

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD375327>

Проблемы облучения персонала в современных медицинских технологиях

С.А. Рыжкин^{1, 7}, Ю.В. Дружинина^{1, 2}, З.А. Лантух², И.В. Солдатов², В.Н. Лесняк³,
Д.П. Лебедев³, Д.Н. Самочатов⁴, М.П. Семенова⁵, В.А. Сухов⁶, С.Е. Охрименко¹

¹ Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования, Москва, Российская Федерация

² Научно-практический клинический центр диагностики и телемедицинских технологий, Москва, Российская Федерация

³ Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий, Москва, Российская Федерация

⁴ Городская клиническая больница № 67 имени Л.А. Ворохобова, Москва, Российская Федерация

⁵ Государственный научный центр Российской Федерации — Федеральный медицинский биофизический центр имени А.И. Бурназяна, Москва, Российская Федерация

⁶ Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, Российская Федерация

⁷ Казанский государственный медицинский университет, Казань, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Широкое применение источников ионизирующего излучения в медицинской практике (кардиоэндоваскулярной хирургии, эндоскопии, травматологии, урологии, нейрохирургии, стоматологии, отделениях радиоизотопной диагностики) приводит к облучению хрусталика глаза и кожи рук рассеянным излучением низкой интенсивности. Введение МАГАТЭ новых рекомендаций по снижению предела годовой эквивалентной дозы на хрусталик (20 мЗв) привело к тому, что оценка дозы по хрусталику на основе эффективной дозы стала некорректной.

Цель — анализ подходов и оценка эквивалентных доз облучения хрусталика глаза и кожи рук медицинского персонала при проведении различных диагностических исследований под воздействием рентгеновского излучения и гамма-излучения радиофармпрепарата, а также сравнение полученных результатов с ранее опубликованными данными.

Материалы и методы. Применялся метод термолюминесцентной дозиметрии. Оценка доз проводилась у персонала кардиоэндоваскулярной хирургии, эндоскопии, изотопной диагностики, стоматологии, урологии.

Результаты. Расчётные годовые эквивалентные дозы на хрусталик глаза у врачей отделений кардиоэндоваскулярной хирургии находились в диапазоне от 35 до 90 мЗв, среднего медицинского персонала — от 6 до 19 мЗв (в отдельных случаях у врача — до 225 мЗв, у медицинской сестры — до 180 мЗв); персонала отделения радиоизотопной диагностики — от 4,5 до 9 мЗв. Годовые расчётные эквивалентные дозы на кожу рук у персонала кардиоэндоваскулярной хирургии составили от 17 до 100 мЗв, а при работе с радиофармпрепаратами — от 24 до 220 мЗв. Показано, что использование оценки усреднённой дозы за одну операцию у врачей кардиоэндоваскулярной хирургии, как правило, неизбежно приводит к превышению эквивалентной дозы на хрусталик глаза через определённое количество операций.

Заключение. При превышении определённого количества операций (от 100 до 200) у врачей кардиоэндоваскулярной хирургии могут формироваться эквивалентные дозы на хрусталик глаза более 20 мЗв в год. Установлено поражение хрусталика глаза при существующих уровнях облучения у врача кардиоэндоваскулярной хирургии. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости дальнейших дозиметрических измерений и эпидемиологических исследований, на основании которых могут быть разработаны рекомендации по радиационной защите хрусталика глаза и кожи рук медицинского персонала, осуществляющего работу в поле рассеянного, гамма- и рентгеновского излучения низкой интенсивности.

Ключевые слова: источники ионизирующего излучения; персонал; кардиоэндоваскулярная хирургия; отделение радиоизотопной диагностики; хрусталик глаза; кожа рук; рассеянное излучение низкой интенсивности; годовая эквивалентная доза; термолюминесцентная дозиметрия; профессиональное поведение.

Как цитировать

Рыжкин С.А., Дружинина Ю.В., Лантух З.А., Солдатов И.В., Лесняк В.Н., Лебедев Д.П., Самочатов Д.Н., Семенова М.П., Сухов В.А., Охрименко С.Е. Проблемы облучения персонала в современных медицинских технологиях // *Digital Diagnostics*. 2023. Т. 4, № 2. С. 142–155. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD375327>

Рукопись получена: 03.05.2023

Рукопись одобрена: 25.05.2023

Опубликована: 15.06.2023

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD375327>

Problems of personnel irradiation in modern medical technologies

Sergey A. Ryzhkin^{1, 7}, Yuliya V. Druzhinina^{1, 2}, Zoya A. Lantuh², Ilya V. Soldatov², Viktor N. Lesnyak³, Dmitriy P. Lebedev³, Denis N. Samochatov⁴, Maria P. Semenova⁵, Vitaly A. Sukhov⁶, Sergey E. Okhrimenko¹

¹ Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russian Federation

² Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russian Federation

³ Federal Research and Clinical Center of Specialized Medical Care and Medical Technologies, Moscow, Russian Federation

⁴ City Clinical Hospital No. 67 named after L.A. Vorokhobov, Moscow, Russian Federation

⁵ State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center, Moscow, Russian Federation

⁶ The First Sechenov Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russian Federation

⁷ Kazan State Medical University, Kazan, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: The widespread use of radiation sources in medical practice (cardio-endovascular surgery, endoscopy, traumatology, urology, neurosurgery, dentistry, and radioisotope diagnostics departments) leads to irradiation of the lens of the eye and the skin of the hands. The introduction of new recommendations by the IAEA to reduce the limit of the annual equivalent dose to the lens (20 mSv) has led to an inaccurate dose assessment based on the effective dose.

AIM: To analyze approaches and assess equivalent doses of irradiation of the lens of the eye and skin of the hands of medical personnel during various diagnostic studies under the influence of X-rays and radiopharmaceuticals studies and to compare the results obtained with previously published data.

MATERIALS AND METHODS: Thermo-luminescent dosimetry was used. Dose assessment was performed by cardio-endovascular surgery, endoscopy, isotope diagnostics, dentistry, and urology personnel.

RESULTS: The estimated annual equivalent doses to the lens of the eye for doctors of cardio-endovascular surgery departments, in most cases, ranging 35–90 mSv, 6–19 mSv for the average medical staff (in some cases, the doctor [≤ 225 mSv] and the nurse [≤ 180 mSv]) and 4.5–9 mSv for the staff of the department of radioisotope diagnostics. The annual calculated equivalent doses to the skin of the hands for cardio-endovascular surgery personnel were 17–100 and 24–220 mSv for the staff working with radiopharmaceuticals. It is shown that the use of an estimate of the average dose per operation by cardio-endovascular surgery doctors, as a rule, inevitably leads to an excess of the equivalent dose to the lens of the eye after a certain number of operations.

CONCLUSION: When a certain number of operations are exceeded (100–200), equivalent doses to the eye's lens in cardio-endovascular surgery doctors above 20 mSv per year can be formed. At current radiation levels, a lesion of the eye's lens was found in a cardio-endovascular surgery doctor. The results indicate the need for further dosimetric measurements and epidemiological studies, based on which recommendations for radiation protection of the eye's lens and the skin of the hands of medical personnel working in low-intensity, scattered, gamma X-ray radiation can be developed.

Keywords: annual equivalent dose; cardio-endovascular surgery; eye lens; hand skin; low-intensity scattered radiation; professional behavior; radiation sources; radioisotope diagnostics department; staff; thermo-luminescent dosimetry.

To cite this article

Ryzhkin SA, Druzhinina YuV, Lantuh ZA, Soldatov IV, Lesnyak VN, Lebedev DP, Samochatov DN, Semenova MP, Sukhov VA, Okhrimenko SE. Problems of personnel irradiation in modern medical technologies. *Digital Diagnostics*. 2023;4(2):142–155. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD375327>

Received: 03.05.2023

Accepted: 25.05.2023

Published: 15.06.2023

DOI: <https://doi.org/10.17816/DD375327>

使用现代医疗技术时医务人员受到辐射的问题

Sergey A. Ryzhkin^{1, 7}, Yuliya V. Druzhinina^{1, 2}, Zoya A. Lantuh², Ilya V. Soldatov², Viktor N. Lesnyak³, Dmitriy P. Lebedev³, Denis N. Samochatov⁴, Maria P. Semenova⁵, Vitaly A. Sukhov⁶, Sergey E. Okhrimenko¹

¹ Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russian Federation

² Research and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies, Moscow, Russian Federation

³ Federal Research and Clinical Center of Specialized Medical Care and Medical Technologies, Moscow, Russian Federation

⁴ City Clinical Hospital No. 67 named after L.A. Vorokhobov, Moscow, Russian Federation

⁵ State Research Center — Burnasyan Federal Medical Biophysical Center, Moscow, Russian Federation

⁶ The First Sechenov Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russian Federation

⁷ Kazan State Medical University, Kazan, Russian Federation

简评

论证。电离辐射源在医疗实践（心血管内外科、内窥镜检查、创伤科、泌尿科、神经外科、牙科、放射性同位素诊断部门）中的广泛使用导致眼球晶状体和手部皮肤受到低强度散射辐射。国际原子能机构引入的关于减少晶状体的年度等效剂量限制（20毫西弗）的新建议导致基于有效剂量的晶状体剂量评估是不正确的。

该研究的目的是分析方法和评估医务人员在X射线辐射和放射性药物的伽马射线影响下进行各种诊断检查时眼球晶状体和手部皮肤的等效辐射剂量，并对所得结果与以前公布的数据进行比较。

材料和方法。采用了热释光剂量测定法。评估了心血管内外科、内窥镜、同位素诊断、牙科和泌尿科人员的剂量。

结果。心血管外科医生眼球晶状体的计算年度等效剂量为35至90毫西弗，护理人员的为6至19毫西弗（在某些情况下，医生的高达225毫西弗，护士的高达180毫西弗），放射性同位素诊断部门人员的为4.5至9毫西弗。心血管内外科人员手部皮肤的计算年度等效剂量为17至100毫西弗，而在使用放射性药物的工作中，则为24至220毫西弗。事实证明，使用心脑血管外科医生每次手术时的平均剂量估算，通常不可避免地会在一定数量的手术后导致晶状体的超标等效剂量。

结论。超过一定数量的手术（100至200），心血管内外科医生每年接受的眼球晶状体的等效剂量可能超过20毫西弗。在现有辐射水平下，心血管内外科医生眼球晶状体的病变已经是确定的。所得结果证明，有必要进行进一步的剂量测定和流行病学调查，在此基础上可以制定在散射、伽马和X射线的低强度辐射影响下工作的医务人员的眼球晶状体和手部皮肤的辐射防护建议。

关键词：电离辐射源；工作人员；心血管内外科；放射性同位素诊断部门；眼球晶状体；手部皮肤；低强度散射辐射；年度等效剂量；热释光剂量测定法；职业行为。

To cite this article

Ryzhkin SA, Druzhinina YuV, Lantuh ZA, Soldatov IV, Lesnyak VN, Lebedev DP, Samochatov DN, Semenova MP, Sukhov VA, Okhrimenko SE. 使用现代医疗技术时医务人员受到辐射的问题. *Digital Diagnostics*. 2023;4(2):142–155. DOI: <https://doi.org/10.17816/DD375327>

收到: 03.05.2023

接受: 25.05.2023

发布日期: 15.06.2023

ОБОСНОВАНИЕ

В настоящее время источники ионизирующего излучения широко применяются в современной медицинской практике. При использовании источников ионизирующего излучения в поле их воздействия попадают врачи и средний медицинский персонал кардиоэндоваскулярной хирургии (КЭВХ), травматологии, урологии, нейрохирургии, стоматологии, а также персонал операционных общей хирургии и реанимационных отделений.

В отделениях радионуклидной диагностики наибольшему облучению подвергается средний медицинский персонал, обеспечивающий подготовку и введение радиофармпрепаратов, а также рентгенолаборанты, осуществляющие обследование пациентов на гамма-камерах, а также методами однофотонной эмиссионной компьютерной томографии или позитронно-эмиссионной томографии, совмещённой с рентгеновской компьютерной томографией (ПЭТ/КТ). В этих случаях персонал находится непосредственно и постоянно в поле рассеянного гамма- и рентгеновского излучения низкой интенсивности, на глаза и кожу которого воздействует излучение, рассеянное телом пациента и отражённое от внешних объектов. Имеющиеся данные позволяют рассчитать отношение эквивалентной дозы на хрусталик глаза к эффективной дозе в диапазоне энергии фотонного излучения от 0,01 до 10 МэВ. Полученные результаты показывают, что в диапазоне энергий гамма-излучения от 0,06 до 10 МэВ эквивалентная доза в хрусталике глаза численно превышает эффективную дозу примерно на 20%, тогда как в диапазоне менее 0,05 МэВ это превышение составляет от нескольких раз до нескольких десятков раз.

Таким образом, соблюдение основного предела дозы по эффективной дозе уже не обеспечит соблюдение дозового предела при облучении хрусталика глаза. Если сильно проникающие виды излучения дают основной вклад в эффективную дозу, слабопроникающие излучения (бета-частицы, фотоны с энергией <15 кэВ) создают максимальные дозы в чувствительном слое кожи и в хрусталике глаза [1, 2]. Особую актуальность вопрос стал приобретать после соответствующих публикаций Международной комиссии по радиологической защите и Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ), обосновавших рекомендации о снижении предела эквивалентной дозы на хрусталик со 150 до 20 мЗв в год и оптимизации радиационной защиты персонала с учётом принципа ALARA (As Low As Reasonably Achievable) [3–9].

Цель исследования — оценка эквивалентных доз облучения хрусталика глаза и кожи рук медицинского персонала при проведении различных диагностических исследований под воздействием рентгеновского излучения и гамма-излучения радиофармпрепаратов и сравнение результатов с ранее опубликованными данными по дозам облучения хрусталика глаза и кожи рук медицинского персонала.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В рамках собственных исследований проведена оценка эквивалентных доз облучения хрусталика глаза и кожи рук в медицинских технологиях при воздействии рентгеновского излучения и гамма-излучения радиофармпрепаратов. Для оценки доз использовался метод термолюминесцентной дозиметрии (ТЛД). Применялись дозиметры индивидуального эквивалента дозы Нр(3) с детекторами ТЛД-1011Т (НТЦ «Практика», Россия) и ТЛД-100 (США). Диапазон измерений: 30 мкЗв–12 Зв для энергий 0,005–10 МэВ. Экспонирование дозиметров осуществлялось путём их крепления на центральной части фронтальной (лобной) поверхности медицинской шапочки персонала. Календарное время экспонирования составляло 3–6 недель, но фиксировалось общее количество операций с дозиметрией, которое и учитывалось при оценке и расчётах доз облучения.

Измерения детекторов осуществлялись на термолюминесцентном анализаторе HARSHAW TLD system 4000, Thermo Scientific Ltd (США) кафедры радиохимии МГУ имени М.В. Ломоносова. После снятия кривой термовысвечивания и отжига детекторов проводилась индивидуальная калибровка детекторов в воздухе источником гамма-излучения ^{137}Cs ($E_{\gamma}=661$ кэВ), тип Ц2-5. Основная погрешность измерения с доверительной вероятностью 0,95 не превышала 10%. Часть дозиметров экспонировалась в качестве контрольных для оценки вклада радиационного фона. В исследованиях, проводимых в период 2014–2021 годов в Москве (4 отделения КЭВХ трёх городских больниц, одно отделение урологии, эндоскопии, отделении КЭВХ медицинского центра системы ФМБА, ПЭТ-центр и отделение стоматологии частного медицинского центра, отделение радионуклидной диагностики клиники РМАНПО) и Казани (4 отделения КЭВХ в четырёх медицинских организациях), отмечено 61 наблюдение по эквивалентной дозе на хрусталик глаза, в том числе у персонала КЭВХ — 46 (врачи — 22, средний медицинский персонал — 24), эндоскопии — 2, стоматологии — 4, урологии — 1, у персонала отделений радионуклидной диагностики ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ и ^{18}F) — 6.

Клиническое обследование сотрудников проведено с использованием офтальмологического осмотра: визометрии (с коррекцией и без коррекции); рефрактометрии, биомикроскопии конъюнктивы глазного яблока и стекловидного тела; пробы Норна; В-сканирования глаза.

Особенностью дизайна исследования является оценка индивидуальных доз облучения, не объединённых в единую статистическую совокупность в силу особенностей условий облучения каждого из обследуемых. Вместе с тем это дало возможность получить срез (диапазон) уровней доз облучения и факторов, потенциально влияющих на формирование дозы.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Существует несколько подходов к изучению эквивалентных доз на хрусталик глаза у персонала медицинских учреждений. Один из вариантов заключается в ношении термолюминесцентного дозиметра, закреплённого в определённом месте на голове медицинского персонала в течение заранее определённого времени, и измерении индивидуального эквивалента дозы на хрусталик Hp(3) по истечении периода ношения. Данный подход описан в методических рекомендациях МУ 2.6.1.3747-22¹. Подобные работы по измерению эквивалентных доз на хрусталик глаза у персонала медицинских учреждений г. Москвы были проведены в 2014 году среди работников различных специальностей совместно с лабораторией радиационного контроля кафедры радиохимии МГУ имени М.В. Ломоносова. Время экспонирования ТЛД Hp(3) составило один календарный месяц. Результаты представлены в табл. 1.

Наибольшие значения зафиксированы у врачей КЭВХ. Однако при полной передаче ответственности по ношению индивидуальных дозиметров на персонал возникают случаи потери части информации о количестве операций с дозиметрией, что является недостатком такого подхода. Недостатком является и недостоверность информации о реальном количестве операций с дозиметрами, в связи с чем измерение доз за отдельные периоды с последующим пересчётом на годовую дозу не является удачным вариантом для оценки радиационного воздействия.

Вторым подходом к оценке эквивалентной дозы на хрусталик глаза персонала является измерение накопленной дозы за определённое количество операций, сопровождавшихся индивидуальной дозиметрией. Данная методика позволила проводить оценку усреднённой дозы за одно условное интервенционное исследование. В зависимости от вида процедуры интервенционные исследования делятся на «диагностические» и «терапевтические». Диагностические интервенционные исследования, как правило, имеют длительность от 20 до 30 минут и общее время облучения примерно 3–7 минут.

Терапевтические интервенционные исследования протекают намного дольше (время зависит от сложности операции). В одном из наблюдений время операции составило 2,5 часа, а время включения высокого напряжения — 28 минут.

Результаты собственных исследований представлены в табл. 2–4.

Как видно, дозы за операцию (манипуляцию) существенно различаются как в разных технологиях, так и в пределах одной специальности. Обращает на себя внимание крайне высокая доза у медицинской сестры КЭВХ. Видимо, важным фактором являются приёмы работы конкретного специалиста (количество снимков и соотношение снимок/скопия и т.д.), и особенно расстояние от места расположения персонала — основного хирурга-оператора и его ассистента или медицинской сестры — до зоны прямого пучка. Последнее можно определить как «профессиональное поведение». Расчётные годовые дозы в учреждении «А» составили от 35 до 90 мЗв у врачей КЭВХ до 180 мЗв у медицинской сестры и 8 мЗв у медсестры отделения радионуклидной диагностики.

Результаты оценки доз на хрусталик глаза в учреждении «В» приведены в табл. 3. Так, расчётная годовая эквивалентная доза на хрусталик глаза в учреждении «В» составила 60 мЗв у врача, в то время как у среднего медицинского персонала — от 6 до 18 мЗв. Для показателя «профессиональное поведение» установлено, что вторая медсестра (показатель «медсестра-2») в силу особенностей своей работы находится, как правило, дольше и ближе к рабочему месту врача (показатель «врач-оператор»), чем первая медсестра (показатель «медсестра-1»).

Определённые особенности формирования доз на хрусталик глаза выявлены в учреждении «С». Наибольшая доза зафиксирована у врача с наименьшим количеством операций. Расчётные годовые дозы у врачей составили от 53 до 225 мЗв, у медицинской сестры — около 19 мЗв. Результаты измерений приведены в табл. 4.

Проведена оценка факторов, которые могут потенциально влиять на формирование дозы: количество «высокодозовых» операций, соотношение

Таблица 1. Результаты измерений Hp(3) и ориентировочной оценки годовой эквивалентной дозы на хрусталик глаза (H) у медицинских работников разных специальностей [10, 11]

Специальность	Число обследуемых, <i>n</i>	Hp(3), мЗв	H годовая, мЗв
Средний медперсонал (работа с радиофармпрепаратами, ^{99m} Tc)	2	0,37–0,40	4,4–4,8
Врач-ангиографист	6	0,31–2,20	3,7–26,4
Средний медперсонал (ангиография)	5	0,15–0,42	1,8–5,0
Врач-уролог	1	0,72	8,6
Врач-стоматолог	4	0,13–0,18	1,6–2,2

¹ Методические указания МУ 2.6.1.3747-22 «Контроль индивидуальных эквивалентных доз внешнего облучения хрусталиков глаз персонала» (утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 17.05.2022). Режим доступа: <https://base.garant.ru/405781929/>.

Таблица 2. Эквивалентные дозы на хрусталик глаза врачей и среднего персонала отделений кардиоэндоваскулярной хирургии, эндоскопии, радионуклидной диагностики в учреждении «А» [12, 13]

Специальность	Доза за экспозицию, мЗв	Количество операций с дозиметром	Доза за 1 операцию, мЗв	Допустимое количество операций в год	Примерное количество операций в год
Медсестра КЭВХ [CVS nurse]	12,6	31	0,4	50	450
Врач КЭВХ-1 [CS Physician-1]	1,28	13	0,1	200	350
Врач КЭВХ-2 [CVS Physician-2]	1,69	20	0,085	235	450
Врач КЭВХ-3 [CVS Physician-3]	1,05	5	0,2	100	450
Врач, эндоскопия [Endoscopic Physician]	2,82	58	0,05	400	380
Медсестра, эндоскопия [Endoscopic nurse]	2,79	58	0,05	400	380
Медсестра ^{99m} Tc [Nurse ^{99m} Tc]	0,7	134*	0,005	4000	1600

Примечание. * Пациенты.

Таблица 3. Эквивалентные дозы на хрусталик глаза врачей и среднего персонала отделения кардиоэндоваскулярной хирургии в учреждении «В»

Специальность	Доза за экспозицию, мЗв	Количество операций с дозиметром	Доза за 1 операцию, мЗв	Допустимое количество операций в год	Примерное количество операций в год
Врач	5,7	64	0,1	200	600
Медсестра-1	1,5	68	0,02	1000	300
Медсестра-2	2,4	41	0,06	340	300

Таблица 4. Эквивалентные дозы на хрусталик глаза врачей и среднего персонала отделения кардиоэндоваскулярной хирургии в учреждении «С»

Специальность	Доза за экспозицию, мЗв	Количество операций с дозиметром	Доза за 1 операцию, мЗв	Допустимое количество операций в год	Примерное количество операций в год
Врач-12	3,86	35	0,11	180	750
Врач-16	3,5	51	0,07	285	750
Врач-18	3,4	12	0,3	>70	750
Медсестра	1,74	68	0,025	800	750

функции оператор–ассистент, кумулятивная доза за время операций, рост оператора (табл. 5). Из таблицы видно, что ни один из приведённых факторов не имеет прямого влияния на результаты дозиметрии. Очевидно, важнейшим фактором облучения являются не только и, видимо, не столько количество операций, сколько их специфика и «профессиональное поведение», определяющие расстояние «врача-оператора» от рабочего места до трубки. В этом смысле определённое значение может принадлежать антропометрическим характеристикам (например, росту), влияющим на расположение персонала относительно зоны прямого пучка.

Необходимо также обратить внимание на определённую ограниченность имевшихся коллективных средств защиты и отсутствие индивидуальных средств защиты глаз во многих организациях. Стационарные средства защиты явно недостаточны: узенький подвесной экран; отсутствие или недостаточность навесных прозрачных экранов, наличие которых может существенно снижать требования и к защитным свойствам индивидуальных средств защиты (например, 0,15 мм Pb для защиты тела и 0,1 мм Pb для глаз). Это могло бы в целом улучшить и оздоровить условия труда медицинского персонала.

Таблица 5. Факторы, потенциально влияющие на формирование дозы облучения персонала

Врач	Соотношение операций с дозой на пациента >1 Гр / >2 Гр	Кумулятивная доза, Гр	Соотношение оператор/ассистент	Рост, см
Врач-12	19/5	39	24/11	183
Врач-16	17/5	49	29/22	185
Врач-18	3/1	9,4	12/0	170

Таблица 6. Дозы облучения хрусталика глаза (H_{lens}) и эффективная доза (E) у персонала диагностической лаборатории ПЭТ-центра в зависимости от активности радиофармпрепарата и количества пациентов [14]

Сотрудник	Операции	A, ГБк	Количество пациентов	H_{lens} , мЗв Hr(3)	E, мЗв Hr(10)
A	Медсестра, 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	Рентгенолаборант ПЭТ/КТ, сканирование	135,2	354	0,8	0,81

Примечание. ПЭТ/КТ — позитронно-эмиссионная томография, совмещённая с рентгеновской компьютерной томографией.

Эквивалентные дозы на хрусталик глаза у медицинского персонала различных отделений лучевой диагностики сравнивали с данными дозовой нагрузки на персонал в диагностической лаборатории ПЭТ-центра. В работе [14] проведена оценка эквивалентных доз на хрусталик глаза у медицинского персонала ПЭТ-центра, работающего с препаратами на основе ^{18}F , в том числе изучены особенности временных затрат (рабочей нагрузки) персонала, работающего с ^{18}F (табл. 6).

Эквивалентная эффективная доза для персонала отделения радионуклидной диагностики ПЭТ-центра составила 4,2–4,9 мкЗв/ГБк (4,2–4,9 мкЗв/пациент) при операциях введение/фасовка и 6 мкЗв/ГБк (2,3 мкЗв/пациент) для рентгенолаборанта ПЭТ/КТ, по эквивалентной дозе на хрусталик глаза — 5,4–5,8 мкЗв/ГБк (2,1–2,2 мкЗв/пациент) и 5,9 мкЗв/ГБк (2,3 мкЗв/пациент) соответственно. Уровень облучения прямо зависел от суммарной используемой активности (или количества пациентов как «эквивалента» активности). Оценка зависимости доза–активность / доза–пациент даёт возможность проведения расчёта минимально необходимого персонала (штатной численности). Среди операций фасовка/введение наибольшая дозовая нагрузка сопряжена с операцией «введение», которая является главным дозообразующим фактором в данной технологии. Наибольшая доза облучения хрусталика с учётом рабочей нагрузки зарегистрирована у рентгенолаборанта ПЭТ/КТ, что объясняется его контактом со всей активностью, в то время как медицинская сестра и фасовщик в данном случае «делят» эту активность

между собой. Обращают на себя внимание практически близкие величины доз Hr(10) и Hr(3) при работе с радиофармпрепаратами. Предварительные расчётные оценки годовых эквивалентных доз на хрусталик, приведённые к 11 месяцам (за вычетом отпуска), представлены в табл. 7.

Наибольшая доза закономерно приходится на рентгенолаборанта КТ. При этом для него отмечено крайне осторожное «рабочее поведение» (выдержка максимальной дистанции, минимизация контакта). Рабочая нагрузка на персонал составила 26 пациентов за 14-часовую смену. Отметим также, что при интенсификации процесса приёма пациентов (исключение достаточно длительной процедуры регистрации) пропорционально возрастёт и дозовая нагрузка. Кроме того, очевидно, что при отсутствии деления активности между персоналом (a и b) эквивалентная доза на хрусталик глаза может составить не менее 15 мЗв за год. Полученные данные удовлетворительно согласуются с данными работ [15, 16], медианные и максимальные значения в которых составили от 4 до 14 и от 6 до 23 мЗв соответственно. Оценивая результаты, можно констатировать, что соотношение количества пациентов и количества персонала является важным фактором, определяющим уровни облучения среднего медицинского персонала отделений радионуклидной диагностики в конкретных технологиях.

Помимо оценки дозы на хрусталик проводилась оценка доз облучения кожи рук персонала отделений КЭВХ и радионуклидной диагностики. Результаты исследований

Таблица 7. Расчётные годовые эквивалентные дозы на хрусталик глаза персонала изотопной лаборатории ПЭТ-центра [12, 14]

Персонал	Рабочая функция	H, мЗв за год
A	Введение ~60%, фасовка 40%	6,9
B	Фасовка ~60%, введение 40%	7,4
C	Рентгенолаборант ПЭТ/КТ	8,8

Примечание. ПЭТ/КТ — позитронно-эмиссионная томография, совмещённая с рентгеновской компьютерной томографией.

Таблица 8. Примерная оценка годовых эквивалентных доз на кожу рук в кардиоэндоваскулярной хирургии [12, 14]

Персонал	H_{skin} за экспозицию, мЗв	Количество операций	Количество операций в год	H_{skin} годовая / расчётная
Медсестра КЭВХ	1,2	31	450	17
Врач КЭВХ-1	0,7	13	350	19
Врач КЭВХ-2	4,5	20	450	100
Врач КЭВХ-3	1,1	5	450	100

Примечание. КЭВХ — кардиоэндоваскулярная хирургия.

приведены в табл. 8. Как видно из таблицы, эквивалентные дозы в приведённых исследованиях не превышают предела эквивалентной дозы на кожу (500 мЗв); указанные измерения характеризуют отдельный локальный участок кожи (как правило, тыльная сторона среднего пальца) и, видимо, не могут полностью характеризовать дозы по всей поверхности кисти руки (как тыльной, так и ладонной поверхности). Авторам известно два случая развития на коже рук врачей КЭВХ видимых патологических изменений в виде постоянных локальных очагов сухого дерматита в области ладонно-наружного края обеих рук и покраснения тыльных поверхностей кожи кистей рук после проведения операций.

В рамках данной работы авторами проведены исследования доз облучения кожи на фантомах кистей рук хирургов КЭВХ. Полученные данные свидетельствуют о возможности облучения кожи кистей рук на уровне 1 Гр в год и более [13]. Проведённые оценки годовых эквивалентных доз кожи у специалистов отделений радионуклидной диагностики ПЭТ-центра, рассчитанные на 11 рабочих месяцев, приведены в табл. 9 [15].

Наибольший вклад в дозовую нагрузку медицинской сестры на кожу рук вносит операция введения радиофармпрепарата пациенту. Обращает на себя внимание деление дозовой нагрузки между медицинской сестрой-1 и «фасовщиком» (или медицинской сестрой-2). Очевидно, что в случае выполнения медицинской сестрой-1 100% инъекций эквивалентная доза на кожу кистей рук может составить около 450 мЗв за год. Приведённые данные хорошо сопоставимы с показателями работы [17], которые находились в диапазоне от 3 до 512 мЗв.

Для уточнения данных была проведена оценка эквивалентных доз в коже на фантоме кистей рук в отделении КЭВХ. Показано, что эквивалентные дозы на фантоме кистей рук за одну операцию находятся в диапазоне от 0,5–2,5 мЗв при средней входной дозе на фантом тела

пациента 500 мГр, и с учётом общего количества операций в год у конкретного хирурга (300–600 операций) эквивалентные дозы на локальных зонах кожи кистей рук могут превышать установленный предел дозы 500 мЗв. При исследовании двунитевых разрывов ДНК в фибробластах кожи, облучённых параллельно с дозиметрами, количество фокусов γH2AX и 53BP1 через 30 минут и до 24 часов после облучения статистически значимо ($p < 0,05$) превышало контрольные значения более чем в 2 раза, и даже через 72 часа показатели не снижались до контрольных значений [13, 18].

ОБСУЖДЕНИЕ

Проблема освещается в научной литературе достаточно давно [19–24]. Оценивались эквивалентные дозы на хрусталик глаза и кожу в интервенционных исследованиях за одну операцию. Дозы на хрусталик глаза находились в диапазоне от 0,05 до 0,4 мЗв, на кожу рук — от 0,3 до 1,1 мЗв. Разброс данных составляет примерно до 8 раз по хрусталику глаза и до 4 раз по коже рук. В исследовании [19] доза на кожу равна дозе на хрусталик за одну операцию. Существенно различаются значения эквивалентных доз на хрусталик глаза в интервенционных процедурах за одну операцию в зависимости от вида процедуры, наличия или отсутствия средств индивидуальной или коллективной защиты [2]. В силу значительной неопределённости имеющихся данных исследование доз облучения хрусталика глаза по-прежнему актуально. В работе [25] сообщалось о повышенной распространённости катаракты у медицинских работников, подвергшихся воздействию источников ионизирующего излучения, с более высокой распространённостью среди персонала КЭВХ.

В исследовании, проведённом в течение 17 месяцев, три радиолога выполняли педиатрические и взрослые вмешательства. В течение года проведено от 276 до

Таблица 9. Расчётные годовые эквивалентные дозы на кожу (H_p , 0,07), пальцев рук (средний палец) сотрудников изотопной лаборатории ПЭТ-центра

Персонал	Рабочая функция	H_p (0,07), мЗв за год
a	Введение ~60%, фасовка 40%	220
b	Фасовка ~60%, введение 40%	132
c	Рентгенолаборант ПЭТ/КТ	24

Примечание. ПЭТ/КТ — позитронно-эмиссионная томография, совмещённая с рентгеновской компьютерной томографией.

338 процедур, из них 20% педиатрических. Годовые дозы левого глаза превысили 20 мЗв и составили от 21 до 61 мЗв. Даже с защитой глаз специальными очками дозы превысили 6 мЗв и составили от 13 до 48 мЗв для обоих глаз. Не наблюдалось существенных различий в дозе на хрусталик за процедуру между детскими и взрослыми вмешательствами [26].

При исследовании дозовой нагрузки на хрусталик глаза у 9 интервенционных радиологов в течение 6 месяцев оценивалась эквивалентная доза на хрусталик глаза и кожу в области шеи. Доза на хрусталик составляла $0,18 \pm 0,11$ мЗв за рабочий день и $35,3 \pm 6,6$ мЗв за 200 рабочих дней. У 5 (56%) врачей КЭВХ доза превысила годовой предел (20 мЗв). По мнению исследователей, врачи КЭВХ, работающие полный рабочий день, могут страдать от детерминированного воздействия излучения на хрусталик глаза, особенно с левой стороны. Показана также возможность оценки доз облучения хрусталика по данным кожной дозиметрии в области шеи $[D_{\text{хруст.}} = 0,0179 + (0,5971 \times D_{\text{шея}})]$ [27].

Приведены результаты исследования среди 44 врачей КЭВХ и контрольной группы из 22 человек. Из общего количества обследуемых 26 врачей КЭВХ и участники контрольной группы прошли специальное исследование глаз. Дозы на хрусталик измерялись методом термoluminesцентной дозиметрии. Средняя эквивалентная доза у хирургов составила $0,83 \pm 0,59$ мЗв в месяц для левого и $0,35 \pm 0,38$ мЗв для правого глаза, в то время как годовые дозы оценивались от 0,7 до 11 мЗв. Обе группы существенно не отличались распространённостью ядерного или коркового помутнения хрусталика. У 4 врачей КЭВХ обнаружилась ранняя стадия субкапсулярного склероза, хотя статистических различий в группах не наблюдалось. Исследователи полагают, что данные указывают на возможность получения врачами КЭВХ значительных доз на хрусталик и рекомендуют использовать защиту глаз [28].

В исследовании [29] группа участников состояла из 69 интервенционных кардиологов и 78 контрольных лиц, профессионально не подвергавшихся воздействию ионизирующего излучения. Помутнения хрусталика были исследованы с помощью щелевой камеры. Кумулятивные дозы на хрусталик оценивались ретроспективно с использованием вопросника, включающего данные о профессиональной истории и дозах облучения хрусталика глаза. Средняя кумулятивная доза на хрусталик левого и правого глаза составила 224 и 85 мЗв соответственно. Ядерная опалесценция и помутнение ядра хрусталика в левом глазу были обнаружены у 47% врачей КЭВХ и 42% лиц контрольной группы, кортикальные помутнения — у 25 и 29%, задние субкапсулярные помутнения — у 7 и 6% соответственно. Наблюдалось некоторое статистически значимое увеличение риска непрозрачности в группе КЭВХ по сравнению с контрольной группой после корректировки на возраст, пол,

статус курения и медицинское воздействие, однако существенного увеличения случаев катаракты по сравнению с контролем не наблюдалось, в том числе не было доказательств повышенного риска непрозрачности при увеличении дозы. По мнению авторов, неблагоприятное воздействие ионизирующего излучения нельзя исключить из-за относительно небольшого размера выборки исследования.

В исследовании, связанном с оценкой доз на персонал медицинских учреждений Санкт-Петербурга получены следующие эквивалентные дозы на хрусталик глаза: у врачей-рентгенохирургов — от 0,29 до 2,9 мЗв за 1 месяц, врачей и медицинских сестёр КЭВХ — от 0,44 до 1,49 мЗв, рентгенологов — от 0,1 до 8,54 мЗв, хирургов — 0,89 мЗв, операционных сестёр — от 0,11 до 4,6 мЗв за 3 месяца экспозиции. Проведена оценка уровней облучения хрусталика на основе оценки соотношения значений индивидуальных эквивалентов дозы $\text{Hr}(3)$ и $\text{Hr}(10)$. Основываясь на параметрах годовых значений $\text{Hr}(3)$ и $\text{Hr}(10)$, аппроксимирующего логнормальное распределение, показано, что вероятность превышения значения 1 мЗв составляет 13%, вероятность превышения 6 мЗв — 10%, 20 мЗв — менее 1%. Вместе с тем, учитывая, что в медицине сотрудники рентгенохирургических бригад являются наиболее облучаемой группой, высказано предположение, что число превышений 20 мЗв за год может составлять до 10% случаев, а повреждения хрусталика могут носить стохастический (случайный) характер [30, 31]. Отмечено, что эти результаты существенно отличаются от аналогичных результатов, полученных в рамках Европейского проекта ORAMED (Optimization of Radiation Protection Medical Staff) [32–34], в котором проведено исследование доз облучения хрусталика глаза у интервенционных специалистов более чем 30 европейских медицинских центров: почти у 50% врачей КЭВХ доза облучения хрусталика глаза превысила 20 мЗв в расчёте на год.

Между тем влияние хронического облучения на развитие катаракты отмечено в когорте работников ПО «Маяк», где у 15 000 человек, подвергшихся гамма-облучению в дозах от $<0,25$ до >1 Гр, установлена статистически значимая линейная зависимость заболеваемости старческой катарактой от суммарной дозы внешнего гамма-облучения. Дальнейшие исследования показали повышенный риск заболеваемости катарактой всех типов: задней кортикальной, ядерной и субкапсулярной у работников, подвергавшихся хроническому облучению. Риск развития катаракты был существенно выше у женщин [35]. В результате радиационной аварии на Южном Урале дозы у населения составили до 5 мЗв у 793 человек, от 5 до 100 мЗв — у 517 и более 100 мЗв — у 67, и можно говорить об отдалённом периоде после облучения. Исследования показали значимое влияние дозы облучения. Отмечено появление помутнений в ядре хрусталика и задней капсуле [36].

В рассматриваемых медицинских технологиях персонал также подвергается хроническому облучению. По данным, полученным в Казани [37], эквивалентные дозы на хрусталик глаза у 11 врачей и 15 медицинских сестёр КЭВХ составили от <2 до 16,92 мЗв за 3 месяца. У 7 обследованных врачей из 21 эквивалентные дозы в хрусталике глаза превышали либо были близки к 20 мЗв в год. При клиническом обследовании у 5 из 7 врачей в возрасте от 30 до 70 лет выявлены гиперэхогенные включения в витреальной полости в отсутствие сосудистых изменений, характерных для пожилых людей; имелись изменения, характерные для синдрома сухого глаза (жалобы на неприятные ощущения в глазах, скудное отделяемое слизистого характера из конъюнктивальной полости, покраснение глаз в вечернее время, «мушки» в левом глазу, зуд, ощущение инородного тела, складка конъюнктивы снаружи от лимба, истончение слёзного ручья), а также снижение времени разрыва слёзной плёнки при проведении пробы Норна. У 4 из 5 обследуемых выявлена поверхностная инъекция конъюнктивы глазного яблока и у 1 врача — пигментация конъюнктивы. У 2 врачей (45 и 70 лет) определена сенильная дуга роговицы, описанная в литературе как изменение роговицы у пожилых людей (по данным Всемирной организации здравоохранения, пожилой возраст — 60 лет и более). При проведении клинического обследования у одного из врачей КЭВХ (возраст 34 года, годовая эквивалентная доза на хрусталик 18,7 мЗв) выявлена следующая патология органа зрения: поражение конъюнктивы глаза, синдром «сухого» глаза, поражение (деструкция) стекловидного тела, уплотнение ядра хрусталика. Авторы полагают, что выявленные изменения могут быть связаны с воздействием источников ионизирующего излучения. Указано на возможность развития патологического процесса под воздействием малых доз, обусловленного развитием окислительного стресса и высвобождением свободных радикалов [38, 39].

Ограничения исследования

Ограничения по временному интервалу от одного до нескольких месяцев; сбор данных по лучевой нагрузке медицинского персонала; ограниченный спектр организаций, в которых проводился сбор данных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Во всех случаях оценки годовых эквивалентных доз на хрусталик глаза с учётом количества проводимых операций расчётные годовые дозы врачей КЭВХ превышали уровень 20 мЗв и находилась в диапазоне от 35 до 90 мЗв, для среднего медицинского персонала — от 6 до 19 мЗв. В двух наблюдениях расчётная доза на хрусталик составила >150 мЗв (медсестра учреждения «А» — 185 мЗв, «врач-оператор» учреждения «С» — 225 мЗв).

Показано, что предел дозы на хрусталик может быть достигнут при проведении врачами КЭВХ более 200 операций, а в ряде наблюдений — менее 70 для врача и 50 для медицинской сестры.

Ведущим фактором формирования дозы облучения в КЭВХ является расстояние от рабочего места до зоны пучка рентгеновского излучения, которое в определённой степени связано с профессиональным поведением персонала.

На основании имеющихся данных можно предположить стохастический характер повреждения органа зрения в рассматриваемом диапазоне доз.

Воздействие, возможно, может проявляться развитием патологии в более раннем возрасте, нежели у лиц, не подверженных облучению, даже при отсутствии статистических различий в группах сравнения.

Дозы на кожу рук персонала различных специальностей могут быть близки и даже превышать нормируемый годовой предел (500 мЗв) в 2 раза и более.

На данном этапе, помимо мониторинга уровней облучения отдельных органов и тканей у персонала в современных медицинских технологиях, необходима организация эпидемиологических исследований и разработка практических рекомендаций по защите с применением средств индивидуальной и коллективной защиты с учётом факторов, влияющих на формирование доз облучения.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении поисково-аналитической работы.

Конфликт интересов. Данная статья подготовлена авторским коллективом в рамках НИР «Научное развитие медико-технологических и организационных аспектов обеспечения радиационной безопасности при оказании медицинской помощи», (№ ЕГИСУ: №123031500006-9) в соответствии с Приказом от 21.12.2022 г. № 1196 "Об утверждении государственных заданий, финансовое обеспечение которых осуществляется за счет средств бюджета города Москвы государственным бюджетным (автономным) учреждениям подведомственным Департаменту здравоохранения города Москвы, на 2023 год и плановый период 2024 и 2025 годов" Департамента здравоохранения города Москвы.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение поисково-аналитической работы и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: С.А. Рыжкин — идея работы, проведение экспериментальных исследований, сбор материала, подготовка статьи; Ю.В. Дружинина, З.А. Лантух — поиск публикаций по теме, подготовка и редактирование статьи; И.В. Солдатов — подготовка и редактирование статьи; В.Н. Лесняк, Д.П. Лебедев, Д.Н. Самочатов — организация исследований, сбор материала; М.П. Семенова — подготовка и редактирование, перевод на английский язык; В.А. Сухов — поиск

публикаций по теме, организация исследований, сбор материала; С.Е. Охрименко — поиск публикаций по теме, идея работы, проведение экспериментальных исследований, сбор материала, подготовка статьи.

Благодарности. Авторы выражают искреннюю благодарность академику РАН Л.А. Ильину за его рекомендации в области мониторинга хрусталика глаза и разработки мер по защите органа зрения.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This article was prepared by a group of authors as a part of the research and development effort titled "Scientific advances in medical, technological and organizational aspects of radiation safety in health care" (USIS No.:№123031500006-9) in accordance with the Order No. 1196 dated December 21, 2022 "On approval of state assignments funded by means of allocations from the budget of the city of Moscow to the state budgetary (autonomous) institutions subordinate to the Moscow Health Care Department, for 2023 and the planned period of 2024 and 2025" issued by the Moscow Health Care Department.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов С.И., Логинова С.В., Аكوпова Н.А., и др. Проблемы дозиметрии хрусталика глаза // Радиобиология и радиационная безопасность. 2014. Т. 59, № 4. С. 67–72.
2. International Commission on Radiological Protection [интернет]. ICRP, 1996. Conversion coefficients for use in radiological protection against external radiation. ICRP Publication 74. Ann. ICRP 26 (3–4). Режим доступа: <https://icrp.org/publication.asp?id=ICRP+Publication+74>. Дата обращения: 15.04.2023.
3. International Atomic Energy Agency [интернет]. Radiation protection and safety of radiation sources: International basic safety standards. Interim edition. IAEA, 2011. 329 p.
4. International Atomic Energy Agency [интернет]. Radiation protection and safety of radiation sources: International basic safety standards. No. GSR Part 3. Vienna, IAEA, 2015. 436 p. Режим доступа: <https://www.iaea.org/publications/8930/radiation-protection-and-safety-of-radiation-sources-international-basic-safety-standards>. Дата обращения: 15.04.2023.
5. International Commission on Radiological Protection [интернет]. ICRP, 2007. The 2007 recommendations of the international commission on radiological protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2–4). Режим доступа: <https://icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20103>. Дата обращения: 15.04.2023.
6. International Commission on Radiological Protection [интернет]. ICRP statement on tissue reactions. Ref. 4825-3093-1464, April 21, 2011. Режим доступа: <https://icrp.org/docs/2011%20Seoul.pdf>. Дата обращения: 15.04.2023.
7. International Commission on Radiological Protection [интернет]. 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. Режим доступа: <https://www.iaea.org/publications/10628/implications-for-occupational-radiation-protection-of-the-new-dose-limit-for-the-lens-of-the-eye>. Дата обращения: 15.04.2023.
8. International Commission on Radiological Protection [интернет]. ICRP, 2012 ICRP statement on tissue reactions / early and late effects of radiation in normal tissues and organs: threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. ICRP Publication 118. Ann. ICRP 41(1/2). Режим доступа: <https://icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20118>. Дата обращения: 15.04.2023.
9. UNSCEAR 2010 Report [интернет]. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2010. Summary of low-dose radiation effects on health. United Nations, New York, 2011. P. 51–64. Режим доступа: https://www.unscear.org/docs/reports/2010/UNSCEAR_2010_Report_M.pdf. Дата обращения: 15.04.2023.
10. Карпов Н.А., Охрименко С.Е., Иванов С.И., и др. Доза в хрусталике глаза: ближайшие перспективы // Всероссийская конференция с международным участием, посвященная 85-летию со дня рождения В.А. Кухтина: сборник материалов. Чебоксары, 3–4 апреля. Чебоксары, 2014. С. 235–236.
11. Nuclear Energy Agency [интернет]. NEA Expert Group on the Dose Limit for the lens of the eye launches survey. nuclear energy agency [cite 2020 April 8]. Режим доступа: https://oecd-nea.org/jcms/pl_40031/nea-expert-group-on-the-dose-limit-for-the-lens-of-the-eye-launches-survey. Дата обращения: 15.04.2023.
12. Коренков И.П., Охрименко С.Е., Шандала Н.К., и др. Оценка доз облучения хрусталика глаза и кожи персонала в современных медицинских технологиях // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2022. Т. 67, № 1. С. 44–49. doi: 10.12737/1024-6177-2022-67-1-44-49
13. Охрименко С.Е., Осипов А.Н., Коренков И.П., и др. Оценка доз облучения кожи рук в кардиоэндоваскулярной хирургии и количества двунитевых разрывов ДНК в культуре фибробластов кожи на фантоме кистей рук // Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Радиационная гигиена и непрерывное профессиональное

- образование: новые вызовы и пути развития», посвященная 65-летию кафедры радиационной гигиены и радиационной безопасности имени академика Ф.Г. Кроткова»: сборник тезисов, 27 октября 2022 года. Москва, 2022. С. 64–68.
- 14.** Охрименко С.Е., Коренков И.П., Прохоров Н.И., и др. Радиационно-гигиеническая оценка современных медицинских технологий // Гигиена и санитария. 2020. Т. 99, № 9. С. 939–946. doi: 10.47470/0016-9900-2020-99-9-939-946
- 15.** Шлеенкова Е.Н., Бажин С.Ю., Кайдановский Г.Н., и др. О необходимости проведения регулярного контроля доз облучения хрусталиков глаз у персонала, занятого на работах с использованием радиофармацевтических препаратов // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 3. doi: 10.21514/1998-426X-2021-14-3-101-111
- 16.** Wrzesień M. 18F-FDG production procedures as a source of eye lens exposure to radiation // J Radiol. 2018. Vol. 38, N 1. P. 382–393. doi: 10.1088/1361-6498/aaa287
- 17.** Wrzesień M. The effect of work system on the hand exposure of workers in 18F-FDG production centers // Australasian Physical Engineering Sci Med. 2018. Vol. 41. P. 541–548. doi: 10.1007/s13246-018-0644-9
- 18.** Охрименко С.Е., Коренков И.П., Яшкина Е.И., и др. Облучение кожи кистей рук в интервенционной кардиохирургии (доклад) // III Национальный конгресс с международным участием «Сысинские чтения», 16–18 ноября 2022 г. Москва, 2022.
- 19.** McParland B.J., Nosil J., Barry B. A survey of radiation exposure received by the staff at two cardiac catheterization laboratories // Br J Radiol. 1990. Vol. 63, N 755. P. 885–888. doi: 10.1259/0007-1285-63-755-885
- 20.** Steffanino G., Rossetti V., Rubichini F., et al. Short communication: Staff dose reduction during coronary angiography using low framing speed // Br J Radiol. 1996. Vol. 69, N 825. P. 860–864. doi: 10.1259/0007-1285-69-825-860
- 21.** Li I.B., Kai M., Takano K., et al. Occupational exposure in pediatric cardiac cauterization // Health Phys. 1995. Vol. 69, N 2. P. 261–264. doi: 10.1097/00004032-199508000-00011
- 22.** Medeiros R.D., Mennucci T.A. [Evolution of X-ray exposure dosage during coronary cineangiography. (In Portuguese)] // Arg Bras Cardiol. 1990. Vol. 55, N 1. P. 31–33.
- 23.** Karppinen J., Parviainen T., Servomaa A., Komppa T. Radiation risk and exposure of radiologists and patients during coronary angiography and percutaneous transluminal coronary angioplasty (PTCA) // Radiation Protection Dosimetry. 1995. Vol. 57, N 1–4. P. 481–485.
- 24.** David E.F., Andrew K., Christopher O., et al. The risk of radiation exposure to the eyes of the interventional pain // Physician Radiology Research and Practice. 2011. Vol. 2011. P. 609537. doi: 10.1155/2011/609537
- 25.** Vecchia E.D., Modenese A., Loney T. Risk of cataract in health care workers exposed to ionizing radiation: A systematic review // Med Lav. 2020. Vol. 111, N 4. P. 269–284. doi: 10.23749/mdl.v111i4.9045
- 26.** Morcillo A.B., Alejo L., Huerga C., et al. Occupational doses to the eye lens in pediatric and adult noncardiac interventional radiology procedures // Medical Physics. 2021. Vol. 48, N 4. P. 1956–1966. doi: 10.1002/mp.14753
- 27.** Merrachi N.A., Bouchard-Bellavance R., Perreault P. Eye lens dosimetry in interventional radiology: Assessment with dedicated Hp(3) dosimeters // Can Assoc Radiol J. 2021. Vol. 72, N 2. P. 317–323. doi: 10.1177/0846537120911755
- 28.** Thrapsanioti Z., Askounis P., Datsis I. Eye lens radiation exposure in Greek interventional cardiology article // Radiat Prot Dosimetry. 2017. Vol. 175, N 3. P. 344–356. doi: 10.1093/rpd/ncw356
- 29.** Domienik-Andrzejewska J., Kałużny P., Piernik G. Occupational exposure to ionizing radiation and lens opacity in interventional cardiologists // International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health. 2019. Vol. 32, N 5. P. 663–675. doi: 10.13075/ijomh.1896.01456
- 30.** Кайдановский Г.Н., Шлеенкова Е.Н. On problems of the lens of the eye radiation dose monitoring // Радиационная гигиена. 2016. Т. 9, № 3. С. 75–80. doi: 10.21514/1998-426X-2016-9-3-75-80
- 31.** Шлеенкова Е.Н., Голиков В.Ю., Кайдановский Г.Н., и др. 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
- 32.** UPCommons. Global access to UPC knowledge [интернет]. Ginjaume M., Carnicer A. Oramed: Optimization of radiation protection of medical staff. 2012. EURADOS Report 2012-02. Режим доступа: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/17229>. Дата обращения: 15.04.2023.
- 33.** Vanhavere F., Carinou E., Domienik J., et al. Measurements of eye lens doses in interventional radiology and cardiology: Final results of the ORAMED project // Radiation Measurements. 2011. Vol. 46, N 11. P. 1243–1247. doi: 10.1016/j.radmeas.2011.08.013
- 34.** EUR-Lex [интернет]. 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. Режим доступа: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2013/59/oj>. Дата обращения: 15.04.2023.
- 35.** Азизова Т.В., Хамада Н., Григорьева Е.С., и др. 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
- 36.** Микрюкова Л.Д., Крестинина Л.Ю., Епифанова С.Б. Изучение послых 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-2018-11-4-51-63
- 37.** Рыжкин С.А., Слесарева А.Н., Галева Г.З., и др. 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
- 38.** Галева Г.З., Рыжкин С.А., Сергеева С.Ю. Воздействие ионизирующего излучения на человека и орган зрения // Практическая медицина. 2016. Т. 99, № 7. С. 37–41.
- 39.** Рыжкин С.А., Галева Г.З., Сергеева С.Ю. Лучевая катаракта в свете современных научно-исследовательских достижений в офтальмологии (обзор) // Вестник медицинского института «РЕАВИЗ»: реабилитация, врач и здоровье. 2016. Т. 24, № 4. С. 37–42.

REFERENCES

1. Ivanov SI, Loginova SV, Akopova NA, et al. Problems of dosimetry of the eye lens. *Med Radiol Radiation Safety*. 2014;59(4):67–72. (In Russ).
2. International Commission on Radiological Protection [Internet]. ICRP, 1996. Conversion coefficients for use in radiological protection against external radiation. ICRP Publication 74. Ann. ICRP 26 (3–4). Available from: <https://icrp.org/publication.asp?id=ICRP+Publication+74>. Accessed: 15.04.2023.
3. International Atomic Energy Agency [Internet]. Radiation protection and safety of radiation sources: International basic safety standards. Interim edition. IAEA; 2011. 329 p.
4. International Atomic Energy Agency [Internet]. Radiation protection and safety of radiation sources: International basic safety standards. No. GSR Part 3. Vienna, IAEA; 2015. Available from: <https://www.iaea.org/publications/8930/radiation-protection-and-safety-of-radiation-sources-international-basic-safety-standards>. Accessed: 15.04.2023.
5. International Commission on Radiological Protection [Internet]. CRP, 2007. The 2007 recommendations of the international commission on radiological protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2–4). Available from: <https://icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20103>. Accessed: 15.04.2023.
6. International Commission on Radiological Protection [Internet]. ICRP statement on tissue reactions. Ref. 4825-3093-1464, April 21, 2011. Available from: <https://icrp.org/docs/2011%20Seoul.pdf>. Accessed: 15.04.2023.
7. International Commission on Radiological Protection [Internet]. 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. Available from: <https://www.iaea.org/publications/10628/implications-for-occupational-radiation-protection-of-the-new-dose-limit-for-the-lens-of-the-eye>. Accessed: 15.04.2023.
8. International Commission on Radiological Protection [Internet]. ICRP, 2012 ICRP statement on tissue reactions / early and late effects of radiation in normal tissues and organs: threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. ICRP Publication 118. Ann. ICRP 41(1/2). Available from: <https://icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20118>. Accessed: 15.04.2023.
9. UNSCEAR 2010 Report [Internet]. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2010. Summary of low-dose radiation effects on health. United Nations, New York; 2011. Available from: https://www.unscear.org/docs/reports/2010/UNSCEAR_2010_Report_M.pdf. Accessed: 15.04.2023.
10. Karpov NA, Okhrimenko SE, Ivanov SI, et al. Dose in the lens of the eye. In: All-Russian conference with international participation dedicated to the 85th anniversary of the birth V.A. Kuhtina: Collection of materials, 3–4 April. Cheboksary, 2014. P. 235–236. (In Russ).
11. Nuclear Energy Agency [Internet]. NEA Expert Group on the Dose Limit for the lens of the eye launches survey. nuclear energy agency [cite 2020 April 8]. Available from: https://oecd-nea.org/jcms/pl_40031/nea-expert-group-on-the-dose-limit-for-the-lens-of-the-eye-launches-survey. Accessed: 15.04.2023.
12. Okhrimenko SE, Korenkov IP, Shandala NK, et al. Dose assessment to the lens of the eye and skin of the personnel in advanced medical technologies. *Med Radiol Radiation Safety*. 2022;67(1):44–49. (In Russ).
13. Okhrimenko SE, Osipov AN, Korenkov IP, et al. Assessment of doses of irradiation of the skin of the hands in cardioendovascular surgery and the number of double-strand DNA breaks in the culture of skin fibroblasts on the phantom of the hands. In: Collection of abstracts of the All-Russian scientific and practical conference with international participation “Radiation hygiene and continuing professional education: New challenges and ways of development” dedicated to the 65th anniversary of the Department of Radiation Hygiene and Radiation Safety named after Academician F.G. Krotkov”, October 27, 2022. Moscow; 2022. P. 64–68. (In Russ).
14. Okhrimenko SE, Korenkov IP, Prokhorov NI, et al. Radiation-hygienic assessment of modern medical technologies. *Hygiene Sanitation*. 2020;99(9):939–946. (In Russ). doi: 10.47470/0016-9900-2020-99-9-939-946
15. Shleenkova EN, Bazhin SY, Kaidanovsky GN, et al. The necessity of regular dose monitoring for the eye lens of the staff working with radiopharmaceuticals. *Radiation Hygiene*. 2021;14(3):101–111. (In Russ). doi: 10.21514/1998-426X-2021-14-3-101-111
16. Wrzesień M. 18F-FDG production procedures as a source of eye lens exposure to radiation. *J Radiol*. 2018;(38):382–393. doi: 10.1088/1361-6498/aaa287
17. Wrzesień M. The effect of work system on the hand exposure of workers in 18F-FDG production centers. *Australasian Physical Engineering Sciences Med*. 2018;41(2):541–548. doi: 10.1007/s13246-018-0644-9
18. Okhrimenko SE, Korenkov IP, Yashkina EI, et al. Irradiation of the skin of the hands in interventional cardiac surgery (report). In: III National Congress with international participation “Sysin readings”, November 16–18, 2022. Moscow; 2022. (In Russ).
19. McParland BJ, Nosil J, Barry B. A survey of radiation exposure received by the staff at two cardiac catheterization laboratories. *Br J Radiol*. 1990;63(755):885–888. doi: 10.1259/0007-1285-63-755-885
20. Steffanino G, Rossetti V, Rubichini F, et al. Short communication: Staff dose reduction during coronary angiography using low framing speed. *Br J Radiol*. 1996;69(825):860–864. doi: 10.1259/0007-1285-69-825-860
21. Li IB, Kai M, Takano K, et al. Occupational exposure in pediatric cardiac cauterization. *Health Phys*. 1995;69(2):261–264. doi: 10.1097/00004032-199508000-00011
22. Medeiros RD, Mennucci TA. [Evolution of X-ray exposure dosage during coronary cineangiography. (In Portuguese)] *Arg Bras Cardiol*. 1990;55(1):31–33.
23. Karppinen J, Parviainen T, Servomaa A, Komppa T. Radiation risk and exposure of radiologists and patients during coronary angiography and percutaneous transluminal coronary angioplasty (PTCA). *Radiation Protection Dosimetry*. 1995;57(1-4):481–484.
24. David EF, Andrew K, Christopher O, Sanjog P. The risk of radiation exposure to the eyes of the interventional pain. *Physician Radiol Res Practice*. 2011;2011:609537. doi: 10.1155/2011/609537
25. Vecchia ED, Modenese A, Loney T. Risk of cataract in health care workers exposed to ionizing radiation: A systematic review. *Med Lav*. 2020;111(4):269–284. doi: 10.23749/mdl.v111i4.9045
26. Morcillo AB, Alejo L, Huerga C, et al. Occupational doses to the eye lens in pediatric and adult noncardiac interventional radiology procedures. *Med Physics*. 2021;48(4):1956–1966. doi: 10.1002/mp.14753
27. Merrachi NA, Bouchard-Bellavance R, Perreault P. Eye lens dosimetry in interventional radiology: Assessment with dedicated Hp(3) dosimeters. *Can Assoc Radiol J*. 2021;72(2):317–323. doi: 10.1177/0846537120911755
28. Thrapsanioti Z, Askounis P, Datseris I, et al. Eye lens radiation exposure in Greek interventional cardiology article. *Radiation Protection Dosimetry*. 2017;175(3):344–356. doi: 10.1093/rpd/ncw356

29. Domienik-Andrzejewska J, Kałużny P, Piernik G. Occupational exposure to ionizing radiation and lens opacity in interventional cardiologists. *Int J Occupational Med Environmental Health*. 2019;32(5):663–675. doi: 10.13075/ijomeh.1896.01456
30. Kaydanovsky GN, Shleenkova EN. On problems of the lens of the eye radiation dose monitoring. *Radiation Hygiene*. 2016;9(3):75–80. (In Russ). doi: 10.21514/1998-426X-2016-9-3-75-80
31. Shleenkova EN, Golikov VY, Kaidanovsky GN, et al. Results of eye lens doses control of medical personnel in St. Petersburg. *Radiation Hygiene*. 2019;12(4):29–36. (In Russ). doi: 10.21514/1998-426X-2019-12-4-29-36
32. UPCommons. Global access to UPC knowledge [Internet]. Ginjaume M, Carnicer A. Oramed: Optimization of radiation protection of medical staff. 2012. EURADOS Report 2012-02. Available from: <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/17229>. Accessed: 15.04.2023.
33. Vanhavere F, Carinou E, Domienik JL, et al. Measurements of eye lens doses in interventional radiology and cardiology: Final results of the ORAMED project. *Radiation Measurements*. 2011;46(11):1243–1244. doi: 10.1016/j.radmeas.2011.08.013
34. EUR-Lex [Internet]. 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. Available from: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2013/59/oj>. Accessed: 15.04.2023.
35. Azizova TV, Hamada N, Grigorjeva ES, Bragin EV. Risk of various types of cataracts in the cohort of workers exposed to occupational chronic radiation. *Med Radiology Radiation Safety*. 2020;65(4):48–57. (In Russ). doi: 10.12737/1024-6177-2020-65-4-48-57
36. Mikryukova LD, Krestinina LY, Epiphanova SB. 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. *Radiation Hygiene*. 2018;11(4):51–63. (In Russ). doi: 10.21514/1998-426X-2018-11-4-51-63
37. Ryzhkin SA, Slesareva AN, Galeeva GZ, Ivanov SI. 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. *Radiation Risks*. 2017;26(3):90–99. (In Russ). doi: 10.21870/0131-3878-2017-26-3-90-99
38. Galeeva GZ, Ryzhkin SA, Sergeeva SU. The effect of ionizing radiation on a person and the organ of vision. *Practical Med*. 2016; 99(7): 37–41. (In Russ).
39. Ryzhkin SA, Galeeva GZ, Sergeeva SU. Radiation cataract in the light of modern research achievements in ophthalmology (review). *Bulletin Medical Institute REAVIZ: Rehabilitation Doctor Health*. 2016;24(4):37–42. (In Russ).

ОБ АВТОРАХ

* Дружинина Юлия Владимировна;

адрес: Россия, 127051, Москва, ул. Петровка, д. 24, стр. 1;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3230-3722>;
eLibrary SPIN: 1973-2848; e-mail: druzhininaYV2@zdrav.mos.ru

Рыжкин Сергей Александрович;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2595-353X>;
eLibrary SPIN: 5955-5712; e-mail: rsa777@inbox.ru

Лантух Зоя Александровна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6623-9610>;
eLibrary SPIN: 5486-6496; e-mail: LantukhZA@zdrav.mos.ru

Солдатов Илья Владимирович;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4867-0746>;
eLibrary SPIN: 4065-6048; e-mail: SoldatovIV2@zdrav.mos.ru

Лесняк Виктор Николаевич;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2739-0649>;
eLibrary SPIN: 5483-3113; e-mail: lesnyak_kb83@mail.ru

Лебедев Дмитрий Петрович;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1551-3127>;
eLibrary SPIN: 4770-5722; e-mail: lebedevdp@gmail.com

Самочатов Денис Николаевич;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5230-2006>;
eLibrary SPIN: 3340-2715; e-mail: dnsamochatov@gmail.com

Семенова Мария Петровна;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0904-0415>;
eLibrary SPIN: 7205-0062; e-mail: mps-fmbc@yandex.ru

Сухов Виталий Александрович;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2993-0108>;
e-mail: cyxowv@gmail.com

Охрименко Сергей Евгеньевич;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8282-1798>;
eLibrary SPIN: 6595-4011; e-mail: ooniii@mail.ru

AUTHORS' INFO

* Yuliya V. Druzhinina;

address: 24/1 Petrovka street, 127051 Moscow, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3230-3722>;
eLibrary SPIN: 1973-2848; e-mail: druzhininaYV2@zdrav.mos.ru

Sergey A. Ryzhkin;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2595-353X>;
eLibrary SPIN: 5955-5712; e-mail: rsa777@inbox.ru

Zoya A. Lantukh;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6623-9610>;
eLibrary SPIN: 5486-6496; e-mail: LantukhZA@zdrav.mos.ru

Ilya V. Soldatov;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4867-0746>;
eLibrary SPIN: 4065-6048; e-mail: SoldatovIV2@zdrav.mos.ru

Viktor N. Lesnyak;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2739-0649>;
eLibrary SPIN: 5483-3113; e-mail: lesnyak_kb83@mail.ru

Dmitriy P. Lebedev;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1551-3127>;
eLibrary SPIN: 4770-5722; e-mail: lebedevdp@gmail.com

Denis N. Samochatov;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5230-2006>;
eLibrary SPIN: 3340-2715; e-mail: dnsamochatov@gmail.com

Maria P. Semenova;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0904-0415>;
eLibrary SPIN: 7205-0062; e-mail: mps-fmbc@yandex.ru

Vitaly A. Sukhov;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2993-0108>;
e-mail: cyxowv@gmail.com

Sergey E. Okhrimenko;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8282-1798>;
eLibrary SPIN: 6595-4011; e-mail: ooniii@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author