

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>

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。

引用本文：

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

论证

电离辐射源在今天的现代医疗实践中得到广泛应用。在使用电离辐射源时，心血管内外科、创伤科、泌尿科、神经外科、牙科的医生和护士，以及在普通外科手术室和重症监护室工作的人员都会接触到这些辐射。

护理人员和放射师在放射性同位素诊断部门接触到的辐射量最大。护理人员负责准备和注射放射性药物。放射师用伽玛照相机以及通过单光子发射断层扫描或与X射线计算机断层成像相结合的正电子发射计算机断层扫描（PET/CT）对病人进行检查。在这些情况下，人员会直接和永久地暴露在低强度的散射伽马射线和X射线辐射下。辐射被病人的身体散射，从外部物体反射，及影响工作人员的眼睛和皮肤。现有的数据允许计算出眼球晶状体的等效剂量与有效剂量的比率（在0.01至10 MeV的光子辐射能范围内）。得到的结果显示，在0.06至10 MeV的伽马射线能量范围内，眼球晶状体的等效剂量在数值上超过有效剂量约20%。在低于0.05 MeV的范围内，这一超出部分是几倍到几十倍。

因此，在眼球晶状体接受照射时，遵守有效剂量的基本剂量限制将不再确保遵守剂量限制。强穿透性的辐射类型对有效剂量有主要贡献，而弱穿透性辐射（ β 粒子、能量<15 keV的光子）在敏感性皮肤层和眼球晶状体中产生最大剂量[1, 2]。在国际放射防护委员会和国际原子能机构（IAEA）引入与减少晶状体的年度等效剂量限制（从150 mSv降低到20 mSv）并考虑到ALARA（As Low As Reasonably Achievable）原则，优化工作人员的辐射防护有关的建议之后，这一问题变得尤为重要[3-9]。

该研究的目的是评估医务人员在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关于工作人员的眼球晶状体和手部皮肤的辐射剂量数据进行比较。

材料和方法

作为我们研究的一部分，已经评估了医务人员在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。热释光剂量测定法（TLD）被用来评估剂量。使用了带有TLD-1011T（科技中心“Praktika”，俄罗斯）和TLD-100（美国）检测器的个人剂量当量Hp(3)剂量计。测量范围：30 μ Sv至12 Sv，能量0.005 MeV至10 MeV不等。剂量计被安装在工作人员的医疗帽的前额表面的中央部分，以进行曝光。暴露的日历时间为

3-6周，但记录了使用剂量计的总操作次数，这在评估和计算剂量时被考虑在内。

检测器是在莫斯科国立罗蒙诺索夫大学放射化学系的HARSHAW TLD system 4000（Thermo Scientific Ltd, 美国）上测量的。在获取热释光发光曲线和对检测器进行退火处理之后，使用了伽马射线源 ^{137}Cs （ $E_{\gamma}=661\text{ keV}$ ），型号为C2-5，以在空气中对检测器进行单独校准。在置信度为0.95的情况下，基本测量误差不超过10%。一些剂量计被暴露作为对照，以评估辐射背景的贡献。这些研究是在2014-2021年在莫斯科和喀山进行的。在莫斯科，研究是在三家城市医院的四个心血管内外科部门、一个泌尿科部门、一个内窥镜检查部门、俄罗斯联邦生物医药署系统医疗中心的心血管内外科部门、一家私人医疗中心的PET中心和牙科部门，以及RMANPO诊所的放射性核素诊断部门中进行的。在喀山，研究是在四个医疗机构的四个心血管内外科部门中进行的。在研究中，有61例眼球晶状体的等效剂量，包括46例心血管内外科人员（22名医生，24名护士），2例内镜检查人员，4例牙科人员，1例泌尿科人员，6例放射性同位素诊断部门的（ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 和 ^{18}F ）人员。

工作人员的临床检查是采用眼科检查进行的：视形测定法（有矫正和无矫正）；屈光检查、眼球结膜和玻璃体的生物显微镜检查；泪膜破裂时间检查；眼睛B超检查。

该研究设计的一个特点是评估个人的辐射剂量，由于每个受检者的辐射条件的特殊性，这些剂量没有被合并成一个统计总量。然而，这使我们有可能获得辐射剂量水平的范围和可能影响剂量形成的因素。

结果

有几种方法，以检查医护人员眼球晶状体的等效剂量。一种方法是佩戴热释光剂量计。这种剂量计被固定在医务人员头部的一个特定位置上，并持续一段预定的时间。在佩戴时间结束后，对眼球晶状体的个人剂量当量Hp(3)进行测量。这种方法在方法建议MU 2.6.1.3747-22¹中有所描述。2014年在莫斯科医疗机构的工作人员中进行了类似的测量眼球晶状体等效剂量的研究，对象是不同专业的员工。这项研究是与莫斯科国立罗蒙诺索夫大学放射化学系的辐射控制实验室联合进行的。TLD Hp(3)的曝光时间为一个日历月。表1给出结果。

对于心血管内外科医生来说，记录的数值最高。佩戴个人剂量计的责任完全由工作人员承担。这种方法的缺点是失去了一些关于剂量计操作次数的信息，而且关于剂量计实际操作次数的

¹ 方法规则MU 2.6.1.3747-22《控制工作人员眼球晶状体的个人外部辐射等效剂量》（2022年5月17日由俄罗斯联邦消费者权益保护和公益监督局批准）。访问方式：<https://base.garant.ru/405781929/>。

信息也不可靠。因此，测量个别时段的剂量，然后重新计算为年度剂量，并不是评估辐射效应的一个好选择。

评估工作人员眼球晶状体等效剂量的第二种方法是在一定数量的操作中测量累积剂量，同时进行个人剂量测定。这种方法允许估算出一个假定的干预性研究的平均剂量。根据操作的类型，干预性研究分为“诊断性”和“治疗性”的研究。诊断性干预研究一般持续20至30分钟，总辐照时间约为3-7分钟。治疗性干预研究持续时间更长（时间取决于手术的复杂性）。在一次观察中，手术时间为2.5小时，高压开机时间为28分钟。

表2-4给出我们研究的结果。

可以看出来，每次手术（操作）的剂量在不同的技术之间和同一专业内都有很大的差异。值得注意的是，心血管内外科护士的剂量非常高。特定专家的工作方法可能是一个重要因素。这些因素包括拍摄的次数和拍摄/检查的比例，等等。非常重要的人员（主要的外科医生和他的助手或护士）到直接辐射区的距离。后者可以被

定义为“专业行为”。在机构“A”中，心血管内外科医生的计算年度剂量为35至90 mSv，护士的达到180 mSv，放射性同位素诊断部门的护士的达到8 mSv。

表3给出在机构“B”中的眼球晶状体剂量的评估结果。因此，在机构“B”中，医生眼球晶状体的计算年度等效剂量为60 mSv，而护理人员的在6至18 mSv之间。对于“专业行为”指标，发现了，第二名护士（指标“护士-2”）由于其工作性质，与第一名护士（指标“护士-1”）相比，工作时间往往更长，更接近医生（指标“医生-操作者”）的工作场所。

在机构“C”中发现了晶状体剂量形成的某些特殊性。手术次数最少的医生所记录的剂量最高。医生的计算年度剂量从53 mSv到225 mSv不等，护士的约为19 mSv。表4给出测量结果。

我们评估了可能影响剂量形成的因素：“高剂量”操作的数量、操作者与助手的功能比、操作期间的累积剂量、操作者的身高（表5）。该表显示，上述因素中没有对一个对剂量测定结果有

表1. 不同专业的医护人员的Hp (3) 测量结果和对晶状体的计算年度等效剂量 (H) [10, 11]

专业领域	受试者人数, n	H p (3), mSv	H年, mSv
护理人员（从事放射性药物的工作， ^{99m} Tc）	2	0.37 - 0.40	4.4 - 4.8
血管造影操作者	6	0.31 - 2.20	3.7 - 26.4
护理人员(血管造影)	5	0.15 - 0.42	1.8 - 5.0
泌尿科医生	1	0.72	8.6
牙医	4	0.13 - 0.18	1.6 - 2.2

表2. 机构“A”中的心血管内外科、内窥镜、放射性同位素诊断部门的医生和护士的眼球晶状体的等效剂量[12, 13]

专业领域	一次曝光的剂量, mSv	剂量计操作的数量	一次手术的剂量, mSv	每年允许的操作次数	每年大约有多少次手术
心血管内外科护士 [CVS nurse]	12.6	31	0.4	50	450
心血管内外科医生-1 [CVS Physician -1]	1.28	13	0.1	200	350
心血管内外科医生-2 [CVS Physician-2]	1.69	20	0.085	235	450
心血管内外科医生-3 [CVS医师-3]	1.05	5	0.2	100	450
内窥镜医生 [Endoscopic Physician]	2.82	58	0.05	400	380
内窥镜护士 [Endoscopic nurse]	2.79	58	0.05	400	380
护士 ^{99m} Tc [Nurse ^{99m} Tc]	0.7	134*	0.005	4000	1600

注：*患者。

表3。机构“B”中的心血管内外科部门医生和护士的眼球晶状体的等效剂量

专业领域	一次曝光的剂量, mSv	剂量计操作的数量	一次手术的剂量, mSv	每年允许的操作次数	每年大约有多少次手术
医生	5.7	64	0.1	200	600
护士-1	1.5	68	0.02	1000	300
护士2	2.4	41	0.06	340	300

表4。机构“C”中的心血管内外科部门医生和护士的眼球晶状体的等效剂量

专业领域	一次曝光的剂量, mSv	剂量计操作的数量	一次手术的剂量, mSv	每年允许的操作次数	每年大约有多少次手术
医生-12	3.86	35	0.11	180	750
医师生-16	3.5	51	0.07	285	750
医生-18	3.4	12	0.3	>70	750
护士	1.74	68	0.025	800	750

直接影响。显然，最重要的辐照因素不是操作次数，而是操作的特点和“专业行为”、“医生-操作者”从工作场所到管的距离。从这个意义上来说，影响人员相对于直接辐射区的位置的人体测量特征（如身高）可能具有一定的重要性。

许多组织没有充分配备集体和个人的眼睛劳保用品。一般的劳保用品显然是不够的：狭窄的悬吊式遮盖板；没有吊挂式透明遮盖板或其不够。悬挂式透明遮盖板的存在也可能大大降低个人劳保用品的防护要求（例如，身体防护为0.15毫米Pb，眼睛的为0.1毫米Pb）。这可以普遍改善和提高医护人员的工作条件。

将放射诊断各部门医务人员的眼球晶状体等效剂量与PET中心诊断实验室人员的剂量数据进行了比较。在研究[14]中，评估了PET中心医务人员的眼球晶状体的等效剂量。PET中心的工作人员使用基

于¹⁸F的制剂工作。在这篇文章中，研究了工作人员在使用¹⁸F工作时的时间成本（工作量）（表6）。

PET中心放射性同位素诊断部门人员的注射/分装操作时的等效有效剂量为4.2-4.9 μSv/GBq（4.2-4.9 μSv/病人），PET/CT放射师的为6 μSv/GBq（2.3 μSv/病人），以及眼球晶状体的等效剂量分别为5.4-5.8 μSv/GBq（2.1-2.2 μSv/病人）和5.9 μSv/GBq（2.3 μSv/病人）。辐照水平与所使用的总活性（或作为活性“等效”的患者人数）直接相关。评估剂量-活动/剂量-病人的关系，允许计算出所需的最低人员人数。在分装/注射操作中，最大的剂量与“注射”操作有关。“注射”操作是这项技术的主要剂量形成因素。考虑到工作量，最高的眼球晶状体的辐射剂量是在PET/CT放射师身上记录的。这是由于医生与整个活性的接触。在这种情况下，护士和分

表5。可能影响人员剂量形成的因素

医生	手术与对病人的剂量的之比 >1 Gy / >2 Gy	累积剂量, Gy	操作者/助手的之比	身度, cm
医生-12	19/5	39	24/11	183
医生-16	17/5	49	29/22	185
医生-18	3/1	9.4	12/0	170

表6。根据放射性药物的活性和病人的数量，PET中心诊断实验室工作人员眼球晶状体的辐照剂量（H_{1ens}）和有效剂量（E）[14]

人员	操作	A, GBq	病人的数量	H _{1ens} , mSv H _p (3)	E, mSv H _p (10)
A	护士，注射超过分装	109.2	283	0.63	0.53
B	分装工，分装超过注射	124.5	324	0.67	0.52
C	PET/CT放射师，扫描	135.2	354	0.8	0.81

注：PET/CT——与X射线计算机断层成像相结合的正电子发射计算机断层扫描。

装工互相“分享”这项活性。值得注意的是，在使用放射性药物时，剂量Hp(10)和Hp(3)的数值几乎相似。表7给出眼球晶状体年度等效剂量的初步估计数，减少到11个月（减去假期）。

CT放射师有规律地接受最高剂量。然而，对于CT放射师来说，观察到的是一种非常谨慎的“工作行为”（保持最大距离，尽量减少接触）。工作人员的工作量是每班14小时的26个病人。还要注意的，随着病人接收过程的加强（取消长时间的签到程序），剂量也将按比例增加。此外，显然，在工作人员（a和b）之间没有活性分享的情况下，每年对眼球晶状体的等效剂量可能至少为15 mSv。获得的数据与研究 [15, 16]中的数据有令人满意的一致性。这些研究中的中值和最大值分别为4至14 mSv和16至23 mSv。评价这些结果，可以说病人数量与工作人员数量的比例是确定特定技术中放射性同位素诊断部门护理人员辐照水平的重要因素。

除了评估眼球晶状体的剂量外，还评估了心血管内外科和放射性同位素诊断部门的人员手部皮肤的剂量。表8给出研究的结果见。从表中可以看出，上述研究中的等效剂量没有超过皮肤的等效剂量限制（500 mSv）。所示的测量结果说明一个单独的局部性皮肤面积。这通常是中指的背面。这些测量结果不能完全说明整个手部表面（包括背部和手掌）的剂量。作者知道有两例心血管内外科医生的手上出现了明显的病理变化，即双手掌外侧边有持续的局部性干性皮炎病灶，以及手术后手背表面发红。

作为这项研究的一部分，作者使用心血管内外科医生手部模型对皮肤辐照剂量进行了研究。获得的数据表明，手部皮肤辐照可能达到每年1 Gy或更高的水平[13]。表9给出PET中心放射性同位素诊断部门专家皮肤的年度等效剂量的估计，该估计是按11个工作月计算的[15]。

给病人注射放射性药物的操作对护士在皮肤上的剂量的贡献最大。值得注意的是，护士-1和“分装工”（或护士-2）之间剂量的分享。显然，如果护士-1进行100%的注射，一年中手部皮肤的等效剂量可以达到约450 mSv。这些数据与研究[17]中的数据一致，后者的范围是3至512 mSv。

为了澄清这些数据，对心血管内外科部门的手部皮肤模型的等效剂量进行了评估。结果表明，一次操作对手部模型的等效剂量为0.5–2.5 mSv，对患者身体模型的平均输入剂量为500 mGy。考虑到某位外科医生每年的手术总数（300–600例），局部性手部皮肤面积的等效剂量可能超过500 mSv的既定剂量限制。在一项关于用剂量计平行照射皮肤成纤维细胞的DNA双链断裂的研究中， γ H2AX和53BP1焦点的数量在照射后30分钟和24小时内明显超过对照值的2倍以上（ $p < 0.05$ ），甚至在72小时后对照值也没有减少[13, 18]。

讨论

这个问题在科学文献中已经报道了相当长的时间[19–24]。在每次操作的干预研究中，对眼球

表7. PET中心同位素实验室工作人员的眼球晶状体的计算年度等效剂量[12, 14]

人员	工作职能	H, mSv/年
A	注射~60%，分装40%	6.9
B	分装~60%，注射40%	7.4
C	PET/CT放射师	8.8

注：PET/CT——与X射线计算机断层成像相结合的正电子发射计算机断层扫描。

表8. 心血管内外科中手部皮肤年度等效剂量的近似估计[12, 14]

人员	一次曝光的H _{skin**} , mSv	操作次数	每年的操作次数	H _{skin} 年度/计算
心血管内外科护士	1.2	31	450	17
心血管内外科医生-1	0.7	13	350	19
心血管内外科医生-2	4.5	20	450	100
心血管内外科医生-3	1.1	5	450	100

表9. PET中心同位素实验室工作人员的皮肤（Hp, 0.07）、手指（中指）的计算年度等效剂量

人员	工作职能	Hp(0.07), mSv/年
a	注射~60%，分装40%	220
b	分装~60%，注射40%	132
c	PET/CT放射师	24

注：PET/CT——与X射线计算机断层成像相结合的正电子发射计算机断层扫描。

晶状体和皮肤的等效剂量进行了评估。眼球晶状体的剂量从0.05 mSv到0.4 mSv不等, 手部皮肤的剂量从0.3 mSv到1.1 mSv不等。眼球晶状体的数据分散高达约8倍, 手部皮肤的数据分散高达约4倍。在研究[19]中, 在一次操作中, 皮肤的剂量等于眼球晶状体的剂量。在每次操作的干预程序中, 眼球晶状体的等效剂量值有很大的不同, 这取决于操作的类型和个人或集体劳保用品的有无[2]。由于现有数据有很大的不准确性, 对眼球晶状体的辐射剂量的研究仍然有意义。在研究[25]中, 报告了使用电离辐射源的医护人员中, 白内障的发病率增加。白内障在心血管内外科人员中特别普遍。

该研究进行了17个月的时间。三位放射疗法医师进行了儿科和成人的治疗干预。这一年中进行了276至338次手术, 其中20%是儿科。左眼的年度剂量超过20 mSv, 范围在21至61 mSv之间。即使使用特殊眼镜保护眼睛, 双眼的剂量也超过了6 mSv, 剂量13 mSv至48 mSv不等。儿科和成人的治疗干预之间, 每次操作的对眼球晶状体的剂量没有显著差异[26]。

在9名干预放射疗法医师中进行了为期6个月的眼球晶状体等效剂量的研究。评估了眼睛晶状体和颈部皮肤的等效剂量。每个工作日眼球晶状体的剂量为 0.18 ± 0.11 mSv, 每200个工作日的为 35.3 ± 6.6 mSv。在5名(56%)心血管内外科医生中, 剂量超过了年度限制(20 mSv)。按研究人员的意见, 如果全职工作, 心血管内外科的医生可能会在眼球晶状体上受到确定性辐射, 尤其是在左侧。研究也表明, 可以通过颈部皮肤剂量测定来评估眼球晶状体辐射剂量 $[D_{\text{晶状体}} = 0.0179 + (0.5971 \times D_{\text{颈部}})]$ [27]。

本文介绍了在44名心血管内外科医生和22个人的对照组中进行的实验结果。在所有受试者中, 26名心血管内外科医生和对照组的参与者接受了特殊的眼睛检查。眼球晶状体的剂量是通过热释光剂量测定法测量的。每月外科医生左眼的平均等效剂量为 0.83 ± 0.59 mSv, 右眼的为 0.35 ± 0.38 mSv。年度剂量估计为0.7至11 mSv。关于核素或皮质晶状体浑浊的流行率数据在两组之间没有显著差异。对于四名心血管内外科医生来说, 被发现了有早期囊下硬化, 不过没有观察到两组之间的统计差异。研究人员认为, 这些数据表明心血管内外科医生有可能受到相当大的眼球晶状体剂量, 并建议使用眼睛劳保用品[28]。

在研究[29]中, 参与者组包括69名干预心脏病学家和78个人的对照组, 他们在工作性质上没有接触电离辐射。使用了缝隙摄影机来检查眼球晶状体浑浊。使用调查问卷对眼球晶状体的平均累积剂量进行了回顾性评估。调查问卷包括职业史和眼球晶状体辐射剂量的数据。左眼和右眼晶状体的平均累积剂量分别为224和85 mSv。对于47%的心血管内外科医生和42%的对照组受试者来说, 被发现了有左眼的核仁蛋白光和晶状体核浑浊。对于25%的心血管内外科医生和29%的对照组受试

者来说, 被发现了有皮质浑浊。对于7%的心血管内外科医生和6%的对照组受试者来说, 被发现了有后囊下浑浊。在对年龄、性别、吸烟状况和医疗接触进行调整后, 与对照组相比, 心血管内外科医生组中出现浑浊的风险略有统计学意义的增加。然而, 与对照组相比, 白内障病例没有明显增加。没有证据表明随着剂量的增加, 白内障的风险会增加。按作者的意见, 由于该研究的样本量较小, 不能排除电离辐射的不良影响。

对圣彼得堡医疗机构人员的剂量评估研究给出了以下对眼球晶状体的等效剂量的结果: 放射科医生1个月的剂量为0.29至2.9 mSv, 心血管内外科的医生和护士的为0.44至1.49 mSv, 放射师为0.1至8.54 mSv, 外科医生的为0.89 mSv, 手术护士的为0.11至4.6 mSv。眼球晶状体辐射水平的评估是基于对个人剂量当量 $H_p(3)$ 和 $H_p(10)$ 的比率评估。根据 $H_p(3)$ 和 $H_p(10)$ 年值近似对数正态分布的参数, 显示了超过1 mSv的概率为13%, 超过6 mSv的概率为10%, 20 mSv的概率小于1%。同时, 考虑到在医学上放射外科团队的人员是辐射最多的群体, 我们做了一个假设, 一年中超过20 mSv的数量可以达到病例的10%, 对晶状体的损害可能是随机性的[30, 31]。观察到这些结果与欧洲ORAMED (Optimization of Radiation Protection Medical Staff) 项目所获得的结果有很大不同[32-34]。ORAMED项目对30多个欧洲医疗中心的干预专家对眼睛晶状体的辐射剂量进行了研究。几乎50%的心血管内外科医生每年的辐射剂量超过20 mSv。

同时, 在生产企业“Mayak”工人中注意到慢性辐照对白内障发展的影响。在15 000个人中, 老年性白内障的发病率与外部伽玛辐射总剂量之间存在着有统计学意义的显著线性关系。这些人受到的伽玛辐射剂量从 <0.25 Gy到 >1 Gy不等。进一步的研究显示了, 在长期接受辐照的工人中, 所有类型的白内障(后皮质、核仁和囊下)发生的风险都增加。女性的白内障发病风险明显更高[35]。由于南乌拉尔地区的辐射事故, 793个人的剂量达到了5 mSv, 517个人的剂从5 mSv到100 mSv不等, 67个人的超过100 mSv。因此, 有可能谈及辐照后的遥远时期。研究表明了, 辐射剂量的影响很大。已经观察到晶状体核和后囊的浑浊[36]。

在所考虑的医疗技术中, 人员也会长期受到辐射。根据在喀山获得的数据[37], 11名心血管内外科医生和15名护士的眼睛晶状体的等效剂量在3个月内从 <2 mSv到16.92 mSv不等。在被调查的21名医生中, 有7名医生的眼球晶状体等效剂量超过或接近每年20 mSv。对7名30至70岁的医生中的5名医生进行了临床检查, 发现了玻璃体腔内有高渗性包涵体, 没有老年人特有的血管变化。有一些变化是干眼症的特征。这些变化包括眼睛不舒服, 结膜腔内有少量粘液分泌, 晚上眼睛发红, 左眼有“苍蝇”, 发痒, 有异物感, 结膜在边缘外折叠, 泪流变细。发现了泪膜破裂

时间检查中的泪膜破裂时间缩短。在5名受试者中,对于4名来说,被发现了有结膜表层注射。对于1名医生来说,被发现了有结膜色素沉着。对于2名医生(45岁和70岁)来说,被发现了有角膜衰老弧或老年人的角膜变化(根据世界卫生组织,老年人是60岁或以上的)。对一名心血管内外科医生(34岁,眼球晶状体的年度等效剂量为18.7 mSv)进行的临床检查显示了,眼睛有以下病变:结膜损伤、干眼症、玻璃体损伤、晶状体核实变。作者认为,这些变化可能与接触电离辐射源有关。作者指出,在低剂量照射下,有可能出现病理过程。这是由于氧化压力的发展和自由基的释放[38, 39]。

该研究的局限性

时间间隔的限制,从一个月到几个月;收集医务人员的辐射量数据;收集数据的组织范围有限。

结论

考虑到所做手术的数量,对眼球晶状体的年度等效剂量进行了评估。在这些案例中,心血管内外科医生的计算年度剂量超过了20 mSv的水平,从35 mSv到90 mSv不等。护士的计算年度剂量从6 mSv到19 mSv不等。在两次观察中,眼球晶状体的计算剂量超过150 mSv(机构“A”的护士为185mSv,机构“C”的“医生-操作者”为225mSv)。

结果表明,如果心血管内外科的医生进行200多例手术,就可以达到眼球晶状体的剂量极限。然而,在一些观察中,医生的手术不到70次,护士的手术不到50次就达到了这个极限。

在心血管内外科中,辐照剂量形成的一个主要因素是从工作场所到X射线束区的距离。这在一定程度上与工作人员的专业行为有关。

根据现有的数据,可以假定在考察的剂量范围内眼睛损害的随机性质。

即使对比组没有统计差异,与非辐照的人们相比,辐照可能会在更早的年龄显示出病理的发展。

不同专业人员手部皮肤的剂量可能接近年限或甚至超过年限(500 mSv)的2倍或以上。

在这个阶段,除了监测现代医疗技术中人员的个别器官和组织的辐照水平外,还需要进行流行病学研究,并考虑到影响辐照剂量形成的因素,制定关于使用个人和集体劳保用品的保护实用建议。

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.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. S.A. Ryzhkin — idea of the article, experimental research, collection of material, preparation of the article; Y.V. Druzhinina, Z.A. Lantuh — search for relevant publications, article preparation and editing; I.V. Soldatov — article preparation and editing; V.N. Lesnyak, D.P. Lebedev, D.N. Samochatov — article preparation and editing; M.P. Semenova — preparation and editing, translation into English; V.A. Suhov — search for relevant publications, article preparation and editing; S.E. Okhrimenko — search for relevant publications, idea of the article, experimental research, collection of material, preparation of the article.

Acknowledgements. The authors express their sincere gratitude to RAS academician Leonid A. Ilyin for his recommendations in the field of eye lens monitoring and development of measures to protect the visual organ.

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. Steffano 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., Huerca 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., Datseris 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/ijomeh.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 послынных 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., Галеева 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. Галеева 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. Галеева 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, Grigorieva 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).

AUTHORS' INFO

*** Yuliya V. Druzhinina;**

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

Sergey A. Ryzhkin;

ORCID: 0000-0003-2595-353X;
eLibrary SPIN: 5955-5712;
e-mail: rsa777@inbox.ru

Zoya A. Lantukh;

ORCID: 0000-0001-6623-9610;
eLibrary SPIN: 5486-6496;
e-mail: LantukhZA@zdrav.mos.ru

Ilya V. Soldatov;

ORCID: 0000-0002-4867-0746;
eLibrary SPIN: 4065-6048;
e-mail: SoldatovIV2@zdrav.mos.ru

Viktor N. Lesnyak;

ORCID: 0000-0002-2739-0649;
eLibrary SPIN: 5483-3113;
e-mail: lesnyak_kb83@mail.ru

Dmitriy P. Lebedev;

ORCID: 0000-0003-1551-3127;
eLibrary SPIN: 4770-5722;
e-mail: lebedevdp@gmail.com

Denis N. Samochatov;

ORCID: 0000-0002-5230-2006;
eLibrary SPIN: 3340-2715;
e-mail: dnsamochatov@gmail.com

Maria P. Semenova;

ORCID: 0000-0003-0904-0415;
eLibrary SPIN: 7205-0062;
e-mail: mps-fmbc@yandex.ru

Vitaly A. Sukhov;

ORCID: 0000-0003-2993-0108;
e-mail: cyxowv@gmail.com>

Sergey E. Okhrimenko;

ORCID: 0000-0002-8282-1798;
eLibrary SPIN: 6595-4011;
e-mail: ooniii@mail.ru

ОБ АВТОРАХ

*** Дружинина Юлия Владимировна;**

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

Рыжкин Сергей Александрович;

ORCID: 0000-0003-2595-353X;
eLibrary SPIN: 5955-5712;
e-mail: rsa777@inbox.ru

Лантух Зоя Александровна;

ORCID: 0000-0001-6623-9610;
eLibrary SPIN: 5486-6496;
e-mail: LantukhZA@zdrav.mos.ru

Солдатов Илья Владимирович;

ORCID: 0000-0002-4867-0746;
eLibrary SPIN: 4065-6048;
e-mail: SoldatovIV2@zdrav.mos.ru

Лесняк Виктор Николаевич;

ORCID: 0000-0002-2739-0649;
eLibrary SPIN: 5483-3113;
e-mail: lesnyak_kb83@mail.ru

Лебедев Дмитрий Петрович;

ORCID: 0000-0003-1551-3127;
eLibrary SPIN: 4770-5722;
e-mail: lebedevdp@gmail.com

Самочатов Денис Николаевич;

ORCID: 0000-0002-5230-2006;
eLibrary SPIN: 3340-2715;
e-mail: dnsamochatov@gmail.com

Семенова Мария Петровна;

ORCID: 0000-0003-0904-0415;
eLibrary SPIN: 7205-0062;
e-mail: mps-fmbc@yandex.ru

Сухов Виталий Александрович;

ORCID: 0000-0003-2993-0108;
e-mail: cyxowv@gmail.com>

Охрименко Сергей Евгеньевич;

ORCID: 0000-0002-8282-1798;
eLibrary SPIN: 8712-2710;
e-mail: ooniii@mail.ru

* Corresponding author / Автор, ответственный за переписку