

## Инструментальное исследование доз облучения и условий работы персонала рентгенохирургических бригад

Г.Н. Кайдановский<sup>1</sup>, Е.Н. Шлеенкова<sup>1</sup>, С.Ю. Бажин<sup>1</sup>, В.А. Ильин<sup>1</sup>, В.А. Тарита<sup>2</sup>, В.Б. Фирсанов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева, Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий России, Санкт-Петербург, Россия

*Целью исследования являлась экспериментальная оценка условий формирования и величин эквивалентных доз облучения хрусталиков глаз, а также эффективных доз облучения персонала рентген-операционных кардиологического профиля. Особое внимание к контролю облучения хрусталиков глаз обусловлено необходимостью гармонизировать отечественные нормативные документы с новым стандартом безопасности МАГАТЭ GSR Part 3. Исследование было выполнено с использованием комплексного фантома, включающего антропоморфный фантом головы человека и водяной фантом, имитирующий торс участника рентгенохирургической бригады. Результаты оценок индивидуальных доз облучения хрусталиков глаз, полученных как на основании интегральных измерений методами термолюминесцентной дозиметрии, так и расчетным путем на основании измерений мощности амбиентного эквивалента дозы на рабочих местах персонала, показали, что при максимальных параметрах работы рентгеновской трубки (высокое напряжение и большое количество кадров в секунду) значения годовых доз облучения хрусталиков глаз даже у ассистирующего персонала могут достигать значений нового рекомендованного предела дозы в 20 мЗв. Выполненная оценка соотношения между дозами облучения всего тела (грудь), шеи и хрусталиков глаз показала возможность оценки доз облучения хрусталиков глаз у ассистирующего персонала рентгенохирургических бригад с помощью термолюминесцентного дозиметра, размещенного над защитным фартуком в области шеи. Для рассматриваемой категории персонала приоритетным является контроль за облучением именно хрусталиков глаз, а не всего тела.*

**Ключевые слова:** хрусталик глаза, рентген-операционная, индивидуальная дозиметрия.

### Введение

Особое внимание к дозам облучения хрусталиков глаз обусловлено необходимостью гармонизации отечественных нормативных документов с международными. В стандарте безопасности МАГАТЭ GSR Part 3 [1] вводится новое значение годового предела эквивалентной дозы внешнего облучения хрусталика глаза, равное 20 мЗв, усредненное за 5 последовательных лет, но не более 50 мЗв за любой отдельный год. В связи с этим в зарубежной научной литературе за последние 10 лет, согласно данным международной поисковой системы Pubmed [2], опубликовано более 500 исследований. Отдельно следует выделить ряд статей [3–5], посвященных контролю облучения хрусталиков глаз медицинского персонала, наиболее точно раскрывающих проблематику текущего исследования. В документе МАГАТЭ

[6] и Публикации 139 МКРЗ [7] приводятся результаты исследования, которое показало, что частота помутнения хрусталиков у интервенционистов оказалась в 4–5 раз выше, чем у необлученных лиц в контрольной группе (примерно 40–50% против 10%). В работах отечественных авторов [8–10] также рассматривается проблема облучения хрусталиков глаз медицинского персонала г. Санкт-Петербурга, а в статье [11] приведены результаты исследования доз облучения хрусталиков глаз персонала, работающего с радиофармацевтическими препаратами. В отечественной литературе данному вопросу уделено меньше внимания по причине достаточно высокого действующего предела дозы на хрусталик глаза персонала группы А, равного 150 мЗв в год. Снижение годового предела эквивалентной дозы внешнего облучения хрусталика глаза, установленного

**Шлеенкова Екатерина Николаевна**

Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева  
Адрес для переписки: 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: eshleenkova@mail.ru

Нормами радиационной безопасности (НРБ-99/2009)<sup>1</sup>, и гармонизация с принятым стандартом МАГАТЭ пределом в 20 мЗв – дело ближайшего будущего. Подготовка к такому переходу требует детального изучения как условий работы, так и реальных доз облучения персонала рентгенохирургических бригад.

**Цели исследования** – 1) экспериментальная оценка условий формирования и величин эквивалентных доз облучения хрусталиков глаз, а также эффективных доз облучения персонала рентген-операционной, где проводятся преимущественно операции кардиологического профиля (коронаропластика, шунтография, ангиопластика, стентирование, баллонная пластика); 2) выявление возможности оптимизации количества используемых термолюминесцентных дозиметров (ТЛД) членами рентгенохирургических бригад.

Поставленные цели достигались путем решения следующих конкретных задач: измерение мощности амбиентного и направленного эквивалента дозы в местах размещения каждого из членов операционной бригады и в месте нахождения фантома; измерение индивидуальных эквивалентов доз  $H_p(10)$  и индивидуальных эквивалентов доз облучения хрусталиков глаз  $H_p(3)$  отдельных членов бригад с помощью ТЛД и расчетным способом; измерение индивидуальных эквивалентов доз  $H_p(10)$  и индивидуальных эквивалентов доз  $H_p(3)$  облучения хрусталиков глаз фантома, размещенного в рентген-операционной за все время проведения исследований с помощью ТЛД и расчетным способом; сопоставление и анализ полученных результатов.

### Материалы и методы

Измерения проводились в рентген-операционной Всероссийского центра экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова МЧС России (ВЦЭРМ им. А.М. Никифорова МЧС России). Измерения продолжались в период с 02.08.2021 г. по 14.10.2021 г. (2,5 месяца)

На весь период проведения измерений в рентген-операционной был установлен комплексный фантом, включающий в себя водяной фантом в форме параллелепипеда с закругленными гранями объемом 30 л, имитирующий торс участника рентгенохирургической бригады, с установленным сверху антропоморфным тканеэквивалентным фантомом головы человека<sup>2</sup>, который владелец патента предоставил для проведения настоящего исследования. Фантом головы состоит из костей черепа с покровной мышечной тканью, головного мозга, пары глазных яблок с местами для размещения термолюминесцентных детекторов и век. Внешний вид фантома показан на рисунке 1. Фантом был размещен на расстоянии 2 м перпендикулярно к операционному столу за спиной рентгенохирурга, высота комплексного фантома составляла 1,7 м (средний рост участника бригады). За период



**Рис. 1.** Внешний вид фантома  
[Fig. 1. Appearance of the phantom]

исследования было выполнено 160 операций кардиологического профиля, общее время всех операций составило 114,25 ч (в течение всех этих операций фантом находился в рентген-операционной).

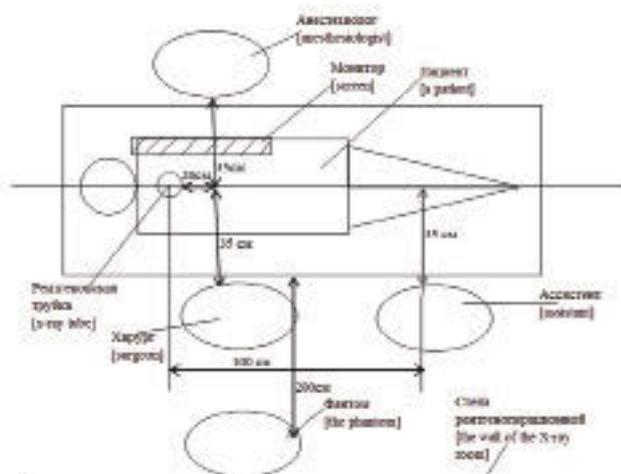
В проводимом нами исследовании приняли участие 3 рентгенохирургические бригады, каждая из которых включала хирурга, анестезиолога и ассистента. В отличие от исследования, описанного в работе [12], где была возможность измерения индивидуальных эквивалентов доз за одну операцию и исследования [5], где измерения проводились за рабочий день, в данном исследовании приводятся результаты доз, накопленных персоналом каждой из бригад за все время наблюдения (2,5 месяца). 3 операционными бригадами, которые использовали индивидуальные дозиметры, выполнена 71 операция за общее время 52,08 ч (кроме этих бригад, согласившихся на эксперимент, в рентген-операционной работали и другие бригады, в связи с этим количество операций и время операций, проведенных 3 бригадами, отличается от общего количества операций, при которых фантом находился в операционной). Взаимное расположение участников рентгенохирургических бригад относительно операционного стола при проведении операций схематично показано на рисунке 2.

Все интервенционные исследования выполнялись на рентгеновском аппарате Artis Zee (фирма «Siemens», 2011 г.), выполненном по типу С-дуга. Согласно руководству по эксплуатации на данный аппарат, напряжение на трубке может меняться от 50 до 125 кВ, а скорость съемки – от 4 до 30 кадров/с. Все исследования выполнялись с автоматическим контролем экспозиции, при котором напряжение и сила тока на трубке автоматически меняются в режиме реального времени в зависимости от толщины и плотности анатомической области исследования.

При исследовании использовались следующие средства измерений: дозиметр RAM ION, с помощью которого были измерены мощности амбиентных и направлен-

<sup>1</sup> Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности. Зарегистрировано в Минюсте РФ 14.08.2009 г. № 14534 [Sanitary rules and norms. SanPiN 2.6.1.2523-09. Norms of the radiation safety (NRB 99/2009). Registered in the Ministry of Justice of the Russian Federation 14.08.2009 N 14534. (In Russ.)]

<sup>2</sup> Патент на полезную модель № 161345, владелец патента – Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины Федерального медико-биологического агентства (Санкт-Петербург, Россия) (RU) [Utility model patent No. 161345, patent holder – Research Institute of Industrial and Maritime Medicine of the Federal Medical Biological Agency, (St. Petersburg, Russia) (RU) (In Russ.)]



**Рис. 2.** Схема взаимного расположения участников рентгенохирургических бригад относительно операционного стола при проведении операций, использовавшаяся для проведения измерений

[Fig. 2. Scheme of the relative position of the members of the X-ray surgical teams relative to the operating table during operations, used for measurements]

ных эквивалентов доз на местах размещения персонала и фантома; диапазон измерений мощности амбиентного эквивалента дозы  $H'(10)$  фотонного излучения, мощности направленного эквивалента дозы  $H'(3)$  фотонного излучения от  $1 \text{ мкЗв}\cdot\text{ч}^{-1}$  до  $500 \text{ мЗв}\cdot\text{ч}^{-1}$ .

Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений дозиметра RAM ION для мощности амбиентного эквивалента дозы  $H'(10)$  фотонного излучения не превышали  $\pm 15\%$ ; для мощности направленного эквивалента дозы  $H'(3)$  фотонного излучения не превышали  $\pm 20\%$ .

Были использованы индивидуальные термолюминесцентные дозиметры (ТЛД), откалиброванные для измерения индивидуальных эквивалентов доз  $H_p(10)$  персонала и фантома; индивидуальные термолюминесцентные дозиметры типа Eye-D, использованные для измерения индивидуального эквивалента доз облучения хрусталика глаза  $H_p(3)$ ; термолюминесцентные детекторы типа ДТГ-4, раз-

мещенные непосредственно в глазах фантома головы. Считывание производилось с помощью комплекса дозиметрического термолюминесцентного «ДОЗА-ТЛД». Диапазон измерения индивидуального эквивалента дозы  $H_p(10)$  фотонного излучения:  $20,0 \text{ мкЗв} - 10 \text{ Зв}$ , диапазон измерения индивидуального эквивалента дозы в хрусталиках глаз  $H_p(3)$  фотонного и бета-излучения:  $20,0 \text{ мкЗв} - 10 \text{ Зв}$ . Основная относительная погрешность измерения индивидуальных эквивалентов дозы  $H_p(10)$  и  $H_p(3)$  фотонного излучения с энергией от  $15 \text{ кэВ}$  до  $3 \text{ МэВ}$  не превышает  $\pm 20\%$ .

Индивидуальные дозиметры для контроля облучения хрусталиков глаз носили только ассистенты (дозиметры размещались на резинке на голове, таким образом, что дозиметр оказывался на уровне глаза со стороны источника излучения). В связи с тем, что рентгенохирурги и анестезиологи не смогли обеспечить регулярное ношение предложенных им ТЛД-дозиметров, они были исключены из рассмотрения, так как, согласно 139 Публикации МКРЗ [7], только правильное и регулярное ношение персоналом индивидуальных дозиметров позволяет правильно оценить дозы облучения персонала, полученные при проведении интервенционных исследований, ввиду очень сложной и неравномерной геометрии полей облучения при данном виде медицинского исследования.

Ассистенты, в отличие от рентгенохирургов и анестезиологов, как правило, не находятся в прямой проекции пучка, и их облучение (без учета использования средств индивидуальной защиты (СИЗ)) можно считать достаточно равномерным. В дальнейшем в данной работе мы будем больше концентрироваться на этой категории персонала, т.к. рентгенохирурги и анестезиологи требуют более детального дальнейшего изучения.

Оценка доз облучения хрусталиков глаз  $H_p(3)$  и всего тела  $H_p(10)$  персонала и фантома производилась расчетным путем, на основе значений мощностей доз и времени облучения по формуле:

$$H_p(d) = t_2 \times H'(d), \tag{1}$$

где  $t_2$  – длительность работы источника излучения за весь период работы бригады и нахождения фантома в операционной (табл. 1);

Таблица 1

[Table 1

**Длительность и количество проведенных операций**

**Duration and number of operations performed]**

№ бригады [Brigade number]	Число операций [Number of operations]	Суммарное время операций, $t_1$ (ч) [Total time of operations, $t_1$ (h)]	Время работы источника излучения во время операций, $t_2$ (ч) [Operating time of the radiation source during operations, $t_2$ (h)]	Среднее время работы источника излучения во время проведения операций, диапазон, (мин) [Average operating time of the radiation source during operations, range, (min)]
1	42	31,67	8,61	8,83 (min 1,7; max 53,5)
2	8	7,33	1,39	11,93 (min 3,7; max 37,6)
3	21	13,08	2,01	7,29 (min 1,0; max 35,3)
Фантом [phantom]	160	114,25	23,95	–

$H'(d)$  – мощность амбиентного или направленного эквивалента дозы в операционной (табл. 2, 3).

Измерение мощности дозы на рабочих местах в позициях ассистента и анестезиолога (см. рис. 2) прибором RAM ION проводилось при напряжении на трубке 109 кВ, токе 559,4 мА, в импульсном режиме с частотой 30 снимков/с. Рентгеновская трубка размещалась под операционным столом, имеющим защитные шторы только в месте размещения хирурга. Измерения проводились только для задне-передней проекции облучения пациента; углы наклона трубки не изменяли.

### Результаты и обсуждение

Длительность, количество операций и время работы рентгеновской трубки приведены в таблице 1.

Как можно увидеть из таблицы 1, наибольшее количество операций выполнила бригада № 1, а длительность работы источника излучения во время операций может су-

щественно различаться в зависимости от типа процедуры и состояния сосудов пациента.

Результаты измерений мощностей амбиентного эквивалента дозы на уровне груди  $H'(10)$  и направленного эквивалента дозы на уровне хрусталика глаза  $H'(3)$  для различных позиций участников операционных бригад относительно ИИИ и операционного стола представлены в таблице 2.

Приведенные в таблице 2 данные показывают, что мощность дозы облучения анестезиолога и рентгенохирурга значительно выше, чем ассистента, это объясняется более близким нахождением анестезиолога и рентгенохирурга относительно рентгеновской трубки, при этом видно, что облучение рентгенохирурга наиболее неравномерно: мощность дозы на высоте 1,7 м и 1,5 м отличается в 0,7 раза.

Результаты оценочных расчётов и реальных измерений  $H_p(3)$  с помощью индивидуальных ТЛД ассистентов приведены в таблице 4.

Таблица 2

**Результаты измерения мощности амбиентного и направленного эквивалента дозы в условиях рентгенооперационной, выполненные дозиметром RAM ION**

[Table 2

**The results of measuring the ambient and directional dose equivalent rate in the conditions of the X-ray operating room, performed by the RAM ION dosimeter]**

Персонал [Personnel]	$H'(10)$ на высоте 1,5 м, мЗв/ч [ $H'(10)$ at a height of 1.5 m, mSv/h]	$H'(3)$ на высоте 1,7 м, мЗв/ч [ $H'(3)$ at a height of 1.7 m, mSv/h]
Хирург (позиция-1) [Surgeon (Position-1)]	3,20	2,20
Анестезиолог (позиция-2) [Anesthetist (Position-2)]	3,10	3,06
Ассистент хирурга (позиция-3) [Surgeon's assistant (Position-3)]	0,54	0,56

Таблица 3

**Результаты измерений доз, зарегистрированных термолюминесцентными дозиметрами, размещёнными на/в фантоме, и расчетные значения индивидуального эквивалента дозы**

[Table 3

**Results of measurements of doses registered by TLD placed on/in a phantom and calculated values of individual dose equivalent]**

Положение дозиметра [Dosimeter position]	Доза, измеренная ТЛД, мЗв [Dose measured by TLD, mSv]	Мощность дозы $H(d)^*$ , мЗв/ч [Dose rate $H(d)^*$ , mSv/h]	Расчетные значения дозы $H_p(d)$ , мЗв [Estimated dose $H_p(d)$ , mSv]
Грудь* [Breast*]	13,45	0,249	5,96
Шея* [Neck*]	11,83	0,219	5,24
Левый висок** [Left temple**]	13,84	0,256	6,13
Правый висок** [Right temple**]	7,18	0,132	3,16
Левый глаз** [Left eye**]	12,10	0,224	5,36
Правый глаз** [Right eye**]	11,19	0,207	4,96
Среднее [average]	11,65	0,22	5,16

\*Полученное значение дозы соответствует индивидуальному эквиваленту дозы  $H_p(10)$  [\*the resulting dose value corresponds to the individual dose equivalent  $H_p(10)$ ].

\*\*Полученное значение дозы соответствует индивидуальному эквиваленту дозы  $H_p(3)$  [\*\*the resulting dose value corresponds to the individual dose equivalent  $H_p(3)$ ].

**Результаты оценочных расчётов индивидуальных эквивалентов доз и реальных измерений  $H_p(3)$  с помощью индивидуальных ТЛД ассистентов**

**Results of estimation calculations of individual dose equivalents and real measurements of  $H_p(3)$  using individual TLD for assistants]**

№ бригады [Brigade number]	Специалист [Specialist]	Время облучения, ч [Time of exposure, h]	$H_p(10)$ , мЗв, расчёт по данным значений мощности дозы на высоте 1,5 м [ $H_p(10)$ , mSv, calculated from dose rate data at a height of 1.5 m]	$H_p(3)$ , мЗв, расчёт по данным значений мощности дозы [ $H_p(3)$ <sup>1</sup> , mSv, calculation from dose rate data]	$H_p(3)$ , мЗв, измеренная с помощью ТЛД [ $H_p(3)$ , mSv, measured with TLD]
1	Ассистент (дозиметр № 40) [Assistant (dosimeter № 40)]	8,61	4,65	4,82	1,42
2	Ассистент (дозиметр № 077) [Assistant (dosimeter № 077)]	1,39	0,75	0,77	0,37
3	Ассистент (дозиметр № 075) [Assistant (dosimeter № 075)]	2,01	1,08	1,12	0,36

При расчетах для оценки максимально возможных доз облучения хрусталика глаза анестезиологов и ассистентов нами были взяты значения мощности дозы направленного эквивалента  $H'(3)$ , измеренные прибором RAM ION при высоком значении напряжения на трубке 109 кВ, токе 559,4 мА и при максимальном количестве кадров в секунду (30 кадров/с) – данные в таблице 4 учитывали период работы 2,5 месяца, следовательно, годовые дозы могут оказаться в 4 раза выше представленных значений т.е. могут приблизиться к 20 мЗв. При проведении реальных операций мощность дозы меняется и зависит как от частоты рентгено съемки, так и от меняющегося во время операции напряжения на трубке. Наблюдение за работой бригады во время операции показало, что только хирург постоянно находится рядом с операционным столом. Ассистент и анестезиолог часть времени находятся за защитой в пультовой, где мощность дозы значительно ниже, и следовательно, значения доз облучения хрусталиков глаз ассистентов должны быть ниже, чем полученные нами максимальные значения, что подтверждается дозами, зарегистрированными ТЛД ассистента.

Результаты измерений доз облучения комплексного фантома, размещенного в помещении рентген-операционной, с помощью ТЛД и расчетным способом представлены в таблице 3.

Приведенные в таблице 3 данные по показаниям ТЛД и при измерении мощности дозы в разных точках на месте фантома показывают, что дозы облучения хрусталиков глаз практически совпадают с дозой, зарегистрированной дозиметром, размещенным на шее. При этом дозы, зарегистрированные дозиметрами, размещенными на висках, могут отличаться (из-за экранирования костями черепа). Различия в дозах, полученных с помощью ТЛД и расчетным способом, могут быть связаны с тем, что при моделировании эксперимента для измерения мощности дозы на месте нахождения фантома не учитывались динамические факторы, например, изменения положений членов рентгенохирургической бригады относительно

фантома или смена углов наклона рентгеновской трубки (РГ-трубки). При смоделированных экспериментальных измерениях рентгенохирург находился между РГ-трубкой и фантомом, как бы экранируя его, в реальности же он мог отодвигаться, и мощности дозы на фантом возрастали. Также при экспериментальных условиях трубка находилась в задне-передней проекции, и основной поток обратного излучения был направлен вниз, в случае же поворота РГ-трубки влево (в сторону рентгенохирурга и фантома) основной поток рассеянного излучения будет направлен в их сторону, увеличивая мощность дозы. Подробно про зависимость мощности дозы излучения на рабочем месте персонала от положения РГ-трубки написано в статье [13].

Фантом находился в операционной существенно дольше, чем все 3 бригады, участвовавшие в эксперименте. Поэтому данные значения могут быть использованы только для оценки соотношения между дозами облучения всего тела (грудь), шеи и хрусталиков глаз, а не для оценки потенциальных доз облучения хрусталиков глаз членов рентгенохирургической бригады.

Измерения мощности дозы были проведены нами только в передне-задней проекции, но данные, полученные на фантоме расчетным способом и методом ТЛД, подтверждают необходимость дальнейшего изучения условий формирования и величин эквивалентных доз облучения хрусталиков глаз рентгенохирургов. Поскольку рентгенохирург находится в максимальной близости к рентгеновской трубке и практически не покидает свое рабочее место на протяжении всей операции, его уровни облучения могут оказаться еще выше, чем полученные нами максимальные значения мощностей доз.

Несмотря на отдаленность фантома от операционного стола и возможное его частичное экранирование участниками рентгенохирургических бригад при проведении манипуляций, данные, полученные с использованием фантома, могут быть использованы для оценки соотношения между дозами облучения всего тела (грудь), шеи и хру-

сталиков глаз для ассистирующего персонала, так как данный персонал, в отличие от рентгенохирургов и анестезиологов, не находится в прямой проекции пучка и его облучение достаточно равномерно.

В таблице 5 приведены коэффициенты, с помощью которых можно оценить дозу облучения хрусталиков глаз по показаниям дозиметра, размещенного на шее, для различных позиций членов рентгенохирургической бригады. Для ассистирующего персонала в качестве консервативной оценки можно использовать значения показаний шейного дозиметра без переходных коэффициентов.

Таким образом, при невозможности использования ассистентом рентгенохирурга дополнительного дозиметра, откалиброванного в терминах индивидуального эквивалента дозы  $H_p(3)$ , возможно продолжать использовать существующий набор индивидуальных дозиметров для оценки эквивалентной дозы в хрусталиках глаз.

Особый интерес, с точки зрения организации радиационной защиты и проведения радиационного контроля, представляет вопрос о том, какие органы и ткани персонала являются наиболее облучаемыми – все тело или хрусталики глаз. Еще в 2013 г. [14] этот вопрос был рассмотрен рядом авторов в более широком смысле, а именно было показано, что даже при равномерном облучении тела че-

ловека фотонным излучением с энергией более 50,0 кэВ эквивалентная доза облучения хрусталика глаза всегда больше, чем эффективная доза, в 1,2–2,0 раза, а при энергии менее 50,0 кэВ это соотношение может достигать 5 раз даже при отсутствии средств защиты. В исследованиях на фантоме было показано, что для косвенной оценки доз облучения хрусталиков глаза можно использовать ТЛД, откалиброванный для измерения  $H_p(10)$  и размещаемый в области шеи (наиболее точный результат).

Для оценки соотношения доз облучения хрусталика глаза и всего тела нами были взяты результаты измерений квартальных индивидуальных эквивалентов доз облучения персонала отделения рентгенохирургических методов диагностики и лечения клинической межрайонной больницы в г. Гатчине. Нужно отметить, что по условиям труда участники рентгенохирургических бригад используют защитные фартуки, поэтому в постоянном индивидуальном дозиметрическом контроле они используют по 2 ТЛД. В таблице 6 приведены результаты измерения индивидуальных эквивалентов доз, зарегистрированных ТЛД, размещаемыми на груди под защитным фартуком  $H_{pr}(10)$  и над фартуком в области шеи  $H_{rsh}(10)$ . Там же приведены величины эффективных доз  $E$ , рассчитанных по формуле 6.5 п. 6.7.2 МУ 2.6.1.3015-12<sup>3</sup>:

Таблица 5

Соотношение между мощностью дозы на уровне хрусталика глаза (высота 1,7 м) и мощностью дозы на уровне шеи (высота 1,5 м) для участников рентгенохирургических бригад и фантома, и соотношение  $H_p(3)/H_p(10)$  для фантома по показаниям ТЛД

[Table 5]

Correlation between dose rate at the level of the lens of the eye (height 1.7 meters) and dose rate at the level of the neck (height 1.5 meters) for members of the CRS teams and phantom, and the ratio  $H_p(3)/H_p(10)$  for phantom according to TLD

Позиция [Position]	Соотношение $H'(3)/H^*(10)_{1,5 \text{ метра}}$ [Ratio $H'(3)/H^*(10)_{1,5 \text{ meters}}$ ]
Анестезиолог [Anesthetist]	0,98
Ассистент [Assistant]	1,03

Фантом [Phantom]	Соотношение $H_p(3)/H_p(10)$ по показаниям ТЛД [Ratio $H_p(3)/H_p(10)$ according to TLD indications]	Соотношение $H'(3)/H'(10)_{1,5 \text{ м}}$ [Ratio $H'(3)/H'(10)_{1,5 \text{ meters}}$ ]
Фантом [Phantom]	1,02	0,99

Таблица 6

Дозы облучения работников за один квартал, мЗв

[Table 6]

Exposure doses of workers for one quarter, mSv

Член бригады [Brigade member]	1	2	3	4	5	6	7	8
$H_{pr}(10)$	0,21	0,18	0,33	0,47	0,78	0,24	0,25	0,26
$H_{rsh}(10)$	0,40	2,73	1,13	1,03	6,39	3,36	0,61	1,14
$E$	0,14	0,18	0,23	0,31	0,63	0,23	0,17	0,19

<sup>3</sup> МУ 2.6.1.3015-12. Организация и проведение индивидуального дозиметрического контроля. Персонал медицинских организаций. Радиационная гигиена. 2012. 5(3). 77–86. [Methodical guidelines 2.6.1.3015-12. "Organization and management of individual dosimetry of medical staff". Radiatsionnaya gygiena = Radiation Hygiene. 2012;5(3):77-86 (In Russ.)]

$$E=0,60 \cdot H_{gr}(10)+0,025 \cdot H_{рш}(10), \text{ мЗв} \quad (2)$$

Ранее было показано, что по данным  $H_{рш}(10)$  можно консервативно оценить дозы облучения хрусталиков глаз. Видно, что эффективные дозы во всех случаях оказываются в 3–10 раз меньше, чем дозы облучения хрусталиков глаз, т.е. при превышении нового предела дозы облучения хрусталика глаза (20 мЗв) эффективная доза всегда будет ниже нормируемого значения. Это говорит о том, что при оценке потенциального радиационного вреда для здоровья персонала рентген-операционной, приоритетное значение могут иметь дозы облучения хрусталиков глаз, поэтому участникам рентгенохирургических бригад (главным образом рентгенохирургу) следует использовать подвесные рентгенозащитные экраны, а также специальные очки для защиты хрусталиков глаз [13].

### Заключение

Сопоставление и анализ результатов измерений, полученных с помощью различных средств измерения, позволили оценить дозы облучения хрусталиков глаз ассистирующего персонала у 3 бригад, участвовавших в настоящем исследовании. Показано, что при максимальных параметрах работы рентгеновской трубки (высокое напряжение и большое количество кадров с секунду) расчетные значения годовой эквивалентной дозы облучения хрусталиков глаз ассистентов могут достигать значений в 20 мЗв. Реально измеренные значения, однако, составляют меньше половины от полученных расчетных значений, что связано с тем, что они не находятся в операционной в течение всего периода работы РГ-трубки.

Результаты исследования явились основой для выработки требований по организации и проведению индивидуального дозиметрического контроля этой категории персонала<sup>4</sup>.

В результате проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

– при проведении дозиметрического контроля облучения хрусталиков глаз ассистирующего персонала, работающего в условиях рентген-операционной, чтобы оценить дозу облучения хрусталиков глаз, достаточно использовать 1 термолюминесцентный дозиметр, откалиброванный в единицах  $H_p(10)$ , размещенный над защитным фартуком в области шеи.

– при оценке потенциального радиационного вреда для здоровья персонала рентген-операционной приоритетное значение имеют дозы облучения хрусталиков глаз.

### Сведения о личном вкладе авторов в работу над статьей

Кайдановский Г.Н. – научное руководство исследованием, определение цели, разработка дизайна исследования, формулировка научных гипотез, сбор данных, обработка и анализ полученных результатов.

Шлеенкова Е.Н. – определение цели, поиск и анализ литературы, сбор данных, обработка и анализ полученных результатов, написание текста статьи.

Бажин С.Ю. – поиск и анализ литературы, анализ и интерпретация результатов, редактирование текста статьи, перевод.

Ильин В.А. – помощь в организации проведения исследования.

Тарита В.А. – помощь в организации проведения исследования, анализ результатов.

Фирсанов В.Б. – помощь в организации проведения исследования, анализ результатов.

### Благодарности

Авторы выражают свою благодарность Научно-исследовательскому институту промышленной и морской медицины Федерального медико-биологического агентства (Санкт-Петербург, Россия) за предоставленный фантом головы и сотрудникам рентген-операционной Всероссийского центра экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова МЧС России за помощь в сборе данных.

### Информация о конфликте интересов

Конфликт интересов отсутствует.

### Сведения об источнике финансирования

Работа выполнена на безвозмездной основе.

### Литература

1. International Atomic Energy Agency. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. GSR Part 3. Vienna: IAEA; 2015. 518 p. (In Russian).
2. Website National Library of Medicine. URL: [https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/?term=eye+lens+dosimetry&filter=datasearch\\_y\\_10](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/?term=eye+lens+dosimetry&filter=datasearch_y_10) (Дата обращения: 25.05.2023).
3. 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, Is. 11. P. 1243-1247.
4. Guidelines for Radiation Protection and Dosimetry of the Eye Lens. Nederlandse Commissie Voor Stralingsdosimetrie. Report 31 of the Netherlands Commission on Radiation Dosimetry, May 2018.
5. Merrachi N.A., Bouchard-Bellavance R., Perreault P., et al. Eye Lens Dosimetry in Interventional Radiology: Assessment With Dedicated Hp(3) Dosimeters // Canadian Association of Radiologists journal. 2021. Vol. 72, No 2. P. 317-323. doi: 10.1177/0846537120911755. Epub 2020 Mar 27. PMID: 32216558.
6. Radiation Protection of Patients (RPOP) – the leading resource for health professionals, patients and public on the safe and effective use of radiation in medicine. URL: <https://www.iaea.org/resources/rpop/health-professionals/interventional-procedures/interventional-cardiology/staff> Available on: <https://www.iaea.org/resources/rpop/health-professionals/interventional-procedures/interventional-cardiology/staff> (Дата обращения: 17.05.2023 г.).
7. ICRP, 2018. Occupational radiological protection in interventional procedures. ICRP Publication 139 // Annals of the ICRP. 2018. Vol. 47, No 2.
8. Иванов С.И., Логинова С.В., Аكوпова Н.А., и др. Проблемы дозиметрии хрусталика глаза // Медицинская радиоло-

<sup>4</sup> МУ 2.6.1.3015-12. Организация и проведение индивидуального дозиметрического контроля. Персонал медицинских организаций. Радиационная гигиена. 2012. 5(3). 77–86. [Methodical guidelines 2.6.1.3015-12. "Organization and management of individual dosimetry of medical staff". Radiation Hygiene. 2012;5(3):77-86. (In Russ.)]

- гия и радиационная безопасность. 2014. Т. 59, № 4, С. 67-72.
9. Кайдановский Г.Н., Шлеенкова Е.Н. О проблемах контроля доз облучения хрусталика глаза // Радиационная гигиена. 2016. Т. 9, № 3. С. 75-80.
  10. 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.
  11. 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 фармацевтических препаратов // Радиационная гигиена. 2021 Т. 14. № 3. С. 101-111.
  12. Čemusová Z., Ekdahl D., Judas L., Assessment of Eye Lens Doses in Interventional Radiology: A Simulation in Laboratory Conditions // Radiation Protection Dosimetry. 2016. Vol. 170, No 1-4. P. 256–260.
  13. Сарычева С.С. Особенности применения средств радиационной защиты для персонала рентгенохирургических операционных // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 4. С. 76-84. <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2021-14-4-76-84>.
  14. Рубцов В.И., Клочков В.Н., Требухин А.Б., и др. Контроль эквивалентной дозы облучения хрусталика глаза и оценка возможности ее снижения. // АНРИ. 2013. №3 (74). С. 32-37.

Поступила: 02.05.2023 г.

**Кайдановский Георгий Наумович** – исполняющий обязанности ведущего научного сотрудника лаборатории радиационного контроля Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

**Шлеенкова Екатерина Николаевна** – младший научный сотрудник лаборатории радиационного контроля Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: [eshleenkova@mail.ru](mailto:eshleenkova@mail.ru)

**Бажин Степан Юрьевич** – исполняющий обязанности заведующего лабораторией радиационного контроля, старший научный сотрудник Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

**Ильин Владимир Александрович** – техник-исследователь лаборатории радиационного контроля Санкт-Петербургского научно-исследовательского института радиационной гигиены имени профессора П.В. Рамзаева Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Санкт-Петербург, Россия

**Тарита Вольдемар Андреевич** – кандидат медицинских наук, доцент, ведущий научный сотрудник научно-исследовательского отдела биоиндикации научно-исследовательского центра, Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины имени А.М. Никифорова Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Санкт-Петербург, Россия

**Фирсанов Владимир Борисович** – ведущий электроник научно-исследовательского отдела биоиндикации научно-исследовательского центра, Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины имени А.М. Никифорова Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Санкт-Петербург, Россия

**Для цитирования:** Кайдановский Г.Н., Шлеенкова Е.Н., Бажин С.Ю., Ильин В.А., Тарита В.А., Фирсанов В.Б. Инструментальное исследование доз облучения и условий работы персонала рентгенохирургических бригад // Радиационная гигиена. 2023. Т. 16, № 4. С. 148-157. DOI: 10.21514/1998-426X-2023-16-4-148-157

## Instrumental study of radiation doses and working conditions for personnel of X-ray surgical teams

Georgiy N. Kaidanovsky<sup>1</sup>, Ekaterina N. Shleenkova<sup>1</sup>, Stepan Yu. Bazhin<sup>1</sup>, Vladimir A. Ilyin<sup>1</sup>, Voldemar A. Tarita<sup>2</sup>, Vladimir B. Firsanov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine, EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

*The purpose of the study was an experimental assessment of the conditions for the formation and values of equivalent doses of irradiation of the lenses of the eyes, as well as the effective doses of irradiation of personnel in X-ray operating rooms of a cardiological profile. Particular attention to the control of eye lens irradiation is due to the need to harmonize domestic regulatory documents with the new IAEA safety standard GSR Part 3. The study was performed using a complex phantom, including an anthropomorphic phantom of a human head and a water phantom imitating the torso of an X-ray surgical team member. The results of assessments of individual eye lens irradiation doses, obtained both on the basis of integrated measurements by thermoluminescent dosimetry methods, and by calculation based on measurements of the ambient dose equivalent rate at the personnel workplaces, showed that at the maximum operating parameters of the X-ray tube (high voltage and a large number of frames per second), annual doses to the lenses of the eyes, even for assisting personnel, may exceed the new recommended dose limit of 20 mSv. The assessment of the ratio between the doses of irradiation of the whole body (chest), neck and lenses of the eyes showed the possibility of estimating the doses of irradiation of the lenses of the eyes of the assisting personnel of X-ray surgical teams using a thermoluminescent dosimeter placed over a protective apron in the neck area. For the category of personnel under consideration, the priority is to control the irradiation of the lenses of the eyes, and not the whole body.*

**Key words:** eye lens, X-ray operating room, individual dosimetry.

### Personal contribution of authors

G.N. Kaidanovsky – scientific management of the study, determination of the goal, development of the design of the study, formulation of scientific hypotheses, data collection, processing and analysis of the results.

E.N. Shleenkova – defining the goal, searching and analyzing literature, collecting data, processing and analyzing the results, writing the text of the article.

S.Yu. Bazhin – search and analysis of literature, analysis and interpretation of the results, editing the text of the article, translation.

V.A. Ilyin – assistance in organizing the study.

V.A. Tarita – assistance in organizing the study, analysis of the results.

V.B. Firsanov – assistance in organizing the study, analysis of the results.

### Acknowledgements

The authors of the expression express their gratitude to the Research Institute of Industrial and Maritime Medicine of the Federal Medical Biological Agency, (St. Petersburg, Russia) for providing the head phantom and employees of the X-ray operating room Nikiforov Russian Center of Emergency and Radiation Medicine, EMERCOM of Russia for assistance in data collection.

### Sources of funding

The work was done free of charge.

### Information on the conflict of interest

There is no conflict of interest.

### References

1. International Atomic Energy Agency. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. GSR Part 3. Vienna: IAEA; 2015. 518 p. (In Russian)
2. Website National Library of Medicine. Available from: [https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/?term=eye+lens+dosimetry&filter=datesearch.y\\_10](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/?term=eye+lens+dosimetry&filter=datesearch.y_10) (Accessed:25.05.2023).
3. 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.
4. Guidelines for Radiation Protection and Dosimetry of the Eye Lens. Nederlandse Commissie Voor Stralingsdosimetrie. Report 31 of the Nederlands Commission on Radiation Dosimetry, May 2018.
5. Merrachi NA, Bouchard-Bellavance R, Perreault P, Gilbert P, Soulez G, Bouchard L, et al. Eye Lens Dosimetry in Interventional Radiology: Assessment With Dedicated Hp(3) Dosimeters. *Canadian Association of Radiologists journal*. 2021;72(2): 317-323. doi: 10.1177/0846537120911755. Epub 2020 Mar 27. PMID: 32216558.

**Ekaterina N. Shleenkova**

Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev

**Address for correspondence:** Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101; Russian Federation. E-mail: [eshleenkova@mail.ru](mailto:eshleenkova@mail.ru)

6. Radiation Protection of Patients (RPOP) – the leading resource for health professionals, patients and public on the safe and effective use of radiation in medicine. Available on: <https://www.iaea.org/resources/rpop/health-professionals/interventional-procedures/interventional-cardiology/staff> <https://www.iaea.org/resources/rpop/health-professionals/interventional-procedures/interventional-cardiology/staff> (Accessed: 17.05.2023)
7. ICRP, 2018. Occupational radiological protection in interventional procedures. ICRP Publication 139. *Annals of the ICRP*. 2018; 47(2).
8. Ivanov S., Loginova SV, Akopova NA, Okhrimenko SE, Nurlybaev KN. Problems of eye lens dosimetry. *Medical Radiology and Radiation Safety*. 2014;59(4): 67-72.
9. Kaydanovsky GN, Shleenkova EN. On the problems of controlling doses of irradiation of the lens of the eye. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2016;9(3): 75-80.
10. Shleenkova EN, Golikov VYu, Kaidanovsky GN, Bazhin SYu, Ilyin VA. Results of eye lens doses control of medical personnel in St. Petersburg. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2019;12(4):29-36. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2019-12-4-29-36>.
11. Shleenkova EN, Bazhin SYu, Kaidanovsky GN, Chipiga LA, Ilyin VA. About the requirements of regular monitoring of doses for the eye lens of the staff working with radiopharmaceuticals. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021;14(3):101-111. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2021-14-3-101-111>
12. Čemusová Z, Ekendahl D, Judas L. Assessment of Eye Lens Doses in Interventional Radiology: A Simulation in Laboratory Conditions. *Radiation Protection Dosimetry*. 2016;170(1-4): 256–260.
13. Sarycheva SS. Features of radiation protection equipment for the staff of X-ray operating rooms. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021;14(4): 76-84. (In Russian) <https://doi.org/10.21514/1998-426X-2021-14-4-76-84>.
14. Rubtsov VI, Klochkov VN, Trebukhin AB, Nefedov AYu, Klochkova EV, Nurlybaev KN, et al. Monitoring of Dose Equivalent to the Lens of the Eye and Evaluation of the Possibility of its Reduction. *ANRI = ANRI*, 2013;3(74): 32-37.

Received: May 02, 2023

**Georgiy N. Kaidanovsky** – acting Leading Researcher of the Laboratory of Radiation Control, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

**For correspondence: Ekaterina N. Shleenkova** – Junior Researcher of the Laboratory of Radiation Control, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being (Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia. E-mail: [eshleenkova@mail.ru](mailto:eshleenkova@mail.ru))

**Stepan Yu. Bazhin** – Head of the Laboratory of Radiation Control, Senior Researcher, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

**Vladimir A. Ilyin** – Technician-Researcher at the Laboratory of Radiation Control, Saint-Petersburg Research Institute of Radiation Hygiene after Professor P.V. Ramzaev, Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Saint-Petersburg, Russia

**Voldemar A. Tarita** – Candidate of medical sciences, Associate Professor, Leading Researcher of the Research Department of Bioindication of the Research Center, All-Russian Center for Emergency and Radiation Medicine named after A.M. Nikiforov of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Disaster Relief, St. Petersburg, Russia

**Vladimir B. Firsanov** – Leading Electronics Engineer of the Research Department of Bioindication of the Research Center, All-Russian Center for Emergency and Radiation Medicine named after A.M. Nikiforov of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Disaster Relief, St. Petersburg, Russia

**For citation: Kaidanovsky G.N., Shleenkova E.N., Bazhin S.Yu., Ilyin V.A., Tarita V.A., Firsanov V.B. Instrumental study of radiation doses and working conditions for personnel of X-ray surgical teams. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2023. Vol. 16, No. 4. P. 148-157. (In Russian). DOI: [10.21514/1998-426X-2023-16-4-148-157](https://doi.org/10.21514/1998-426X-2023-16-4-148-157)**