических целях. Количество диагностических рентгенорадиологических исследований в России выросло на 35% за последние 10 лет, включая интервенционные технологии [1]. Вопрос применения интервенционных технологий подробно обсуждается в научной литературе. Рассматривались условия применения лучевых технологий, механизмы формирования доз облучения хрусталика глаза, оценка катарактогенного потенциала и эффективность защитных приемов [8]. Международные организации также в своих публикациях уже давно отмечали более высокую чувствительность хрусталика, нежели считалось ранее. Указывалось на возможность помутнения хрусталика глаза при гораздо более низких дозах, чем считалось ранее. Допускается возможность квалификации радиационной катаракты как стохастического эффекта, что стало основой изменения предела для эквивалентной дозы в хрусталике глаза – 20 мЗв за год и оптимизации радиационной защиты персонала с учетом принципа ALARA [9–15]. В первых отечественных обзорах по проблеме облучения хрусталика при интервенционных медицинских процедурах отмечена роль слабопроникающего излучения, создающего максимальные дозы в чувствительном слое кожи и в хрусталике глаза, (бета-частицы или фотоны с энергией менее 15 кэВ) [16]. Уровни эквивалентных доз хрусталика в интервенционных процедурах приведены в табл. 1.

Таблица 1

Примеры величин эквивалентных доз в хрусталике глаза за одну процедуру при различных интервенционных технологиях [16]
Examples of equivalent doses in the lens of the eye in one procedure with various interventional technologies [16]

Процедуры	мЗв	Примечание
Печёночная химиоэмболизация	0,27–2,14/ 0,016 – 0,064	без защиты/защита
Подвздошная ангиопластика	0,25–2,22/ 0,015–0,066	–»–
Нейромобилизация (голова, позвоночник)	1,38–11,2/ 0,083–0,329	–»–
Лёгочная ангиография	0,19–1,49/ 0,011–0,045	–»–
Черезшейное внутривенное портосистемное шунтирование	0,41–3,72/ 0,025–0,112	–»–
Церебральная ангиография	0,014	Защита
Коронарная ангиография и чрезкожная транслюминальная ангиопластика	0,013	Экран
Коронарная ангиография и чрезкожная транслюминальная ангиопластика	0,294	б/защиты
ЕVAR	0,010	б/защиты
Урология	0,026	б/защиты
Ортопедия	0,050	б/защиты
Гистеросальпингография	0,22	
Эндоскопическая ретроградная холангиопанкреография	0,094 – 0,34	Трубка под столом
Эндоскопическая ретроградная холангиопанкреография	2,8	Трубка под столом

Таблица 2

Величины органичных и эффективных доз при ангиографических исследованиях по данным разных авторов^{1,2}.
The values of organ and effective doses in angiographic studies according to different authors^{1,2}

Вид исследования	Персонал	Эквивалентные дозы облучения отдельных органов и тканей, мкЗв/процедура							
		Хруст.	ЩЖ	ГМ	АКМ	Лёг.	л/рука	п/рука	Е эфф. мЗв/год
Диагностика	Ангиолог	70	90	90	90	90	240	240	18
	Медсестра	128	31	31	31	31	100	100	14
Лечение	Ангиолог	51	41	41	41	41	500	500	18
	Медсестра	32	14	14	14	14	58	58	19
Катетеризация	Ангиолог	650/68*	620/54*	–	–	–	190	360	–
Ангиопластика	Ангиолог	–	–	–	–	–	420	220	–

Примечание: * – с применением защиты

¹ Mc B. J. Parland A Survey of Radiation Exposure Received by the Staff at Two Cardiac Catherization Laboratories

Mc B. J. Parland, J. Nosil, B. Barry//Br. J. Radiol. – 1990. - №63. – P. 885-888.

² Padovani, R. Optimisation in Coronary Angioplasty/R. Padovani, C. Rodella, G. Bernard//Radiation Protection Dosimetry.-1998.-V.80.1-3.-P.-303-306

Как видно отмечается большой разброс значений эквивалентных доз за операцию, при различных процедурах и условиях их проведения.

В работах отечественных специалистов проанализированы результаты индивидуального дозиметрического контроля персонала рентгенохирургических бригад ряда клинических больниц г. Санкт-Петербурга, а также возможность оценки уровней облучения хрусталика на основе сопоставления значений индивидуальных эквивалентных дозы $H_r(3)$ и $H_r(10)$. Вероятность превышения 20 мЗв составила менее 1 %. Но поскольку сотрудники рентгенохирургических бригад – наиболее облучаемая группа в медицине, можно предполагать, что число превышений может достигать 10 % случаев. Отмечено, что эти результаты существенно отличаются от аналогичных результатов, полученных в рамках Европейского проекта ORAMED (Optimization of Radiation Protection of Medical Staff) [17, 18]. В рамках проекта ORAMED проведено исследование доз облучения хрусталика глаза у интервенционных специалистов в 34 европейских больницах. У 7 из 15 операторов при ангиографии сердца и ангиопластики сосудов годовая доза облучения хрусталика глаза превысила 20 мЗв. Согласно Европейской директиве, такой персонал подлежит индивидуальному дозиметрическому контролю [19–21]. Подробные данные по дозам за процедуру приведены в отечественном обзоре [22] (табл. 2 и 3).

Различия в уровнях доз связаны различиями в продолжительности операций, частоте и длительности использования рентгеновского излучения, что затрудняет оценку технологии. По данным [23], эквивалентные дозы облучения хрусталика глаза (11 врачей и 15 медицинских сестёр) при рентгеноэндоваскулярной диагностике и лечении, составили от 2 до 16,92 мЗв за квартал. Приведено описание клинического обследования врача-ангиографа (возраст – 34 года, годовая эквивалентная доза на хрусталик – 18,7 мЗв), в котором выявлено поражение конъюнктивы, синдром «сухого» глаза, деструкция стекловидного тела и уплотнение ядра хрусталика глаза.

Первые оценки эквивалентных доз хрусталика глаза у персонала медицинских учреждений г. Москвы проведены авторами совместно с лабораторией радиационного контроля кафедры радиохимии Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. Обследованы врачи, средний персонал кардиоваскулярной хирургии, средний медицинский персонал радиоизотопной лаборатории (работа с ^{99m}Tc), врачи-стоматологи, работающие с применением рентгеновского аппарата. Результаты представлены в табл. 4.

Экспонирование индивидуальных дозиметров осуществлялось в течение месяца, результаты пересчитывались на годовую дозу. Наибольшие значения зафиксированы у врачей-ангиографистов, существенные дозы отмечены у врачей – эндоскопистов.

Измерение доз за отдельные периоды не всегда является удачным вариантом для оценки радиационного воздействия. В дальнейших исследованиях оценивалась усреднённая дозовая нагрузка за одну операцию. Операции делятся на диагностические и лечебные. Диагностические операции длятся, в среднем, 20 – 30 мин, а время облучения может составить 3 – 7 мин. Терапевтические операции (стентирование коронарных сосудов и др.), зависят от сложности операции и длятся часами. Так, при длительности операции 2,5 часа время воздействия излучения составило 28 мин. Нами проведена оценка средних эквивалентных доз облучения хрусталика за одну операцию врачей-ангиографистов, врачей эндоскопистов, среднего медицинского персонала ангиографии и эндо-

Таблица 3

Эквивалентные дозы на хрусталик глаза и руки врачей при выполнении ангиографических исследований¹⁻⁵
Equivalent doses to the lens of the eye and hands of doctors when performing angiographic studies¹⁻⁵

Эквивалентная доза за исследование, мкЗв		
Хрусталик	Руки	Источники
364	364	1
67 - 75	300 - 545	2
23 - 88	-	3
400	680	4
47	1100	5

Примечание:

¹Mc B. J. Parland A Survey of Radiation Exposure Received by the Staff at Two Cardiac Catherization Laboratories Mc B. J. Parland, J. Nosil, B. Barry//Br. J. Radiol. – 1990. - №63. – P. 885-888.

²Steffanino, G. Short communication: Staff Dose Reduction during Coronary Angiography using low Framing Speed/ G. Staffenino, V. Rossetti, F. Rubichini and al//Br. J. Radiol.-1996/-V/69 №825. – P. 860-864.

³Li, I. B. occupational Exposure in Pediatric cardiac Cauterization/I. L. Li, m. Kai, K. Takano at al// Health Phys. – 1995/ - V. 69(2). – P. 261-264

⁴Medeiros, R. D. Evolution of X-ray Exposure Dosage during Coronary Cineangiography// Arg. Bras. Cardiol. – 1990. – V.55(1). – P. 31-33

⁵Karppinen, J Risk and Exposure of Radiologists and patients during Coronary Angiography and percutaneous Transluminal Coronary Angioplasty/J. Karppinen, T. Parvianen, A. Servomaa at al//Radiation Protection Dosimetry. – 1995. – V.57(1-4)/ - 481-485

Таблица 4

Результаты измерений $H_r(3)$ и оценке годовой эквивалентной дозы облучения хрусталика глаза у медицинских работников разных специальностей [24]*

The results of measurements of $H_r(3)$ and the assessment of the annual equivalent dose of irradiation of the lens of the eye in medical workers of different specialties [24]*

Специальность	$H_r(3)$, мЗв	H годовая, мЗв
Средний мед. персонал (работа с РФП)	0,37 – 0,40	4,4 – 4,8
Врач-ангиографист	0,31 – 2,20	3,7 – 26
Средний медицинский персонал (ангиография)	0,15 – 0,42	1,8 – 5
Врач-уролог	0,72	8 – 9
Стоматолог	0,13 – 0,18	1,6 – 0,18

Примечание: * – материалы представлены в Expert Group on the Dose Limit for the Lens of the Eye (EGDLE) of the OECD Nuclear Energy Agency (NEA)'s Committee on Radiological Protection and Public Health (CRPPH) Survey for Regulatory Bodies

Таблица 5

Оценка средней эквивалентной дозы хрусталика глаза на одну операцию при проведении диагностических и терапевтических кардиоваскулярных и эндоскопических процедур*
Assessment of the average equivalent dose of the lens of the eye per operation during diagnostic and therapeutic cardiovascular and endoscopic procedures*

Вид работ	Доза за период экспозиции	Эквивалентная доза в хрусталике на одну операцию	Максимально возможное количество операций при $H=20\text{мЗв}$	Среднее количество операций в год
Кардиохирургия (м/с-1)	12,6	0,41	50	400 – 500
Кардиохирургия (врач-хирург-1)	1,28	0,1	200	305-400
Кардиохирургия (врач-хирург-2)	1,69	0,085	235	400-450
Кардиохирургия (врач-хирург-3)	1,05	0,2	100	400-450
Кардиохирургия (врач-хирург-4)	5,7/1,0**	0,09/0,015**	222/1333**	800
Кардиохирургия (м/с-2)	3,9/1,0**	0,035/0,015**	222/1333**	600
Эндоскопия (врач)	2,82	0,05	400	360-380
Эндоскопия (м/с)	2,79	0,05	400	360-380

Примечание:

* – материалы представлены в Expert Group on the Dose Limit for the Lens of the Eye (EGDLE) of the OECD Nuclear Energy Agency (NEA)'s Committee on Radiological Protection and Public Health (CRPPH) Survey for Regulatory Bodies

** – под защитным широким щитком 0,1 мм Pb

Таблица 6

Дозы облучения хрусталика глаза персонала диагностической лаборатории ПЭТ-центра в зависимости от активности РФП и количества пациентов [25]
Radiation doses of the lens of the eye of the staff of the diagnostic laboratory of the PET center, depending on the activity of RPhP and the number of patients [25]

Сотрудники	Операции	A ГБк	Количество пациентов	H_{lens} мЗв $H_{\text{P}}(3)$	E мЗв $H_{\text{P}}(10)$
A	м/с, введение преобладает над фасовкой	109,2	283	0,63	0,53
B	фасовщик, фасовка преобладает над введением	124,5	324	0,67	0,52
C	р/лаборант ПЭТ КТ, сканирование	135,2	354	0,8	0,81

Таблица 7

Расчётные годовые эквивалентные дозы на хрусталик глаза персонала изотопной лаборатории ПЭТ-центра [25]
Estimated annual equivalent doses to the lens of the eye of the personnel of the isotope laboratory of the PET center [25]

Персонал	Рабочая функция	E, мЗв за год
A	введение $\approx 60\%$, фасовка 40%	6,9
B	фасовка $\approx 60\%$, введение 40%	7,4
C	рентгенолаборант ПЭТ КТ	8,8

Таблица 8

Расчётные годовые дозы на хрусталик в производстве РФП [22]
Estimated annual doses per lens in RPhP production [22]

	Годовые значения индивидуального эквивалента дозы $H_{\text{P}}(3)$ [мЗв]					
	Хрусталик правого глаза			Хрусталик левого глаза		
	$H_{\text{сред}}$	$H_{\text{макс}}$	$H_{\text{мин}}$	$H_{\text{сред}}$	$H_{\text{макс}}$	$H_{\text{мин}}$
Контроль качества ^{18}F -ФДГ	6.5	61	4	8	53	4
Получение ^{18}F -ФДГ	5	12	4	5	14	4
Операторы циклотрона	4	12	4	4	15	4
Фасовка ^{18}F -ФДГ	4	14	4	4	9	4
Инъекция ^{18}F -ФДГ	5	52	5	7	20	5

скопии, а также среднего медицинского персонала ПЭТ-центра, работающего с препаратами на основе ^{18}F . Вопрос об особенностях временных затрат (рабочей нагрузки) персонала, работающего с ^{18}F подробно описан в [25]. Результаты оценки персонала приведены в табл. 5.

Можно видеть, что при применении предела дозы в 20 мЗв безопасная квота будет выбрана уже, примерно, через 50 % общего количества операций, а в отдельных случаях (м/с кардиохирургии) - уже после 10 % годовой рабочей нагрузки, а предел дозы может быть превышен от 2-х до 4-х раз и составить 40 – 80 мЗв за год, что согласуется с [23]. Получена оценка доз облучения хрусталика глаза сотрудников ПЭТ-центра (средний медицинский персонал: фасовки РФП, введения активности, сканирование на ПЭТ/КТ) (табл. 6).

Наибольшая доза облучения хрусталика, с учётом рабочей нагрузки (активность РФП и количество пациентов), зарегистрирована у рентгенолаборанта ПЭТ/КТ, что объясняется его контактом со всей активностью, в то время как медицинская сестра и фасовщик «делят» эту активность «на двоих». Обращает на себя внимание практически равнозначные величины доз $H_{\text{P}}(10)$ и $H_{\text{P}}(3)$ и равенство их пределов доз, относительно которых проводилась оценка, – 20 мЗв. Предварительные расчётные оценки годовых эквивалентных доз облучения хрусталика глаза сотрудников, приведённые к 11 рабочим месяцам, дали следующие результаты (табл. 7).

Полученные усреднённые данные по годовой нагрузке, приведенные в таблице 8, хорошо согласуются с [26]. Полученные величины эквивалентных доз не превышают 20 мЗв, но составляют существенную долю от рекомендованного предела дозы.

Опыт и наблюдение за работой персонала указывают на существенное влияние «рабочего поведения» персонала на дозу облучения. Но, так или иначе, – ключевым фактором дозообразования является время облучения или «рабочая нагрузка», которая может быть выражено: общим временем работы, временем контакта с источниками, количеством операций, а в конечном итоге – количеством пациентов, учёт которого достаточно прост.

В рамках исследования предприняты первые шаги по оценке доз облучения кожи у персонала, осуществляющего работу (манипулирование) в поле рентгеновского излучения и при работе с РФП (табл. 9, 10).

Предварительные расчётные оценки годовых эквивалентных доз облучения сотрудников ПЭТ/центра, приведённые к 11 рабочим месяцам, дали следующие результаты, которые представлены в табл. 10.

Результаты аналогичных исследований представлены в табл. 11.

Полученные результаты хорошо согласуются между собой, подтверждая значение рабочей нагрузки в формировании доз облучения кожи рук операторов.

Таблица 9

Примерная оценка годовых эквивалентных доз кожи рук врачей-ангиохирургов, врачей-эндоскопистов и среднего медицинского персонала эндоскопии, мЗв
Approximate assessment of the annual equivalent doses of the skin of the hands of angiologists, endoscopists and nursing staff of endoscopy, mSv

Персонал	H_{skin} за экспозицию	Количество операций	Количество операций в год	H_{skin} год/расчётная
м/с ангиография	1,2	31	400 – 500	20
врач-кардиолог-1	0,7	13	300-400	22
врач-кардиолог-2	4,5	20	400-450	90
врач-кардиолог-3	1,1	5	400-450	90
врач-эндоскопия	1,0	58	800	14
м/с-эндоскопия	6,0	58	600	62

Таблица 10

Расчётные годовые эквивалентные дозы кожи, $H_{\text{F}}(0,07)$ пальцев рук (средний палец), сотрудников изотопной лаборатории ПЭТ-центра, мЗв [25]
Estimated annual equivalent doses of skin, $H_{\text{F}}(0,07)$ of fingers (middle finger), employees of the isotope laboratory of the PET center, mSv [25]

Персонал	Рабочая функция	H , мЗв за год
А	введение $\approx 60\%$, фасовка 40%	220
В	фасовка $\approx 60\%$, введение 40%	132
С	рентгенолаборант ПЭТ КТ	24

Таблица 11

Максимальное расчётное (приблизительное) годовое значение $H_{\text{F}}(0,07)$ для персонала, работающего в лабораториях ПЭТ-центра с различной рабочей нагрузкой на персонал, мЗв [27]
The maximum calculated (approximate) annual $H_{\text{F}}(0,07)$ for personnel working in PET center laboratories with different workloads on staff, mSv [27]

Профессиональные группы (подразделения ПЭТ центров различной специализации: «для себя» и «для внешних потребителей»)	Максимальное приблизительное годовое значение $H_{\text{F}}(0,07)$, мЗв
Физики/РПЦ I	11
Радиохимики/РПЦ I	445
Физики/РПЦ II	3
Радиохимики/РПЦ II	512
Медсёстры/РПЦ II	135

Выводы

Невозможно оценивать состояние радиационной безопасности указанного персонала на основании только данных эффективных доз облучения.

Эквивалентные дозы облучения хрусталика глаза у сотрудников рентгенохирургических бригад могут существенно превышать рекомендуемое значение 20 мЗв в год.

Зарегистрированы случаи поражения хрусталика глаза у врачей эндоваскулярной хирургии.

Дозы облучения хрусталика глаза при работе с РФП, предварительно, не превысили рекомендуемых значений, однако составляют существенную долю от данного уровня и также подлежат дальнейшей оценке.

Необходимо проведение эпидемиологического исследования поражаемости хрусталика глаза медицинского персонала, осуществляющего работу в поле рассеянного рентгеновского/гамма-излучения низкой интенсивности.

Требуется проведение дополнительной оценки результатов хронического воздействия рассеянного гамма/рентгеновского излучения низкой интенсивности на кожу медицинского персонала.

Необходима разработка рекомендаций по мерам защиты хрусталика глаза и кожных покровов персонала, осуществляющего работу в полях рассеянного ионизирующего излучения низкой интенсивности с учётом оценки реальной рабочей нагрузки.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

- Балонов М.И., Голиков В.Ю., Водоватов А.В., Чипига Л.А., Звонова И.А., Кальницкий С.И. и др. Научные основы радиационной защиты в современной медицине. Т. 1. Лучевая диагностика / Под ред. Балонина М.И. СПб.: НИИРГ им. проф. П. В. Рамзаева. 2019. 320 с.
- The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Annals of the ICRP. 2007. V.37. P. 1–332.
- Дошенко В.Н., Булдаков Л.А. Медицинские последствия техногенного радиационного воздействия // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2003. Т.48, № 4. С. 38-44.
- Хаззагеров С.М., Шаяхметова А.А., Арефьева Д.В., Иванова Т.А. Обоснование порядка контроля индивидуальных эквивалентных доз в хрусталике глаза от фотонного излучения в производственных условиях на предприятиях атомного судостроения и судоремонта // Современные проблемы науки и образования. 2015. Т.2, № 3. [Электронный ресурс]: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=23817>.
- Азизова Т.В., Брагин Е.В., Хамада Н., Банникова М.В. Оценка риска заболеваемости старческой катарактой в когорте работников предприятия атомной промышленности ПО «Маяк» // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2018. Т.63, № 4. С. 15–21. DOI: 10.12737/article_5b83b0430902e835861647.
- Азизова Т.В., Хамада Н., Григорьева Е.С., Брагин Е.В. Риск катаракты различных типов в когорте работников, подвергшихся профессиональному хроническому облучению // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2020. Т.65, № 4. С. 48–57. DOI: 10.12737/1024-6177-2020-65-4-48-57.
- Микрюкова Л.Д., Крестинина Л.Ю., Епифанова С.Б. Изучение послыпных изменений хрусталика в процессе формирования катаракты у лиц, подвергшихся облучению в результате радиационных инцидентов на Южном Урале // Радиационная гигиена. 2018. Т.11, № 4. С. 51-63. DOI: 10.21514/1998-426X-11-4-51-63.
- David E.F., Andrew K., Christopher O., Sungchan S., and Sanjog P. The Risk of Radiation Exposure to the Eyes of the Interventional Pain. Physician Radiology Research and Practice. 2011. V.2011. P. 609537. doi:10.1155/2011/609537.
- Radiation Protection and Safety of Radiation Sources. International Basic Safety Standards. Vienna: IAEA, 2011. 329 p.
- Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards No. GSR Part 3. Vienna: IAEA, 2015.
- ICRP Publication 103. Annals of the ICRP. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. 2007. V.37, P. 1–332.
- Statement on Tissue Reactions. ICRP, ref.4825-3093-1464. 2011. 12 p.
- Implications for Occupational Radiation Protection of the New Dose Limit for the Lens of the Eye: Interim Guidance for Use and Comment. Draft 1. ICRP, 2013. 110 p.
- Statement on Tissue Reactions and Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs – Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context. Publication 118. ICRP.
- Summary of Low-Dose Radiation Effects on Health. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. UNSCEAR 2010. 2011. P. 51-64.
- Иванов С.И., Логинова С.В., Аكوпова Н.А., Охрименко С.Е., Нурлыбаев К.Н. Проблемы дозиметрии хрусталика глаза. // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2014. Т.59, № 4. С. 67–72.
- Кайдановский Г.Н., Шлеенкова Е.Н. О проблемах контроля доз облучения хрусталика глаза // Радиационная гигиена. 2016. Т.9, № 3. DOI: 10.21514/1998-426X-2016-9-3-75-80.
- Шлеенкова Е.Н., Голиков В.Ю., Кайдановский Г.Н., Бажин С.Ю., Ильин В.А. Результаты контроля доз облучения хрусталиков глаз у медицинского персонала г. Санкт-Петербурга // Радиационная гигиена. 2019. Т.12, № 4. С. 29-36. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-4-29-36.
- ORAMED: Optimization of Radiation Protection of Medical Staff. EURADOS Report 2012-02. Braunschweig, 2012.
- Vanhavere F., Carinou E., Domienik J., Donadille L., Ginjaume M., Gualdrini G., et al. Measurements of Eye Lens Doses in Interventional Radiology and Cardiology: Final Results of the ORAMED Project // Radiation Measurements. 2011. V.46, No. 11. P. 1243-1247. DOI: 10.1016/j.radmeas.2011.08.013

21. Council Directive 2013/59/ Euratom of 5 December 2013 Laying Down Basic Safety Standards for Protection Against the Dangers Arising from Exposure to Ionising Radiation, and Repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/ Euratom and 2003/122/Euratom. European Commission 2014, 13. P. 1–73.
22. Кузин В.И. Ангиография: радиационно-гигиеническая характеристика условий труда персонала // Радиационная гигиена. 2009. Т.2, № 1. С. 52–58.
23. Рыжкин С.А., Слесарева А.Н., Галева Г.З., Иванов С.И. Клиническое изучение органа зрения и дозиметрия хрусталика глаза персонала, выполняющего хирургические вмешательства под контролем рентгеновского излучения // Радиация и риск. 2017. Т.26, № 3. С. 90–99. DOI: 10.21870/0131-3878-2017-26-3-90-99.
24. Карпов Н.А., Охрименко С.Е., Иванов С.И., Кирюхин О.В., Акопова Н.А., Логинова С.В., Афиногенов А.М. Доза в хрусталике глаза: ближайшие пер-

- спективы // Сборник мат. Всероссийской конференции с международным участием, посвящённой 85-летию со дня рождения В. А. Кухтина. Чебоксары 3–4 апреля 2014. Чебоксары, 2014. С. 235–236.
25. Охрименко С.Е., Коренков И.П., Прохоров Н.И., Шандала Н.К., Захарова А.В. Радиационно-гигиеническая оценка современных медицинских технологий // Гигиена и санитария. 2020. Т.99, № 9. С. 939–946. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-9-939-946>.
26. Malgorzata Wrzesień. 18F-FDG Production Procedures as a Source of Eye Lens Exposure to Radiation // J. Radiol. Prot. 2018. V.38, No. 1. P. 382–393. <https://doi.org/10.1088/1361-6498/aaa287>.
27. Malgorzata Wrzesień. The Effect of Work System on the Hand Exposure of Workers in 18F-FDG Production Centers // Australasian Physical & Engineering Sciences in Medicine. 2018. No. 41. P. 541–548. <https://doi.org/10.1007/s13246-018-0644-9>.

REFERENCES

1. Balonov M.I., Golikov V.YU., Vodovatov A.V., Chhipiga L.A., Zvonova I.A., Kalnitskiy S.I., et al. Nauchnyye Osnovy Radiatsionnoy Zashchity v Sovremennoy Meditsine. T.I. Luchevaya Diagnostika = Scientific Bases of Radiation Protection in Modern Medicine. V.1. Radiation Diagnostics. Ed. Balonova M.I. St. Petersburg, NIIRG Im. prof. P. V. Ramzayeva Publ., 2019. 320 p. (In Russ.).
2. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Annals of the ICRP. 2007;37:1–332.
3. Doshchenko V.N., Buldakov L.A. Medical Consequences of Man-Made Radiation Exposure. Meditsinskaya Radiologiya i Radiatsionnaya Bezopasnost = Medical Radiology and Radiation Safety. 2003;48:4:38–44 (In Russ.).
4. Khazagerov S.M., Shayakhmetova A.A., Arefyeva D.V., Ivanova T.A. Justification of the Procedure for Monitoring Individual Equivalent Doses in the Lens of the Eye from Photon Radiation in Production Conditions at Nuclear Shipbuilding and Ship Repair Enterprises. Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya = Modern Problems of Science and Education. Surgery. 2015;2;3. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=23817> (In Russ.).
5. Azizova T.A., Bragin E.V., Khamada N., Bannikova M.V. Risk Assessment of Senile Cataract Incidence in a Cohort of Nuclear Workers of Mayak Production Association. Meditsinskaya Radiologiya i Radiatsionnaya Bezopasnost = Medical Radiology and Radiation Safety. 2018;63:4:15–21. DOI: 10.12737/article_5b83b0430902e8.35861647 (In Russ.).
6. Azizova T.V., Khamada N., Grigoryeva Ye.S., Bragin Ye.V. Risk of Various Types of Cataracts in the Cohort of Workers Exposed to Occupational Chronic Radiation. Meditsinskaya Radiologiya i Radiatsionnaya Bezopasnost = Medical Radiology and Radiation Safety. 2020;65:4:48–57. DOI: 10.12737/1024-6177-2020-65-4-48-57 (In Russ.).
7. Mikryukova L.D., Krestinina L.Yu., Yepifanova S.B. A Study of Layered Lens Change in the Process of Cataract Formation in Persons Exposed to Radiation as a Result of Radiation Accidents in the Southern Urals. Radiatsionnaya Gigiyena = Radiation Hygiene. 2018;11:4: 51–63. DOI: 10.21514/1998-426X-2018-11-4-51-63 (In Russ.).
8. David E.F., Andrew K., Christopher O., Sungchan S., and Sanjog P. The Risk of Radiation Exposure to the Eyes of the Interventional Pain. Physician Radiology Research and Practice. 2011;2011:609537. doi:10.1155/2011/609537.
9. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources. International Basic Safety Standards. IAEA. 2011. 329 p.
10. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards No. GSR Part 3. Vienna, IAEA, 2015.
11. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Annals of the ICRP. 2007;37:1–332.
12. Statement on Tissue Reactions. ICRP, ref.4825-3093-1464. 2011. 12 p.
13. Implications for Occupational Radiation Protection of the New Dose Limit for the Lens of the Eye: Interim Guidance for Use and Comment. Draft 1. ICRP, 2013. 110 p.
14. Statement on Tissue Reactions and Early and Late Effects of Radiation in Normal Tissues and Organs – Threshold Doses for Tissue Reactions in a Radiation Protection Context. Publication 118. ICRP.
15. Summary of Low-Dose Radiation Effects on Health. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR 2010). 2011. P. 51–64.
16. Ivanov S.I., Loginova S.V., Akopova N.A., Okhrimenko S.E., Nurlybaev K.N. Problems of Dosimetry of the Eye Lens. Meditsinskaya Radiologiya i Radiatsionnaya Bezopasnost = Medical Radiology and Radiation Safety. 2014;59:4:67–72 (In Russ.).
17. Kaydanovskiy G.N., Shleyenkova Ye.N. On Problems of the Lens of the Eye Radiation Dose Monitoring. Radiatsionnaya Gigiyena = Radiation Hygiene. 2016;9:3:75–80. DOI: 10.21514/1998-426X-2016-9-3-75-80 (In Russ.).
18. Shleyenkova Ye.N., Golikov V.Yu., Kaydanovskiy G.N., Bazhin S.Yu., Ilin V.A. Results of Eye Lens Doses Control of Medical Personnel in St. Petersburg. Radiatsionnaya Gigiyena = Radiation Hygiene. 2019;12;4: 29–36. DOI: 10.21514/1998-426X-2019-12-4-29-36 (In Russ.).
19. ORAMED: Optimization of Radiation Protection of Medical Staff. EURADOS Report 2012-02, Braunschweig, 2012.
20. Vanhavere F., Carinou E., Domienik J., Donadille L., Ginjaume M., Gualdrini G., et al. Measurements of Eye Lens Doses in Interventional Radiology and Cardiology: Final Results of the ORAMED Project. Radiation Measurements. 2011;46;11:1243–1247. DOI: 10.1016/j.radmeas.2011.08.013.
21. European Commission 2014 Council Directive 2013/59/ Euratom of 5 December 2013 Laying Down Basic Safety Standards for Protection Against the Dangers Arising from Exposure to Ionising Radiation, and Repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/ Euratom and 2003/122/Euratom 13 1–73.
22. Kuzin V.I. Angiography: Radiation-Hygienic Characteristics of the Personnel Working Conditions. Radiatsionnaya Gigiyena = Radiation Hygiene. 2009;2;1:52–58 (In Russ.).
23. Ryzhkin S.A., Slesareva A.N., Galeeva G.Z., Ivanov S.I. Clinical Examination of the Eyes Functional Status and Assessment of Equivalent Dose to Eye Lens in Medical Staff Performing Endovascular Interventions under X-ray Guidance. Radiatsiya i risk = Radiation and Risks. 2017;26;3:90–99. DOI: 10.21870/0131-3878-2017-26-3-90-99 (In Russ.).
24. Karpov N.A., Okhrimenko S.YE., Ivanov S.I., Kiryukhin O.V., Akopova N.A., Loginova S.V., Afinozenov A.M. Doza v Khrustalike Glaza: Blizhayshiy Perspektivy = Dose in the Lens of the Eye: Immediate Prospects. Sbornik mat. Vserossiyskoy Konferentsii s Mezhdunarodnym Uchastiyem, Posvyashchennoy 85-Letiyyu so Dnya Rozhdeniya V. A. Kukhtina. = Collection of Mat. All-Russian Conference with International Participation Dedicated to the 85th Anniversary of the Birth V.A. Kuchina Cheboksary April 3–4, 2014. Cheboksary Publ., 2014. P. 235–236 (In Russ.).
25. Okhrimenko S.E., Korenkov I.P., Prokhorov N.I., Shandala N.K., Zakharova A.V. Radiation-Hygienic Assessment of Modern Medical Technologies. Gigiyena i Sanitariya = Hygiene and Sanitation 2020;99;9:939–946. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-9-939-946> (In Russ.).
26. Malgorzata Wrzesień. 18F-FDG Production Procedures as a Source of Eye Lens Exposure to Radiation. J. Radiol. Prot. 2018;38;1:382–393. <https://doi.org/10.1088/1361-6498/aaa287>.
27. Malgorzata Wrzesień. The Effect of Work System on the Hand Exposure of Workers in 18F-FDG Production Centers. Australasian Physical & Engineering Sciences in Medicine. 2018;41:541–548. <https://doi.org/10.1007/s13246-018-0644-9>.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.
Участие авторов. Статья подготовлена с равным участием авторов.
Поступила: 17.07.2021. Принята к публикации: 05.09.2021.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.
Financing. The study had no sponsorship.
Contribution. Article was prepared with equal participation of the authors.
Article received: 17.07.2021. Accepted for publication: 05.09.2021