

Особенности применения средств радиационной защиты для персонала рентгенохирургических операционных

С.С. Сарычева

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

Обзорная работа посвящена вопросу радиационной защиты персонала рентгенохирургических операционных. Для безопасной работы персоналу необходимо регулярно и правильно использовать средства защиты, что, в свою очередь, должно обеспечиваться их доступностью, удобством и маневренностью при выполнении процедур. Стремительное развитие рентген-хирургических методов диагностики и лечения привело к тому, что персонал рентген-операционных имеет один из самых высоких уровней профессионального облучения, однако отечественная система обеспечения радиационной безопасности не успевает за столь бурным развитием данного направления медицины. В статье показаны основные закономерности распределения рассеянного излучения вокруг пациента в процессе проведения исследований и связанного с ним профессионального облучения. Показано распределение излучения при разных режимах работы ангиографического аппарата типа С-дуга и даны наглядные примеры распределения рассеянного излучения в рентген-операционных. Подробно рассмотрены коллективные и индивидуальные средства защиты, разработанные специально для радиационной защиты персонала рентген-операционных. Представлены обобщенные данные по степени защиты и особенностям использования наиболее перспективных средств защиты персонала. Большинство из рассмотренных средств защиты являются обязательными для использования в рентген-операционных ряда европейских стран, однако в отечественных нормативных документах пока не упомянуты. В работе внесены предложения по модернизации отечественной системы радиационной защиты персонала рентген-операционных, включая защиту хрусталика глаза, в части обеспечения рентген-операционной актуальными средствами радиационной защиты, согласно накопленному мировому опыту в данной области и опубликованным международным рекомендациям.

Ключевые слова: интервенционная радиология, радиационная защита персонала, средства радиационной защиты.

Введение

Интервенционная радиология (ИР) – одно из наиболее дозообразующих направлений в современной медицине, с одним из самых высоких рисков профессионального облучения [1, 2]. Данная специальность характеризуется постоянным развитием технологий и методик: появляются новые исследования, новые направления. Несмотря на развитие технологий, которые приводят к появлению более низкодозного оборудования, сами вмешательства, проводимые под рентгеновским контролем, становятся все более сложными и продолжительными. Общее количество выполняемых интервенционных рентгенологических исследований (ИРЛИ), их разновидности и сложность отдельно взятых процедур постоянно растут [3]. Пропорционально растут и нагрузка на персонал, выполняющий данный вид вмешательств [1].

Целью радиационной защиты персонала является недопущение детерминированных эффектов, поддержание риска стохастических эффектов на приемлемом уровне

и оптимизация защиты [4]. Согласно обзору эпидемиологических данных, представленных в отчете о тканевых реакциях МКРЗ [5], порог помутнения хрусталика может составлять всего 0,5 Гр для пролонгированного облучения (действующий годовой предел эквивалентной дозы на хрусталик в 150 мЗв установлен, исходя из 5 Гр). Не до конца исключена возможность стохастической природы данного процесса (ряд исследований демонстрируют, что зависимость доза – эффект для возникновения катаракты не характерна для детерминированных эффектов, поскольку не наблюдается сильного возрастания количества катаракт с увеличением дозы облучения) [6, 7]. В связи с вышеизложенным в радиационной защите персонала рентген-операционных первостепенное место стоит отводить не столько дозиметрии, сколько организации защиты – все дозы (и эффективная, и эквивалентные/поглощенные) не должны превышать соответствующие пределы дозы и должны поддерживаться на разумно достижимом низком уровне.

Сарычева Светлана Сергеевна

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: svetlana2003@mail.ru

В настоящий момент времени требования к средствам защиты персонала рентген-операционных не успевают за стремительным развитием процедур интервенционной радиологии. Для безопасной работы персоналу необходимо регулярно и правильно использовать средства защиты, что, в свою очередь, должно обеспечиваться их доступностью, удобством и маневренностью при выполнении процедур. Одним из основных физических способов защиты от ионизирующего излучения является экранирование. Например, подвесные рентгенозащитные экраны и подстольные экранирующие ширмы являются обязательными для рентгенооперационных в большинстве европейских стран, однако в наших нормативных документах пока даже не упомянуты.

В данной работе внесены предложения по модернизации отечественной системы радиационной защиты персонала рентген-операционных, включая защиту хрусталика глаза, в части обеспечения рентгенохирургических отделений актуальными средствами радиационной защиты, согласно накопленному мировому опыту в данной области, опубликованным литературным статьям и международным рекомендациям.

Распределение излучения в рентген-операционной и особенности формирования облучения персонала

В рентген-операционной в момент работы рентгеновской трубки облучению подвергается не только пациент, на которого направлен первичный пучок излучения, но и находящийся рядом с ним медицинский персонал, для которого основным источником излучения является уже не первичный пучок, а рассеянное излучение от пациента (исключая нежелательные ситуации попадания частей тела персонала в прямой пучок излучения).

В современных ангиографических системах доля излучения, необходимая для формирования изображения (а именно количество фотонов, достигающих приемника изображения без взаимодействий), составляет 1–5% от первоначального значения, в зависимости от чувствительности детектора [8]. Все остальные частицы испытывают взаимодействие в теле пациента и либо поглощаются (сразу или после нескольких актов рассеяния, в зависимости от первоначальной энергии частицы), либо «вылетят» из него в разные стороны в результате рассеяния. Схематично распределение излучения относительно тела пациента изображено на рисунке 1.



Рис. 1. Распределение излучения относительно пациента (адаптировано Hirshfeld [9])

[Fig. 1. Dose distribution around the patient [adapted from Hirshfeld [9]]

Наибольшее количество рассеянного излучения образуется со стороны входа первичного пучка излучения в тело пациента (кушетка ангиографической системы сделана из рентгенопрозрачного материала), это так называемое обратное рассеяние. Рассеяние со стороны выхода луча из пациента менее интенсивно, чем обратное рассеяние со стороны входа луча, поскольку тело пациента поглощает от 80% до 99% от первичного исходящего излучения (в зависимости от характеристик излучения, угла трубки и размера пациента) [8].

Для части интервенционных исследований, например, процедур интервенционной кардиологии, характерно использование разных наклонов трубки (краниально-каудальные, влево-право). В течение последних десятилетий разными авторами было выполнено большое количество измерений для оценки распределения рассеянного излучения в операционной и зависимости от используемых проекций – положений рентгеновской трубки [10–13]. На рисунке 2 продемонстрированы результаты одного из наиболее часто цитируемых исследований по изменению мощности дозы рассеянного излучения в зависимости от положения трубки и режимов работы аппарата [10]. Наибольшие уровни излучения (измерения мощности эквивалентной дозы излучения проводились на левом плече ангиохирурга без экранирования) демонстрирует левая краниальная проекция, когда обратное рассеянное излучение оказывается направленным в сторону оперирующего врача.

Также видна зависимость мощности дозы от режима работы рентгеновской трубки: режимы низкой и средней мощности рентгеноскопии, режим рентгеноскопии высокой мощности и режим снимков. Чем выше требуемое качество изображения (оно задается в терминах мощности дозы – количества фотонов, достигающих приемника изображения), тем выше исходящая мощность дозы аппарата и тем выше соответствующая мощность дозы рассеянного излучения.

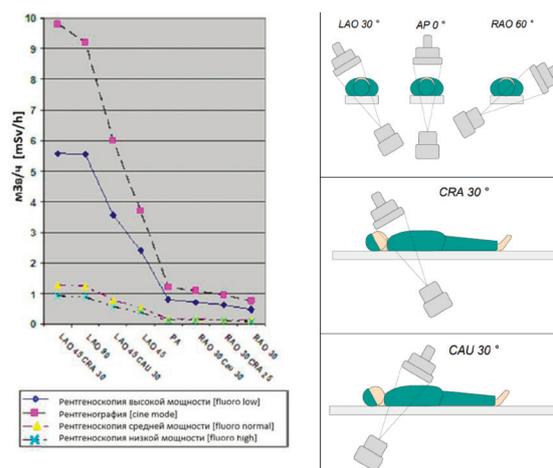


Рис. 2. Зависимость мощности эквивалентной дозы излучения (Hr(10)) на левом плече ангиохирурга (без защиты) от положения/наклона трубки и режима работы ангиографического аппарата [10] и схематичное изображение углов наклона трубки относительно пациента

[Fig 2. Dose rate equivalent (Hr (10)) on the surgeons left arm (without protection) depends on the C-arm position and the operation mode [10] and schematic representation of the C-arm angulation]

Пример распределения рассеянного излучения в рентген-операционной при боковом расположении рентгеновской трубки представлен на рисунке 3. Как видно из рисунка 3, наиболее опасным для персонала (с точки зрения мощности дозы рассеянного излучения) оказывается место входа первичного пучка излучения в тело пациента [13]. Для наглядности пациента можно сравнить с «живым щитом», который поглощает в себе большую часть радиации, однако часть радиации распространяется от него в разные стороны. Подобные карты изодоз содержатся в эксплуатационных документах на каждый ангиографический аппарат.

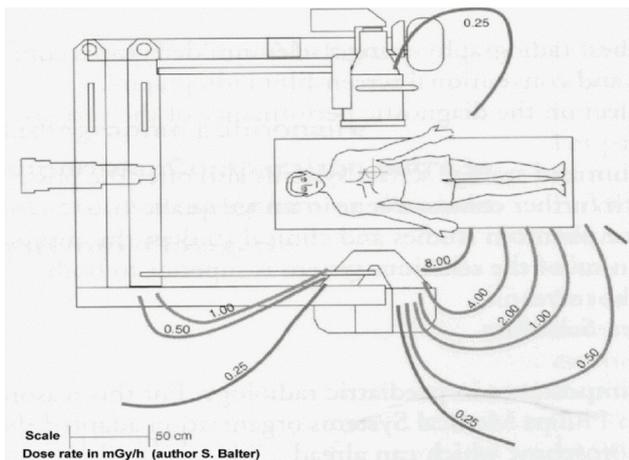


Рис. 3. Изодозы рассеянного излучения в рентген-операционной [13]

[Fig 3. Isodoses of scattered radiation in X-ray operating room [13]]

На рисунке 4 схематично изображено распределение изодоз в вертикальной плоскости при нижнем расположении рентгеновской трубки [14].

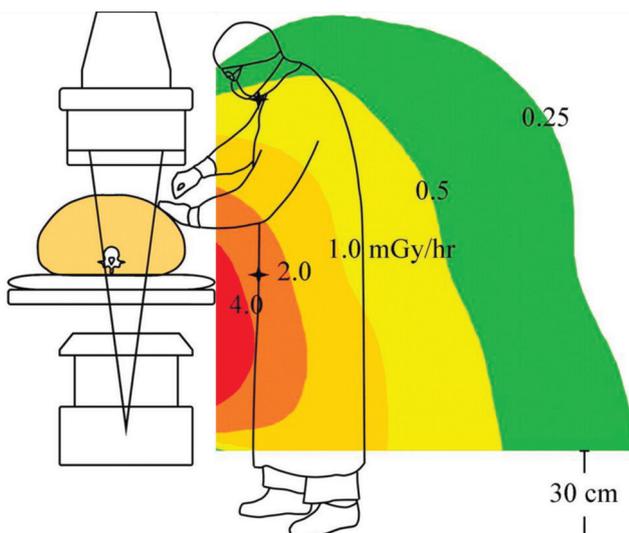


Рис. 4. Иллюстрация распределения изодоз при нижнем расположении рентгеновской трубки (без учета средств защиты) [14]

[Fig. 4. Isodose distribution for the under-coach X-ray tube (excluding protective equipment) [14]]

Коллективные средства защиты

Согласно данным статистической формы № 30 за 2018 г. [4], современный парк ангиографических аппаратов представлен преимущественно моноплановыми аппаратами типа С-дуга с нижним расположением рентгеновской трубки (под столом). Исходя из существующей геометрии распределения излучения, для наглядности представленной на рисунках 3 и 4, основную долю рассеянного излучения (обратное рассеяние) можно нивелировать путем экранирования подстольного пространства. Для этой цели успешно используются рентгенозащитные шторы стола, закрывающие подстольное пространство как для оперирующего хирурга, так и для его ассистента (часть операций проводится несколькими членами бригады) до уровня пола. Желательным является наличие боковой ширмы-стойки, экранирующей тело пациента, лежащего на столе. Закрывая бок пациента, они делают геометрию рассеянного излучения более благоприятной для персонала [1]. Согласно исследованиям уровней рассеянного излучения, дополнительное использование боковых ширм может привести к значительному (более 80%) снижению воздействия рассеянного излучения на оператора, особенно на нижнюю часть тела [15]. Согласно нашим собственным наблюдениям, в рамках группового дозиметрического контроля было также отмечено, что часть используемых подстольных ширм спроектирована для защиты лишь одного оперирующего врача и имеет недостаточную ширину для адекватной защиты второго рентгенохирурга. В литературных данных также встречается информация, что некоторые из используемых ширм могут оказаться слишком малы для защиты обоих членов бригады [1, 16].

Боковая защита и защитные занавески под столом оказывают существенный вклад в радиационную защиту нижней части тела персонала, однако демонстрируют лишь минимальный защитный эффект для глаз врача [16, 17]. Для защиты верхней части тела персонала рекомендованы подвесные рентгенозащитные экраны. Как правило, они имеют прямоугольную форму и полукруглую выемку на нижнем крае, чтобы иметь возможность располагаться вплотную к телу пациента. Согласно международным исследованиям, они являются наилучшим методом защиты и могут уменьшить рассеивание излучения на голову, шею и хрусталик глаза на 50–90%, в зависимости от своего расположения в момент проведения исследования [1, 16]. Экраны бывают разной толщины, рекомендуемый минимум для рентген-операционных составляет 0,5 мм свинцового эквивалента.

Уровень защиты, обеспечиваемый подвесным экраном, зависит от того, насколько эффективно он установлен и правильно ли используется. Его следует располагать между участком тела пациента, подвергающегося прямому облучению, и лицом оператора или другого персонала, находящегося поблизости [1, 18]. Экран следует размещать прямо над пациентом, чтобы оператор мог видеть облучаемую область тела пациента через экран. В связи с этим очень важно, чтобы в процессе эксплуатации (и регулярной антисептической обработки) особое внимание уделялось сохранению прозрачности экрана,

т.к. «затёртости» стекла не позволят использовать его по прямому назначению. Для защиты рук хирурга к нижнему краю прозрачного свинцового экрана рекомендуется крепить дополнительные свинцовые драпировки [1].

Эффективное использование экранов требует их перемещения по мере необходимости. И хотя трудности в их использовании могут ограничивать их применимость в повседневной практике, они все равно демонстрируют хороший уровень защиты [1, 18]. Исследования с фантомами показывают, что степень защиты подобных экранов, усредненная по всем используемым проекциям (отношение дозовых показателей, измеренных без использования средств защиты к этим же величинам, но с использованием защитного экрана) может варьировать от 4 до 33, имея сильную зависимость от правильности позиционирования [19–23]. Для обеспечения максимально эффективной защиты врач должен постоянно отслеживать и корректировать положение экрана, что происходит далеко не всегда [18]. Реалистичные оценки степени защиты от использования экранов в клинической практике (на основании реальных, а не смоделированных условий использования) при усреднении по всем используемым проекциям составляют от 2 до 7 [16, 24–27]. Графически литературные данные по степени защиты подвесных рентгенозащитных экранов представлены на рисунке 5.



Рис. 5. Степень защиты подвесных рентгенозащитных экранов. Литературные данные по фантомным [19–23] и клиническим измерениям [16, 24–27]

[Fig. 5. Dose reduction factor from X-ray protection suspended screens. Literature data on phantom studies [19–23] and clinical measurements [16, 24–27]]

Согласно международным рекомендациям, при работе в режиме серийной рентгено съемки, соответствующей самой высокой мощности дозы рентгеновского аппарата, персоналу рекомендуется выходить за пределы операционной [1]. Однако ввиду того, что это не всегда возможно или хирург по каким-либо причинам не хочет тратить время на подобные манипуляции, можно организовать «защищенное место» с помощью мобильной ширмы. В случае если рентгенохирург при серийной рентгено съемке не выходит за пределы операционной (что желательно), компромиссным вариантом будет отходить на момент съемки за большую мобильную ширму, специально установленную для этих целей рядом с операционным столом.

Индивидуальные средства защиты

Во время проведения интервенционных рентгеновских процедур весь персонал, находящийся в операционной, должен быть одет в специальную рентгенозащитную одежду – средства индивидуальной защиты (СИЗ). Как правило, свинцовый эквивалент СИЗ составляет от 0,25 мм до 0,5 мм Pb. Свинцовая защита 0,25 мм поглощает 97–98% излучения при энергии 60 кВ и 85–92% при 100 кВ; свинцовая защита 0,5 мм поглощает 99% излучения при напряжении 60 кВ и 93–97% при 100 кВ [28]. Вес является основным ограничивающим фактором, из-за чего более толстые свинцовые эквиваленты для СИЗ не используют. Проблема длительного нахождения в положении стоя в тяжелой защите для персонала рентгенооперационных стоит очень остро [29–31]. Есть ряд сообщений о травмах спины из-за веса свинцовых фартуков у лиц, которые носят их в течение многих лет [32, 33].

Рентгенозащитный костюм должен обеспечивать адекватную защиту от излучения и удовлетворять требованиям эргономики. Он должен состоять из хорошо спроектированного свинцового фартука, который распределяет вес по плечам и бедрам человека, или (что часто встречается в международных рекомендациях) комплекта юбка плюс жилет [1, 2, 34]. Также для снижения нагрузки на позвоночник существуют специальные поддерживающие пояса и различные системы распределения веса через ляжки и наплечники [32]. Часть научных работ показывают, что подгонка защитного фартука по фигуре может оказываться даже важнее, чем его свинцовый эквивалент [1, 35]. Негабаритные фартуки с глубоким вырезом и большими прорезыями под мышками обеспечивают плохую защиту, поскольку уязвимыми остаются внутренние рентгеночувствительные органы, такие как легкие и пищевод [36], а также молочные железы у персонала женского пола. Подмышечная впадина с ближайшей к источнику излучения стороны часто требует дополнительной защиты; слишком короткие фартуки, обнажающие верхнюю часть ног и бедра, могут оставить без защиты значительную часть красного костного мозга [1].

Свинец, безусловно, эффективен для защиты от радиации, но он тяжелый. Помимо традиционных свинцовых фартуков, на рынок постепенно выходят так называемые «легкие фартуки», изготовленные из металлических компонентов, не содержащих свинца. Они обещают обеспечить эквивалентную защиту при значительно меньшей нагрузке на опорно-двигательный аппарат, и их удобнее носить в течение длительных периодов времени. Однако данная защита иначе зависит от энергетического спектра фотонов, и характеристика в терминах свинцового эквивалента в данном случае малоинформативна. Более того, она может вводить в опасное заблуждение, о чем также имеется несколько работ [37–40]. Согласно 139 публикации МКРЗ, «пользователи и пациенты, которые используют бессвинцовую одежду для защиты от рентгеновских лучей, могут по незнанию подвергнуться воздействию большей дозы, чем принято считать». Для однозначной идентификации бессвинцового фартука настоятельно рекомендуется указывать характеристики защиты для всего спектра излучения от 50 до 120 кВ ввиду их неоднородности [1, 40].

Фартуки защищают туловище от рассеянного излучения, но шею, голову, руки и ноги они не защищают. Во избежание облучения сбоку через проемы фартука рекомендуется выбирать защиту с рукавами или использовать дополнительные плечевые накладки [1]. Дополнительно к фартуку обязательными для использования в рентген-операционной являются рентгенозащитные воротники, необходимые для защиты области шеи и щитовидной железы. Моделирование методом Монте-Карло [41] показало, что воротник с защитой 0,5 мм свинца позволяет уменьшить дозу на щитовидную железу в 12 раз, а воротник, содержащий 0,35 мм свинца, – в 7 раз. Однако в реальной жизни воротники не носят так плотно, как в условиях эксперимента, оставляя небольшие зазоры из соображений комфорта – возможно, поэтому практические эксперименты показали существенно меньшие результаты по степени защиты щитовидной железы у персонала – от 5 до 6 раз [42]. Согласно 139 публикации МКРЗ, общее снижение эквивалентной дозы на щитовидную железу в клинической практике, связанное с ношением защитного воротника, составляет от 5 до 10 раз [1].

Для персонала рентген-операционных важно учитывать возможное облучение и других радиочувствительных органов, защита которых представляет собой более трудную задачу. Ткани, которые могут подвергаться воздействию относительно высоких доз излучения, – это голова, особенно хрусталик глаза, верхние и нижние конечности. Для целей радиационной защиты эти органы даже имеют собственные пределы эквивалентных доз облучения в дополнение к пределу эффективной дозы. Ограничения по величине эквивалентной дозы считаются необходимыми для предотвращения детерминированных эффектов. На сегодняшний момент, согласно российским нормативным документам¹, данные пределы составляют 150 мЗв в год на хрусталик и 500 мЗв на кожу.

Для защиты хрусталика в связи с его возможно более высокой радиочувствительностью рекомендуется (в дополнение к подвесному рентгенозащитному экрану) использование таких СИЗ, как очки с плотным прилеганием или рентгенозащитные маски. Линзы с эквивалентом 0,5 мм свинца ослабляют 97% излучения [29], однако это не является показателем эффективности очков с подобными защитными линзами [32]. Эффект защитных очков зависит от дизайна очков, характера клинической процедуры и рабочих привычек пользователя. Ряд работ показывают, что даже правильно спроектированные и хорошо подогнанные по размеру очки со свинцовыми стеклами ослабляют рассеянное излучение всего в 2–7 раз [16, 29, 43, 44]. Рекомендуемый форм-фактор – очки с боковой защитой и плотным прилеганием по контуру лица владельца, особенно на нижней стороне. Еще более полную защиту глаз могут обеспечить рентгенозащитные маски или козырьки из просвинцованного стекла, т.к. закрывают все лицо, защищая не только глаза, но и близлежащие ткани, которые вносят существенный вклад в дозу облучения хрусталика за счет внутреннего рассеяния излучения [18]. Несмотря на, как правило, меньшую эквивалент-

ность свинца, маски признаются хорошей альтернативой защитным очкам [1].

Для защиты кожи рук рентгенохирургов существуют специальные хирургические стерильные рентгенозащитные перчатки. Считается, что при проведении интервенционных исследований нет необходимости помещать руки в прямой пучок в ходе работы [29, 45], поэтому использование подобных перчаток, разработанных с целью защиты от рассеянного излучения, может уменьшить уровни облучения пальцев рук оперирующего рентгенохирурга. Однако в последнее время различные ведомства (ICRP, NCRP) склоняются в сторону отказа от использования подобных перчаток. Показано, что их использование, наоборот, может приводить к более высокой дозе облучения рук [2], создавая иллюзию безопасности и значительно увеличивая исходящую мощность дозы при попадании в прямой пучок [46].

Заключение и рекомендации

Оптимальная радиационная защита персонала должна включать сочетание различных средств и методов защиты. Практическое использование средств радиационной защиты демонстрирует, что именно комбинация различных типов экранирования вместе (подстольные и боковые ширмы, подвесные рентгенозащитные экраны, фартуки, очки/маски и пр.) приводит к значительному снижению дозы на оператора [37, 40, 47].

На данный момент времени в отечественных нормативных документах не предусмотрено использование большинства из рассмотренных в данной работе средств защиты, в связи с чем настоятельно рекомендуется добавить наиболее важные из них в обязательный перечень средств радиационной защиты для рентгенохирургических отделений, а именно:

Передвижные средства защиты (с минимальным значением свинцового эквивалента в 0,5 мм):

- подвесная рентгенозащитная драпировка стола (ширма, крепящаяся к столу и спадающая вниз) – для защиты нижней части тела персонала рентгенооперационных (при расположении рентгеновской трубки под процедурным столом);

- боковая рентгенозащитная ширма стола (ширма-стойка, крепящаяся к столу);

- прозрачный подвесной рентгенозащитный экран с дополнительными просвинцованными ламелями снизу для защиты рук.

Индивидуальные средства защиты, относящиеся к одежде, подразделяют на легкие и тяжелые; для легких минимальное значение свинцового эквивалента составляет 0,25 мм, для тяжелых – 0,35 мм:

- халат рентгенозащитный (с запахом и без) – предназначен для защиты тела спереди и сзади от шеи до голени (на 10 см ниже колени), обеспечивает защиту подмышечной впадины;

- рентгенозащитный нарукавник / плечевая защита – предназначен для дополнительной защиты плеча и проемы рентгенохирурга (комбинируется с фартуком/жилетом);

¹ Нормы радиационной безопасности (НРБ 99/2009): (СанПиН 2.6.1.2523-09) [Radiation safety standards (RSS 99/2009): (Sanitary regulations 2.6.1.2523-09) (In Russ.)]

– жилет рентгенозащитный (с запахом и без) – предназначен для защиты спереди и сзади органов грудной клетки от плеч до пояса;

– юбка длинная рентгенозащитная (с запахом и без) – предназначена для защиты тела от талии до голеней (не выше колена);

– очки рентгенозащитные, плотно прилегающие с боковой защитой – предназначены для защиты глаз (мин. эквив. Pb – 0,25 мм);

– маска рентгенозащитная – предназначена для защиты глаз и передней части лица (мин. эквив. Pb – 0,1 мм).

Также рекомендуется учесть в требованиях для средств радиационной защиты следующие моменты:

1. Если персонал должен проводить в защите большую часть своего рабочего времени (для радиологических рабочих мест с длительным ношением защитной одежды), необходимо, чтобы защита была эргономичной и обеспечивала равномерное распределение веса.

2. СИЗ с запахом должны обеспечивать полное перекрытие передней половины тела до уровня подмышечной впадины.

3. При проведении исследований под рентгеновским контролем не допускается попадание рентгенозащитного материала (например, перчаток или защитных покрывал) между источником, визуализируемой областью и приемником, т.к. из-за этого сильно возрастает мощность дозы рассеянного излучения.

4. Для бессвинцовых средств защиты в документации должны быть указаны характеристики защиты для всего возможного спектра излучения от 50 до 120 кВ ввиду сильной зависимости защитных свойств материала от энергетического спектра фотонов.

Персонал рентгенооперационных выполняет крайне важные и нужные медицинские вмешательства, однако сам может подвергаться относительно высоким рискам профессионального облучения [1]. Для регулярного и правильного использования персоналом средств радиационной защиты, использование которых не затрудняло бы их основной деятельности, рентген-операционные должны быть оснащены удобными и маневренными средствами защиты с учетом накопленных за последние десятилетия знаний и практических навыков в этой области. В рамках данной статьи был дан обзор текущего международного опыта по обеспечению радиационной безопасности персонала рентген-операционных с помощью передвижных и индивидуальных средств радиационной защиты.

Литература

- ICRP Publication 139. Occupational radiological protection in interventional procedures ICRP Publication 139 // Ann ICRP. 2018. Vol. 47, No 2. P. 1–112.
- Miller D.L., Vano E., Bartal G., et al. Occupational radiation protection in interventional radiology: a joint guideline of the cardiovascular and Interventional radiology society of Europe and the society of interventional radiology // CardioVascular and Interventional Radiology. 2010. Vol. 33, No 2. P. 230–239.
- Форма федерального статистического наблюдения N 30 «Сведения о медицинской организации» за 2018 год (приказ Росстата об утверждении формы № 483 от 03.08.2018). 2018. 13 с.
- Международная Комиссия по Радиационной защите (ICRP). 2007 Рекомендации Международной Комиссии по Радиационной защите (ICRP 103) // Ann ICRP. 2007. Vol. 37, No 2–4. P. 1–332.
- ICRP publication 118. ICRP statement on tissue reactions and early and late effects of radiation in normal tissues and organs – Threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context // Ann ICRP. 2012. Vol. 41. P. 1–322.
- Implications for Occupational Radiation Protection of the New Dose Limit for the Lens of the Eye /TecDoc-1731 // Vienna: International Atomic Energy Agency. 2013. P. 1-44.
- NCRP Report 168. Radiation dose management for fluoroscopically-guided interventional procedures // National Council on Radiological Protection. 2010. 314 p.
- Behrman R.H., Rees C.R. Radiation safety and protection systems. Vascular Imaging and Intervention. Jaypee Bros: New Delhi; 2020. Vol 1, Second Edition. P. 81-123.
- Hirshfeld Jr.J.W., Ferrari V.A., Bengel F.M., et al. 2018 ACC/HRS/NASCI/SCAI/SCCT Expert Consensus Document on Optimal Use of Ionizing Radiation in Cardiovascular Imaging: Best Practices for Safety and Effectiveness. A Report of the American College of Cardiology Task Force on Expert Consensus Decision Pathways // Journal of the American College of Cardiology. 2018. Vol. 71, No. 24. P. 283-351.
- Vano E., Gonzalez L., Fernández J.M., et al. Eye lens exposure to radiation in interventional suites: caution is warranted // Radiology. 2008 Sep. Vol. 248, No 3. P. 945-953.
- Haqqani O.P., Agarwal P.K., Halin N.M., lafrati M.D. Defining the radiation “scatter cloud” in the interventional suite // Journal of Vascular Surgery. 2013 Nov. Vol. 58, No 5. P. 1339-1345.
- Vano E., Gonzalez L., Fernandez J.M., et al. Influence of patient thickness and operation modes on occupational and patient radiation doses in interventional cardiology // Radiation Protection Dosimetry. 2006. Vol. 118, No 3. P. 325-330.
- Balter S. Stray radiation in the cardiac catheterisation laboratory // Radiation Protection Dosimetry. 2001. Vol. 94, No 1-2. P. 183-188.
- Schueler B.A., Vrieze T.J., Bjarnason H., et al. An investigation of operator exposure in interventional radiology // Radiographics. 2006 Sep-Oct. Vol. 26, No 5. P. 1533-1541.
- Gonzales J.P., Moran C., Silberzweig J.E. Reduction of operator radiation dose by an extended lower body shield // Journal of Vascular and Interventional Radiology. 2014 Mar. Vol. 25, No 3. P. 462-468.
- Vanhavere F., Carinou E., Gualdrini G., et al. ORAMED: Optimization of Radiation Protection for Medical Staff. 7th EURADOS Report. EURADOS. 2012.
- Whitby M., Martin C.J. Radiation doses to the legs of radiologists performing interventional procedures: are they a cause for concern? // British Journal of Radiology. 2003. Vol. 76. P. 321–327.
- Martin C.J. Eye lens dosimetry for fluoroscopically guided clinical procedures: practical approaches to protection and dose monitoring // Radiation Protection Dosimetry. 2016 Jun. Vol. 169, No 1-4. P. 286–291.
- Koukorava C., Carinou E., Simantirakis G., et al. Doses to operators during interventional radiology procedures: focus on eye lens and extremity dosimetry // Radiation Protection Dosimetry. 2011 Mar. Vol. 144, No 1-4. P. 482-486.
- Kuon E., Schmitt M., Dahm J.B. Significant reduction of radiation exposure to operator and staff during cardiac interventions by analysis of radiation leakage and improved lead shielding // American Journal of Cardiology. 2002 Jan 1. Vol. 89, No 1. P. 44-49.
- Galster M., Guhl C., Uder M., et al. Exposition of the operator’s eye lens and efficacy of radiation shielding in fluoroscopically guided intervention // RoFo. 2013 May. Vol. 185, No 5. P. 474-481. (In German).
- Fetterly K.A., Magnuson D.J., Tannahill G.M., et al. Effective use of radiation shields to minimize operator dose during invasive cardiology procedures // JACC: Cardiovascular Interventions. 2011 Oct. Vol. 4, No 10. P. 1133-1139.
- Von Boetticher H., Lachmund J., Hoffmann W. Cardiac catheterization: impact of face and neck shielding on new estimates

- of effective dose // *Health Physics*. 2009 Dec. Vol. 97, No 6. P. 622-627.
24. Maeder M., Brunner-La Rocca H.P., Wolber T., et al. Impact of a lead glass screen on scatter radiation to eyes and hands in interventional cardiologists // *Catheterization and Cardiovascular Interventions*. 2006 Jan. Vol. 67, No 1. P. 18-23.
 25. Van Rooijen B.D., de Haan M.W., Das M., et al. Efficacy of radiation safety glasses in interventional radiology // *CardioVascular and Interventional Radiology*. 2014 Oct. Vol. 37, No 5. P. 1149-1155.
 26. Magee J.S., Martin C.J., Sandblom V., et al. Derivation and application of dose reduction factors for protective eyewear worn in interventional radiology and cardiology // *Journal of Radiological Protection*. 2014 Dec. Vol. 34, No 4. P. 811-823.
 27. Jacob S., Donadille L., Maccia C., et al. Eye lens radiation exposure to interventional cardiologists: a retrospective assessment of cumulative doses // *Radiation Protection Dosimetry*. 2013 Mar. Vol. 153, No 3. P. 282-293.
 28. IAEA, "Training Material on Radiation Protection in Cardiology: Occupational exposure and protective devices." URL: https://rpop.iaea.org/RPOP/RPoP/Content/Documents/TrainingCardiology/Lectures/CARD_L07_OccupationalExposure_and_ProtectiveDevices_WEB.ppt. (Дата обращения 09.08.2021).
 29. ICRP, 2012. Radiological protection in Cardiology. ICRP Publication 120 // *Ann. ICRP*. 2012. Vol. 42, No 1.
 30. Goldstein J.A., Balter S., Cowley M., et al., Occupational hazards of interventional cardiologists: prevalence of orthopedic health problems in contemporary practice // *Catheterization and Cardiovascular Interventions*. 2004. No 63. P. 407-411.
 31. Dixon R.G., Khiatani V., Statler J.D., et al. Society of interventional radiology: occupational back and neck pain and the interventional radiologist // *Journal of Vascular and Interventional Radiology*. 2017. Vol. 28, No 2. P. 195-9.
 32. ICRP, 2010. Radiological Protection in Fluoroscopically Guided Procedures outside the Imaging Department. ICRP Publication 117 // *Ann. ICRP*. 2010. Vol. 40, No 6.
 33. Klein L.W., Tra Y., Garratt K.N., et al., Occupational health hazards of interventional cardiologists in the current decade: results of the 2014 SCAI membership survey // *Catheterization and Cardiovascular Interventions*. 2015. No 86. P. 913-924.
 34. ICRP Publication 85. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures // *Ann ICRP*. 2000. Vol. 30, No 2. P. 7-67.
 35. Detorie N., Mahesh M., Schueler B.A., Reducing occupational exposure from Fluoroscopy // *Journal of the American College of Radiology*. 2007. No. 4. P. 335-337.
 36. Franken Y. Guidance on the use of protective lead aprons in medical radiology protection efficiency and correction factors for personal dosimetry. Proc. 6th European ALARA Network Workshop on Occupational Exposure Optimisation in the Medical Field and Radiopharmaceutical Industry, 23-25 October 2002, Madrid: Spain; 2002. P. 135-139.
 37. Christodoulou E.G., Goodsitt M.M., Larson S.C., et al. Evaluation of the transmitted exposure through lead equivalent aprons used in a radiology department, including the contribution from backscatter // *Medical Physics*. 2003 Jun. Vol. 30, No 6. P. 1033-1038.
 38. Finnerty M., Brennan P.C. Protective aprons in imaging departments: manufacturer stated lead equivalence values require validation // *European Journal of Radiology*. 2005 Jul. Vol. 15, No 7. P. 1477-84.
 39. Schlattl H., Zankl M., Eder H., et al. Shielding properties of lead-free protective clothing and their impact on radiation doses // *Medical Physics*. 2007 Nov. Vol. 34, No 11. P. 4270-80.
 40. Eder H., Schlattl H., Hoeschen C. X-Ray protective clothing: does DIN 6857-1 allow an objective comparison between lead-free and lead-composite materials? // *RoFo*. 2010 May. Vol. 182, No 5. P. 422-428.
 41. Marshall N.W., Faulkner K., Clarke P. An investigation into the effect of protective devices on the dose to radiosensitive organs in the head and neck // *British Journal of Radiology*. 1992 Sep. Vol. 65, No 777. P. 799-802.
 42. Kicken P.J.H., Kemerink G.J., Schultz F.W., et al. Dosimetry of occupationally exposed persons in diagnostic and interventional arteriography. Part II: Assessment of effective dose // *Radiation Protection Dosimetry*. 1999. Vol. 82. P. 105-114.
 43. Moore W.E., Ferguson G., Rohrman C., Physical factors determining the utility of radiation safety glasses // *Medical Physics*. 1980. No 7. P. 8-12.
 44. Thornton R.H., Dauer L.T., Altamirano J.P., et al., Comparing strategies for operator eye protection in the interventional radiology suite // *Journal of Vascular and Interventional Radiology*. 2010. No 21. P. 1703-1707.
 45. Limacher M.C., Douglas P.S., Germano G., et al. ACC expert consensus document. Radiation safety in the practice of cardiology // *Journal of the American College of Cardiology*. 1998 Mar 15. Vol. 31, No 4. P. 892-913.
 46. Wagner L.K., Mulhern O.R. Radiation-attenuating surgical gloves: Effects of scatter and secondary electron production // *Radiology*. 1996. No 200. P. 45-48.
 47. Adamus R., Loose R., Wucherer M., Uder M., et al. Strahlenschutz in der interventionellen Radiologie // *Radiologie*. 2016 Mar. Vol. 56, No 3. P. 275-81. (In German).

Поступила: 09.08.2021 г.

Сарычева Светлана Сергеевна – кандидат биологических наук, 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. **Адрес для переписки:** 197101, Россия, Санкт-Петербург, ул. Мира, д. 8; E-mail: Svetlana2003@mail.ru

Для цитирования: Сарычева С.С. Особенности применения средств радиационной защиты для персонала рентгенохирургических операционных // Радиационная гигиена. 2021. Т. 14, № 4. – С. 76-84. DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-4-76-84

Features of radiation protection equipment for the staff of X-ray operating rooms

Svetlana S. Sarycheva

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

This survey is devoted to the staff radiation protection in X-ray operating rooms. For self-safety staff must regularly and correctly use the protective equipment, which is ensured by their availability, convenience and manoeuvrability during procedures performing. The rapid development of interventional radiology led to the fact that the staff work in this area have one of the highest levels of occupational exposure. Unfortunately, domestic radiation protection system does not keep pace with such a rapid development of this branch of medicine. The article shows the basic principles of the distribution of scattered radiation in the X-ray operating room during the procedures performing. The distribution of scattered radiation around the patient for various modes of C-arm angiographic systems is shown. Graphical examples of scattered radiation distribution in X-ray operating rooms are given. Collective and individual protective equipment specifically designed for staff radiation protection in X-ray operating room are considered in detail. The common data on the protection features of the recommended staff protection equipment are presented. Most of the considered protection equipment is mandatory in many European countries, but not mentioned in domestic regulatory documents yet. The proposals for the modernization of the domestic radiation protection system for staff of X-ray operating rooms have been made. These recommendations focused on providing X-ray operating rooms with relevant radiation protection equipment, including eye protection, following the accumulated world experience and international regulations.

Key words: interventional radiology, staff protection, radiation protection equipment.

References

1. ICRP Publication 139. Occupational radiological protection in interventional procedures ICRP Publication 139. *Ann ICRP*. 2018;47(2): 1–112.
2. Miller DL, Vano E, Bartal G, Balter S, Dixon R, Padovani R, et al. Occupational radiation protection in interventional radiology: a joint guideline of the cardiovascular and Interventional radiology society of Europe and the society of interventional radiology. *CardioVascular and Interventional Radiology*. 2010;33(2): 230–239.
3. Federal statistic form N 30 "Information about the medical organization" for 2018. (Order No. 483 on the approval of Form by Rosstat dated 03.08.2018). 2018. 13 p. (in Russian).
4. ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Ann. ICRP*. 2007;37 (2-4). (In Russian).
5. ICRP publication 118. ICRP statement on tissue reactions and early and late effects of radiation in normal tissues and organs – Threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. *Ann ICRP*. 2012;41: 1–322.
6. Implications for Occupational Radiation Protection of the New Dose Limit for the Lens of the Eye /TecDoc-1731. Vienna: International Atomic Energy Agency; 2013. 1-44
7. NCRP Report 168. Radiation dose management for fluoroscopically-guided interventional procedures // National Council on Radiological Protection, 2010. 314 p.
8. Behrman RH, Rees CR. Radiation safety and protection systems. Vascular Imaging and Intervention. Jaypee Bros: New Delhi; 2020. Vol 1, Second Edition. P. 81-123.
9. Hirshfeld Jr. JW, Ferrari VA, Bengel FM, Bergersen L, Chambers CE, Einstein AJ, et al. 2018 ACC/HRS/NASCI/SCAI/SCCT Expert Consensus Document on Optimal Use of Ionizing Radiation in Cardiovascular Imaging: Best Practices for Safety and Effectiveness. A Report of the American College of Cardiology Task Force on Expert Consensus Decision Pathways. *Journal of the American College of Cardiology*. 2018;71(24): 283-351.
10. Vano E, Gonzalez L, Fernández JM, Haskal ZJ. Eye lens exposure to radiation in interventional suites: caution is warranted. *Radiology*. 2008 Sep;248(3): 945-953.
11. Haqqani OP, Agarwal PK, Halin NM, Iafrafi MD. Defining the radiation "scatter cloud" in the interventional suite. *Journal of Vascular Surgery*. 2013 Nov;58(5): 1339-1345.
12. Vano E, Gonzalez L, Fernandez JM, Prieto C, Guibelalde E. Influence of patient thickness and operation modes on occupational and patient radiation doses in interventional cardiology. *Radiation Protection Dosimetry*. 2006;118(3): 325-330.
13. Balter S. Stray radiation in the cardiac catheterisation laboratory. *Radiation Protection Dosimetry*. 2001;94(1-2): 183-188.
14. Schueler BA, Vrieze TJ, Bjarnason H, Stanson AW. An investigation of operator exposure in interventional radiology. *Radiographics*. 2006 Sep-Oct;26(5): 1533-1541
15. Gonzales JP, Moran C, Silberzweig JE. Reduction of operator radiation dose by an extended lower body shield. *Journal of Vascular and Interventional Radiology*. 2014 Mar;25(3): 462-468
16. Vanhavere F, Carinou E, Gualdrini G, Clairand I, Sans Merce M, Ginjaume M, et al., ORAMED: Optimisation of Radiation Protection for Medical Staff. 7th EURADOS Report. EURADOS; 2012.
17. Whitby M, Martin CJ. Radiation doses to the legs of radiologists performing interventional procedures: are they a cause for concern? *British Journal of Radiology*. 2003;76: 321–327.

Svetlana S. Sarycheva

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

Address for correspondence: Mira Str., 8, Saint-Petersburg, 197101, Russia; E-mail: Svetlana2003@mail.ru

18. Martin CJ. Eye lens dosimetry for fluoroscopically guided clinical procedures: practical approaches to protection and dose monitoring. *Radiation Protection Dosimetry*. 2016 Jun;169(1-4):286–291.
19. Koukorava C, Carinou E, Simantirakis G, Vrachliotis TG, Archontakis E, Tierris C, et al. Doses to operators during interventional radiology procedures: focus on eye lens and extremity dosimetry. *Radiation Protection Dosimetry*. 2011 Mar;144(1-4):482–486.
20. Kuon E, Schmitt M, Dahm JB. Significant reduction of radiation exposure to operator and staff during cardiac interventions by analysis of radiation leakage and improved lead shielding. *American Journal of Cardiology*. 2002 Jan 1;89(1):44–49.
21. Galster M, Guhl C, Uder M, Adamus R. Exposition of the operator's eye lens and efficacy of radiation shielding in fluoroscopically guided interventions. *RoFo*. 2013 May;185(5):474–481. (In German).
22. Fetterly KA, Magnuson DJ, Tannahill GM, Hindal MD, Mathew V. Effective use of radiation shields to minimize operator dose during invasive cardiology procedures. *JACC: Cardiovascular Interventions*. 2011 Oct;4(10):1133–1139.
23. Von Boetticher H, Lachmund J, Hoffmann W. Cardiac catheterization: impact of face and neck shielding on new estimates of effective dose. *Health Physics*. 2009 Dec;97(6):622–627.
24. Maeder M, Brunner-La Rocca HP, Wolber T, Ammann P, Roelli H, Rohner F, et al. Impact of a lead glass screen on scatter radiation to eyes and hands in interventional cardiologists. *Catheterization and Cardiovascular Interventions*. 2006 Jan;67(1):18–23.
25. Van Rooijen BD, de Haan MW, Das M, Arnoldussen CW, de Graaf R, van Zwam WH, et al. Efficacy of radiation safety glasses in interventional radiology. *CardioVascular and Interventional Radiology*. 2014 Oct;37(5):1149–1155.
26. Magee JS, Martin CJ, Sandblom V, Carter MJ, Almén A, Cederblad Å, et al. Derivation and application of dose reduction factors for protective eyewear worn in interventional radiology and cardiology. *Journal of Radiological Protection*. 2014 Dec;34(4):811–823.
27. Jacob S, Donadille L, Maccia C, Bar O, Boveda S, Laurier D, et al. Eye lens radiation exposure to interventional cardiologists: a retrospective assessment of cumulative doses. *Radiation Protection Dosimetry*. 2013 Mar;153(3):282–293.
28. IAEA, "Training Material on Radiation Protection in Cardiology: Occupational exposure and protective devices." [Available on: https://rpop.iaea.org/RPOP/RPoP/Content/Documents/TrainingCardiology/Lectures/CARD_L07_OccupationalExposure_and_ProtectiveDevices_WEB.ppt (Accessed August 09, 2021).
29. ICRP, 2012. Radiological protection in Cardiology. ICRP Publication 120. *Ann. ICRP*. 2012; 42(1).
30. Goldstein JA, Balter S, Cowley M, et al. Occupational hazards of interventional cardiologists: prevalence of orthopedic health problems in contemporary practice. *Catheterization and Cardiovascular Interventions*. 2004;63:407–411.
31. Dixon RG, Khiatani V, Statler JD, et al. Society of interventional radiology: occupational back and neck pain and the interventional radiologist. *Journal of Vascular and Interventional Radiology*. 2017;28(2):195–9.
32. ICRP, 2010. Radiological Protection in Fluoroscopically Guided Procedures outside the Imaging Department. ICRP Publication 117. *Ann. ICRP*. 2010; 40(6).
33. Klein LW, Tra Y, Garratt KN, et al. Occupational health hazards of interventional cardiologists in the current decade: results of the 2014 SCAI membership survey. *Catheterization and Cardiovascular Interventions*. 2015;86:913–924.
34. ICRP Publication 85. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. *Ann ICRP*. 2000;30(2):7–67.
35. Detorie N, Mahesh M, Schueler BA. Reducing occupational exposure from fluoroscopy. *Journal of the American College of Radiology*. 2007;4:335–337.
36. Franken Y. Guidance on the use of protective lead aprons in medical radiology protection efficiency and correction factors for personal dosimetry. Proc. 6th European ALARA Network Workshop on Occupational Exposure Optimisation in the Medical Field and Radiopharmaceutical Industry, 23–25 October 2002, Madrid: Spain; 2002. P. 135–139.
37. Christodoulou EG, Goodsitt MM, Larson SC, Darner KL, Satti J, Chan HP. Evaluation of the transmitted exposure through lead equivalent aprons used in a radiology department, including the contribution from backscatter. *Medical Physics*. 2003 Jun;30(6):1033–1038.
38. Finnerty M, Brennan PC. Protective aprons in imaging departments: manufacturer stated lead equivalence values require validation. *European Journal of Radiology*. 2005 Jul;15(7):1477–84.
39. Schlattl H, Zankl M, Eder H, Hoeschen C. Shielding properties of lead-free protective clothing and their impact on radiation doses. *Medical Physics*. 2007 Nov;34(11):4270–80.
40. Eder H, Schlattl H, Hoeschen C. X-Ray protective clothing: does DIN 6857-1 allow an objective comparison between lead-free and lead-composite materials? *RoFo*. 2010 May;182(5):422–428.
41. Marshall NW, Faulkner K, Clarke P. An investigation into the effect of protective devices on the dose to radiosensitive organs in the head and neck. *British Journal of Radiology*. 1992 Sep;65(777):799–802.
42. Kicken PJH, Kemerink GJ, Schultz FW, Zoetelief J, Broerse JJ, van Engelshoven JMA. Dosimetry of occupationally exposed persons in diagnostic and interventional arteriography. Part II: Assessment of effective dose. *Radiation Protection Dosimetry*. 1999;82:105–114.
43. Moore WE, Ferguson G, Rohmann. Physical factors determining the utility of radiation safety glasses. *Medical Physics*. 1980;7:8–12.
44. Thornton RH, Dauer LT, Altamirano JP, et al. Comparing strategies for operator eye protection in the interventional radiology suite. *Journal of Vascular and Interventional Radiology*. 2010;21:1703–1707.
45. Limacher MC, Douglas PS, Germano G, Laskey WK, Lindsay BD, McKetty MH, et al. ACC expert consensus document. Radiation safety in the practice of cardiology. American College of Cardiology. *Journal of the American College of Cardiology*. 1998 Mar 15;31(4):892–913.
46. Wagner LK, Mulhern OR. Radiation-attenuating surgical gloves: Effects of scatter and secondary electron production. *Radiology*. 1996;200:45–48.
47. Adamus R, Loose R, Wucherer M, Uder M, Galster M. Strahlenschutz in der interventionellen Radiologie. *Radiologe*. 2016 Mar;56(3):275–81. (in German).

Received: August 09, 2021

For correspondence: Svetlana S. Sarycheva – candidate of biological sciences, Senior Scientific Researcher of 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, St. Petersburg, 197101, Russia; E-mail: Svetlana2003@mail.ru)

For citation: Sarycheva S.S. Features of radiation protection equipment for the staff of X-ray operating rooms. *Radiatsionnaya Gygiena = Radiation Hygiene*. 2021. Vol. 14, No 4, P. 76-84. (In Russian) DOI: 10.21514/1998-426X-2021-14-4-76-84.