

ОБЗОРЫ

**Е.Б.Кропоткин, Э.А.Иваницкий, М.К.Верхотуров, Д.Б.Дробот,
В.А.Сакович, А.С.Абдрахманов¹, Е.В.Лян²**

ФЛЮОРОСКОПИЯ В ИНТЕРВЕНЦИОННОЙ КАРДИОЛОГИИ. ЕСТЬ ЛИ ПОВОД ЗАДУМАТЬСЯ?

**Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии, Красноярск, ¹Национальный научный
кардиохирургический центр, Астана, Казахстан, ²Первый Санкт-Петербургский Государственный
Медицинский Университет им. академика И.П.Павлова**

*Рассматриваются вопросы безопасности применения флюороскопического контроля при проведении чрез-
кожных диагностических и лечебных вмешательств, анализируется частота возникновения радиационных дер-
матитов и онкологических заболеваний у медицинского персонала, участвующего в их проведении.*

Ключевые слова: радиочастотная катетерная абляция, флюороскопия, рентгеновское излучение, радиационный дерматит, лучевая катаракта, новообразование.

*The problem of safety of fluoroscopic guidance during percutaneous diagnostic and therapeutic interventions is
considered; the incidence of radiation dermatitis and neoplasms in the medical staff who take part in the procedures is
analyzed.*

Key words: radiofrequency catheter ablation, fluoroscopy, X-radiation, radiation dermatitis, radiation cata-
ract, neoplasm

Первую в мире катетеризацию сердца, вопреки запретам своего шефа, да ещё и на собственном орга-
низме, выполнил В.Фроссман ещё в 1929 году [1] за
что и получил в дальнейшем Нобелевскую премию.
Целью данной процедуры был не поиск способа по-
становки диагноза, но разработка метода доставки ле-
карственных средств в правое предсердие [2]. Однако
именно эта процедура стала началом взрывообразного
развития интервенционной кардиологии. Уже тогда
для визуализации была использована флюороскопия
[2]. В настоящее время флюороскопия (рентгеноско-
пия) является неотъемлемой частью подавляющего
большинства интервенционных вмешательств и по-
зволяет с достаточно высокой точностью визуализи-
ровать структуры сердца и положение лечебных или
диагностических инструментов, расположенных в его
полостях или сосудах. Повсеместное использование
рентгеноскопии сделало её основным источником ио-
низирующего излучения, созданного человеком, и со-
ставляет порядка 14% от общего ежегодного излучения
от всех источников ионизирующего излучения для об-
щей популяции на земном шаре [3].

Бесспорным является тот факт, что увеличивается
сложность и длительность выполняемых чрекожных
как диагностических так и лечебных вмешательств
[4-6]. Интервенционные вмешательства на сердце со-
ставляют лишь 12% от общего количества радиологи-
ческих исследований, но при этом они обеспечивают
наибольшие дозы ионизирующего излучения, до 50%
общей суммарной эффективной дозы [7]. Пациенты,
которым было выполнено интервенционное вмеша-
тельство, получают лучевую нагрузку в тысячу и даже
более раз превышающую таковую при выполнении
обычного радиологического исследования [8]. Боль-
шую лучевую нагрузку в катетерной лаборатории
получают также интервенционные кардиологи, элек-
трофизиологи и вся бригада, принимающая участие в

проведении интервенционного вмешательства [59]. В
исследовании, проведенном А.М.Росс, было показано,
что среди специалистов, осуществляющих хирурги-
ческое лечение или диагностическую манипуляцию
под контролем рентгеноскопии, достоверно большее
количество времени в операционной проводят именно
интервенционные кардиологи (в сравнении с ревмато-
логами или ортопедами) [9]. Со слов J.A.Goldstein ин-
тервенционные кардиологи проводят приблизительно
90% времени своего рабочего дня стоя в катетерной ла-
боратории у стола [10].

С течением времени в литературе, наряду с пуб-
ликациями об эффективности, малой инвазивности
описанных ранее процедур, коротком сроке пребыва-
ния в стационаре после выполненного вмешательства,
отдаленных результатах, стали появляться статьи и о
негативном влиянии рентгеновского излучения на па-
циента. Так, например, только в журналах, относящих-
ся к дерматологии, было опубликовано более 40 слу-
чаев возникновения повреждений кожных покровов,
вызванных воздействием рентгеновского излучения.
Причем большая их часть относилась к хроническим
радиационным дерматитам [11-21], описаны 3 случая
развития подострых дерматитов [22, 23] и 9 случаев
развития острых дерматитов [24-26]. Чаще всего это
были пациенты после чрекожных коронарных вме-
шательств. Однако, среди них были и пациенты после
катетерных абляций различных нарушений ритма сердца
[24], транскатетерной имплантации внутрисердечного
портосистемного шунта [19] и эмболизации сосудов
головного мозга [26]. В своих работах T.R.Koeing с со-
авт. [27] и J.Lee и соавт. [12] обобщили накопленные
данные и указали варианты кожных проявлений при
воздействии ионизирующего излучения, а так же дозы,
которые способны их вызвать (табл. 1).

Наряду с публикациями о возникновении кожных
реакций в ответ на ионизирующее излучение стали по-

являться публикации о реакциях со стороны органов зрения. Было показано, что хрусталик - одна из самых радиочувствительных структур и формирование катаракты является основным проявлением со стороны органов зрения в ответ на воздействие ионизирующего излучения [28]. В истории существует достаточно данных о связи низких доз радиации с повышенным риском развития катаракты. Это было прослежено в исследованиях касающихся анализа данных о частоте встречаемости катаракты глаз у выживших после взрывов ядерных бомб в городах Хиросима и Нагасаки [29-31], у пациентов, подвергшихся ионизирующему излучению от кобальт⁶⁰-содержащей стали, входящей в конструкции зданий на Тайване [32], у детей после аварии на Чернобыльской атомной электростанции [33], у пилотов авиалайнеров [34] и у астронавтов [35]. В медицинской практике есть исследования, которые продемонстрировали связь повышенного риска развития катаракты и проведенных ранее компьютерных томографических (КТ) исследований органов головы [36, 37]. Поэтому неудивительным стало появление публикаций, где были описаны новые случаи катаракт среди персонала, пребывающего в катетерной лаборатории [38-43].

Анализируя регулярно появляющиеся данные о негативном влиянии рентгеновского излучения на организм человека, медицинское сообщество отреагировало созданием специальной объединенной рабочей группы, которой были разработаны в период с 2004 по 2005 год и опубликованы в 2006 году рекомендации по радиационной безопасности в интервенционной кардиологии сначала в Японии [44], а затем и для широкой общественности [45]. В данных рекомендациях появляется информация уже и о возможном развитии рака кожи у пациентов, вызванных воздействием ионизирующего излучения. Пороговая доза излучения для его формирования неизвестна, но время до его появления занимает не менее 15 лет.

Для уменьшения негативного влияния рентгеноскопии на пациента во время проведения интервенционного вмешательства в рекомендациях был описан целый ряд методов и алгоритмов, включающий использование определенных режимов флюороскопии, рентгенологических проекций, расположение детектора С-дуги, высоты стояния операционного стола и т.д. [45].

Действию рентгеновского излучения в катетерной лаборатории подвергается не только пациент, но и оперирующий его врач, а также весь медицинский персонал, обеспечивающий проведение хирургического лечения. В работе K.Awai [46] достаточно подробно описано распространение рентгеновских лучей в зависимости от положения С-дуги. Так, например, большую дозу лучевой нагрузки пациент получит с левой стороны грудной клетки, если дуга будет позиционирована в правой кривой проекции и наоборот. Существенное увеличение дозы (более чем в 10 раз) отмечается во время записи видеосегмента -

рентгенографии (например, во время контрастирования коронарных сосудов при проведении коронарографии, или контрастирования одной из легочных вен левого предсердия (ЛП) при проведении катетерной абляции фибрилляции предсердий (ФП), а также при создании референтного снимка, которые, в свою очередь, являются точкой отсчета при проведении катетерных манипуляций [46]. Даже в самых удаленных областях катетерной лаборатории, где доза относительно низка во время выполнения рентгеноскопии, во время рентгенографии она может быть сопоставима с дозой на месте оперирующего хирурга при проведении им рентгеноскопии.

Если пациенту все-таки приходится подвергаться действию рентгеновского излучения ввиду необходимости визуализации внутренних структур его организма и расположенных в них инструментов, то для оперирующего хирурга, выполняющего несколько интервенционных вмешательств каждый день на протяжении всей своей карьеры, просто необходимо защищаться от излучения. Первым барьером на пути рентгеновских лучей к организму врача являются приспособления, фиксированные на операционном столе и возле него. Ниже и выше операционного стола защищает свинец-содержащая резина. Спереди - защитное акриловое стекло. Основную лучевую нагрузку оператор получает в виде отраженных от тела пациента лучей [45], поэтому защита будет тем эффективнее, чем ближе будет расположено защитное стекло к телу пациента (т.е. не между рентгеновской трубкой и врачом, а между пациентом и врачом) (рис. 1).

Вторым барьером на пути рентгеновских лучей к организму врача являются средства индивидуальной защиты (свинцовый фартук, щиток для щитовидной железы, рентген-защитные очки), толщина слоя свинца в которых составляет 0,25 мм. Кстати, барьерная способность средств индивидуальной защиты не является 100%, т.е. её «пробиваемость» для рентгеновских лучей составляет в среднем 7-10% (от 0% до 30%) и достоверно не различается между средствами

Таблица 1.

Кожные проявления, вызванные воздействием ионизирующего излучения

Эффект	Пороговая доза Рад (Гр)	Время до начала
Ранняя транзиторная ишемия	200 (2)	Часы
Временная эпилепсия	300 (3)	3 недели
Основная эритема	600 (6)	10 дней
Постоянная эритема	700 (7)	3 недели
Сухая десквамация	1000 (10)	4 недели
Интерстициальный фиброз	1000 (10)	Не указано
Атрофия кожи	1100 (11)	> 14 недель
Телеангиэктазия	1200 (12)	> 52 недель
Влажная десквамация	1500 (15)	4 недели
Поздняя эритема	1500 (15)	6-10 недель
Некроз кожи	1800 (18)	> 10 недель
Вторичное изъязвление	2000 (20)	> 6 недель

индивидуальной защиты, содержащими 0,25 мм толщину и 0,35 мм толщину свинцового слоя. Поэтому в рекомендациях [44] указывается необходимость использования для защиты более легкой защиты, содержащей 0,25 мм слой защитного материала. Это и понятно, сами средства индивидуальной защиты несут в себе скрытый риск для использующего их врача. Специалисты, которые регулярно используют свинцовые жилеты, чаще других врачей предъявляют жалобы на проблемы с опорно-двигательным аппаратом и чаще нуждаются в медицинских вмешательствах. Достоверно доказано [9], что интервенционные кардиологи большее количество времени в течение календарного года пребывают на больничном листе из-за проблем с позвоночником и суставами нижних конечностей и чаще других обращаются за медикаментозным лечением по поводу болей в шее или спине в сравнении с другими специалистами, использующими те же средства защиты.

Обращает на себя внимание факт, что ни в рекомендациях 2006 года [44], ни в пересмотренных рекомендациях 2011 года в перечень обязательных средств индивидуальной защиты не входит защитный головной убор. Однако, действию ионизирующего излучения подвергается так же и голова оперирующего хирурга, причем, особенно незащищенной (а она ничем не защищена в подавляющем большинстве случаев) она оказывается при имплантации антиаритмических устройств (рис. 2), когда просто нет возможности использовать защитное стекло для экранирования врача от основного объема отраженных от тела пациента лучей. Обычная С-дуга, расположенная в катетерной лаборатории, по некоторым данным [54], может обеспе-

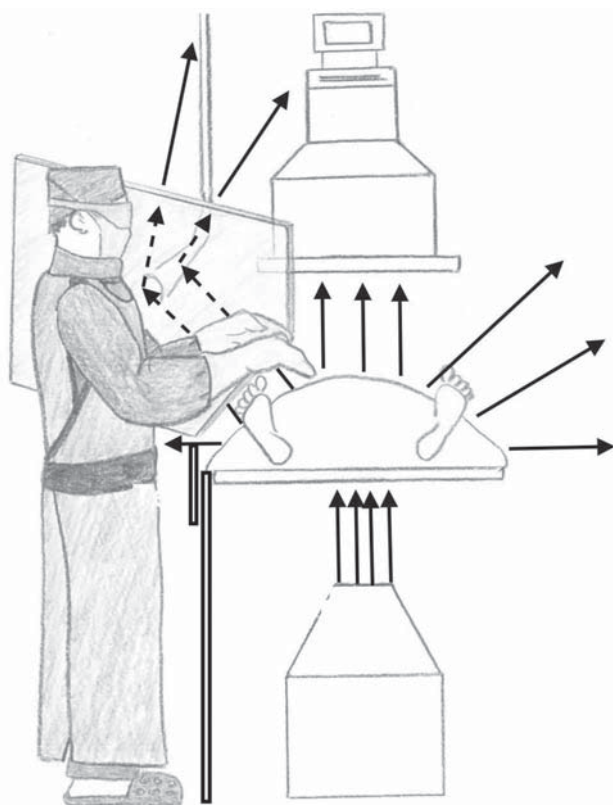


Рис. 1. Распространение отраженных лучей в рентген-операционной.

чить среднюю эффективную дозу 1-3 мЗв в расчете на голову в год.

Вполне ожидаемым стало появление в периодической литературе сначала статьи о возникновении опухоли головного мозга у двух интервенционных кардиологов из Торонто [47] в 1998 году. Диагноз опухоли головного мозга был установлен у них в 1997 году. Время с момента постановки диагноза до их смерти - несколько месяцев. Немного позже, в 2001 году, появляется новая статья о возникновении злокачественных новообразований головного мозга еще у трех врачей, но уже из Швеции, работающих с ионизирующим излучением [48]. Все эти данные и еще четыре новых случая были обобщены, систематизированы и опубликованы в работе A.Roguin в 2012 году [49]. Среди новых случаев были два интервенционных кардиолога из Хайфы (Израиль), один из них умер через несколько месяцев после постановки диагноза; и два интервенционных кардиолога из Парижа (Франция), один умер через год после того как диагноз был установлен, второй - через 4 года.

Уже в мае 2013 выходит в свет новая статья того же автора (A.Roguin) [50], где он докладывает еще о 22 новых случаях злокачественных новообразований головы и шеи среди интервенционных кардиологов. Причем данные о новых случаях были получены за несколько последних месяцев. В итоге общее количество специалистов, работающих с рентгеновским излучением и имеющих злокачественное образование головы и шеи, составило 31, среди них было 23 интервенционных кардиолога, 2 электрофизиолога, 6 интервенционных радиологов. Все врачи работали с ионизирующим излучением продолжительное время: от 12 до 32 лет, в среднем $23,5 \pm 5,9$ лет. Среди опухолей в 17 (55%) случаях была выявлена мультиформная глиобластома, в двух астроцитомы (7%), в пяти менингиомы (16%). У 26 человек удалось установить локализацию образований головного мозга. Из них у достоверно большего количества - 22 человека (85%, $p=0,176$) злокачественные образования головного мозга были расположены слева, у 1 - срединная локализация, и у 3 была установлена правосторонняя локализация. Это связано с тем, что обычное расположение рентген дуги во время проведения катетерных вмешательств - слева от оперирующего хирурга; спереди или справа она может располагаться при имплантации антиаритмических устройств в левую подключичную область. В общей популяции распределение опухолей головного мозга между полушариями имеет соотношение приблизительно 50/50%. Приведенные данные относительно непропорционального распределения опухолей могут указывать на связь их возникновения с хроническим воздействием низких доз ионизирующего излучения.

Связь между развитием злокачественных новообразований и рентгеновским излучением была прослежена так же в работе A.Berrington de Gonzalez [58]. Среди 15 развитых стран наибольшее количество ежегодных рентгенологических исследований в пересчете на 1000 населения проводится в Японии, в этой же стране ежегодная выявляемость рака была наивысшей (7587 в год), и самым высоким был относительный

риск его возникновения. На втором месте по количеству ежегодных рентгенологических исследований находится Германия, количество вновь выявленных раков в год 2049 (это третий результат после США - 5695 в год), которая находится на третьем месте по количеству диагностических рентгенологических исследований. Согласно его данным одна обзорная рентгенография органов грудной клетки может стать причиной возникновения 1 нового случая развития рака на миллион рентгенологических исследований в год, коронарография - 280, компьютерная томография органов грудной клетки - 60.

Для того, чтобы иметь представление о том, какую максимальную суммарную дозу лучевой нагрузки может получить пациент с нарушением ритма сердца в течение 1 календарного года пересчете на 1 рентгеновское исследование (РИ) при худшем варианте развития событий, рассмотрим пациента, которому планируется катетерная абляция ФП. Из рентгенологических обследований ему придется пройти обзорную рентгенографию органов грудной клетки, диагностическую коронарографию (280 РИ), после этого, если нет проблем с коронарными артериями, компьютерную томографию (КТ) с контрастированием (60 РИ) и саму процедуру катетерной абляции (в среднем 900-1500 РИ), на следующий день после операции обзорную рентгенографию органов грудной клетки. А в случае рецидива аритмии в течение того же календарного года ему еще как минимум один раз, или может быть дважды потребуется обзорная рентгенография органов грудной клетки (2 РИ), КТ с контрастированием (60 РИ), повторная абляция (900-1500 РИ). Итого 2500-3700 РИ в год.

Немаловажным является правильное представление о максимально-допустимых дозах ионизирующего излучения для организма человека, которые являются безопасными и не приведут к развитию трагических последствий у персонала, подвергающихся его воздействию; или возможная их правильная переоценка. Так еще 30 лет назад в своей работе [51] на 233 пациентах, которые были подвергнуты радиотерапии, G.R.Merriam с соавт. установили минимальную катарактогенную дозу ионизирующего излучения в 5,5 Gy в год. Однако, в более позднем исследовании [52] было показано, что для формирования катаракты достаточно и 500 mGy. Схожие данные были получены и в другом исследовании, где более чем за 35 тыс. техников радиологических лабораторий в возрасте 24-44 года наблюдали на протяжении 20 лет (1983-2004 гг). Было установлено, что ежегодная доза в 60 mGy была ассоциирована с достоверно большим риском развития катаракты в сравнении с 5mGy. Поэтому, определенные ранее дозы ионизирующего излучения как безопасные и допустимые, превышали дозы, определенные позднее более, чем в 10 раз. Для медицинского сообщества было шокирующим фактором, но, вполне закономерным, когда после пересмотра рекомендаций по радиационной безопасности в интервенционной кардиологии 2007 [44] уже в 2011 [45] порог максимально допустимой безопасной дозы ионизирующего излучения был снижен со 150 mSv до 20 mSv. Данные изменения сразу же нашли отражение и в стандартах безопасности, раз-

работанных Международным Агентством по Атомной Энергии [55] и в Директивах Европейской Комиссии [56] десятикратным снижением порога лучевой нагрузки, которая способна вызвать развитие катаракты, с 5000 mGy до 500 mGy.

Однако самым удивительным в данном вопросе является отношение врачей, работающих с ионизирующим излучением, к собственной безопасности. Данные исследования Европейской Ассоциации Сердечного Ритма [57] показали, что 26% врачей не знают о ежегодных и ежемесячных предельно допустимых дозах ионизирующего излучения в операционной. Использование нефлюороскопических подходов в последнее время стало реже, чем это было ещё в 2012 году; с целью уменьшения дозы рентгеновского излучения только 50% центров использовали режимы флюороскопии с низкой частотой кадров. Были зафиксированы факты превышения предельно-допустимых доз излучения среди оперирующих врачей и в связи с этим в 41% случаев были проведены более детальные индивидуальные измерения, анализы крови выполнены в 22% случаев; или врачу было разрешено выполнение только определенного количества процедур в день в 73% случаев.

Использование 3D навигации для уменьшения лучевой нагрузки при проведении таких процедур как абляция атриовентрикулярной узловой тахикардии (65% центров вообще не используют) или типичного трепетания предсердия (48% центров вообще не используют) остается крайне низким.

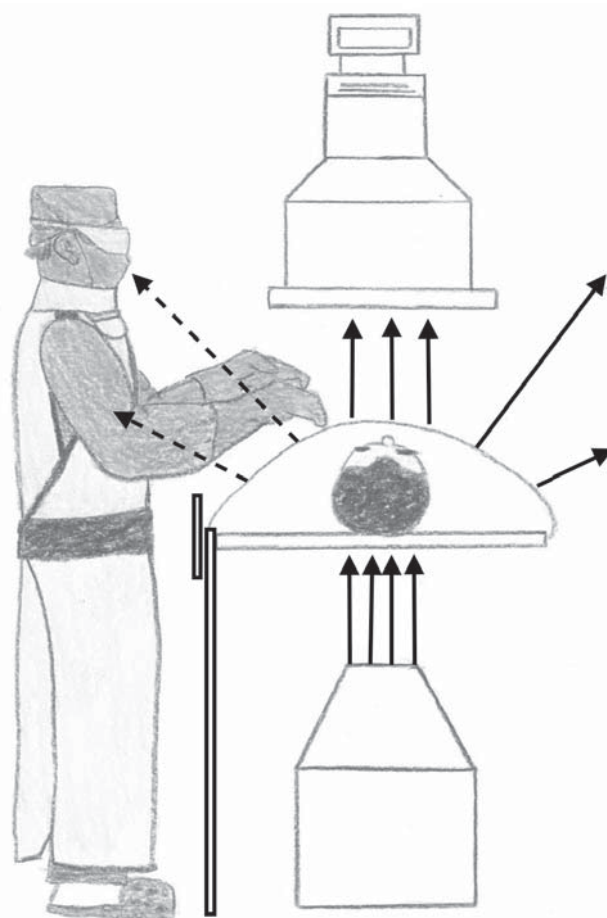


Рис. 2. Действие излучение на незащищенные участки тела оператора (руки и голову).

Ответственность за сохранение собственного здоровья при работе в катетерной лаборатории несет сам оперирующий врач. В настоящее время существует большое количество возможностей и методик для того, чтобы сделать эту работу безопасной и высоко эффективной. К сожалению, некоторые из них являются достаточно дорогостоящими как, например, система 3D навигации или робототехника. Не все клиники, в том числе клиники Европы [57], могут себе позволить использование подобных методик. Тем не менее, соблюдение специально разработанных рекомендаций [45] может значительно снизить риск развития негативных последствий в результате хронического воздействия на организм низких доз

ионизирующего излучения. Активное развитие нефлюороскопических систем визуализации внутренних органов и их систем таких как, например, система 3D навигации, трансторакальная и внутрисердечная ультразвуковая визуализация делают возможным выполнение практически всего спектра аритмологических процедур полностью без использования рентгеноскопии. Подобные оперативные вмешательства (полностью без использования рентгеноскопии) уже осуществлялись ранее в разных центрах по определенным показаниям: беременность на ранних сроках, детский возраст и т.д. Рутинное же использование такого подхода в ежедневной практике какой-либо клиники пока не было описано в литературе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Forssmann W. The catheterization of the right side of the heart // *Klin Wochenschr* 1929; 8 : 2085.
2. King SB. The development of interventional cardiology // *J Am Col Cardiol* 1998; 31: 64 - 88.
3. United Nations Scientific Committee on the effects of Atomic Radiation sources and effects of ionizing radiation // New York: United nations, 2000.
4. Kim K.P., Miller D. L., Balter S. et al. Occupational radiation doses to operators performing cardiac catheterization procedures // *Health Physics* 2008; 94: 211–227.
5. Einstein A.J., Moser K.W., Thompson R.C., Cerqueira M.D., and Henzlova M.J. Radiation dose to patients from cardiac diagnostic imaging // *Circulation* 2007; 116: 1290–1305.
6. Vano E., Sanchez R., Fernandez J.M. et al. Patient dose reference levels for interventional radiology: a national approach // *CardioVascular and Interventional Radiology* 2009; 32 : 19–24.
7. Picano E., Vano E., Semelka R., and Regulla D. The American College of Radiology white paper on radiation dose in medicine: deep impact on the practice of cardiovascular imaging // *Cardiovascular Ultrasound* 2007; 5: article 37.
8. Rehani M.M. and Ortiz-Lopez P. Radiation effects in fluoroscopically guided cardiac interventions—keeping them under control // *International Journal of Cardiology* 2006; 109: no. 147–151.
9. Ross A.M., et al. Prevalence of spinal disk disease among interventional cardiologist // *Am J Cardiol* 1997; 79: 68 - 70.
10. David KB. Poor ergonomics takes heavy toll after years in the cath lab. The society for cardiovascular angiography and interventions // Bethesda; MD 20814.
11. Aerts A. Decraene T van den Oord JJ et al. Chronic radiodermatitis following percutaneous coronary interventions: a report of two cases // *J Eur Acad Dermatol Venereol* 2003; 17: 340- 343.
12. Lee J. Hoss Phillips D. TJ Fluoroscopy-induced skin necrosis // *Arch Dermatol* 2003; 139: 140- 141.
13. Stone M. S., Robson K. J. , LeBoit P.E. Subacute radiation dermatitis from fluoroscopy during coronary artery stenting: evidence for cytotoxic lymphocyte mediated apoptosis // *J Am Acad Dermatol* 1998; 38: 333- 336.
14. Lichtenstein D.A., Klapholz L., Vardy D.A. et al. Chronic radiodermatitis following cardiac catheterization // *Arch Dermatol* 1996; 132: 663- 667.
15. Sajben F.P., Schoelch S.B., Barnette D.J. Fluoroscopic-induced radiation dermatitis // *Cutis* 1999; 64: 57- 59.
16. Kawakami T., Saito R., Miyazaki S. Chronic radiodermatitis following repeated percutaneous transluminal coronary angioplasty // *Br J Dermatol* 1999; 141: 150- 153.
17. D’Incan M., Roger H. Radiodermatitis following cardiac catheterization // *Arch Dermatol* 1997; 133: 242- 243.
18. Dandurand M., Huet P., Guillot B. Secondary radiodermatitis caused by endovascular explorations // *Ann Dermatol Venereol* 1999; 126: 413- 417.
19. Fierens H., Goffette P., Tennstedt D, Lachapelle J. Radiodermatitis after transjugular intrahepatic portosystemic shunt: 4 cases // *Ann Dermatol Venereol* 2000; 127: 619- 623.
20. Gironet N. Jan., Machet V., Machet M.C., Lorette L., Vaillant G.L., Chronic radiodermatitis after heart catheterization: the contributing role of clofibrate (Lipantor) // *Ann Dermatol Venereol* 1998; 125: 598- 600.
21. Granel F., Barbaud A., Gillet-Terver M.N., et al. Chronic radiodermatitis after interventional cardiac catheterization: four cases // *Ann Dermatol Venereol* 1998; 125: 405- 407.
22. Stone M.S., Robson K.J., LeBoit P.E., Subacute radiation dermatitis from fluoroscopy during coronary artery stenting: evidence for cytotoxic lymphocyte mediated apoptosis. // *J Am Acad Dermatol* 1998; 38: 333- 336.
23. Hivnor C.M., Seykora J.T., Junkins-Hopkins J. et al. Subacute radiation dermatitis // *Am J Dermatopathol* 2004; 26: 210- 212.
24. Nahass G.T., Acute radiodermatitis after radio-frequency catheter ablation. // *J Am Acad Dermatol* 1997; 36: 881- 884.
25. Schechter A.K., Cardiac catheterization-induced acute radiation dermatitis presenting as a fixed drug eruption. // *J Drugs Dermatol* 2003; 2: 425- 427.
26. D’Incan M., Roger H., Gabrillargues J. et al. Radiation-induced temporary hair loss after endovascular embolization of the cerebral arteries: six cases. // *Ann Dermatol Venereol* 2002; 129: 703- 706.
27. Koenig T.R., Mettler F.A., Wagner L.K., Skin injuries from fluoroscopically guided procedures: part 2, review of 73 cases and recommendations for minimizing dose delivered to patient. // *AJR Am J Roentgenol* 2001; 177: 13- 20.

28. Rohrschneider W. Vol. 106. In German: Arch f Augenh; 1932. // Studies on the formation and the morphology of Rontgen-radiation cataract in humans; pp. 221–54.
29. Otake M., Schull W. The relationship of gamma and neutron radiation to posterior lenticular opacities among atomic bomb survivors in Hiroshima and Nagasaki. // Radiat Res. 1982;92:574–95.
30. Miller R.J., Fujino T., Nefzger M.D. Lens findings in atomic bomb survivors: a review of major ophthalmic surveys at the Atomic Bomb Casualty Commission (1949–1962) // Arch Ophthalmol. 1967;78:697–704.
31. Nefzger M.D., Miller R.J., Fujino T. Eye findings in atomic bomb survivors of Hiroshima and Nagasaki: 1963–1964. // Am J Epidemiol. 1969;89:129–38.
32. Chen W., Hwang J., Hu T., et al. Lenticular opacities in populations exposed to chronic low-dose-rate gamma radiation from radiocontaminated buildings in Taiwan. // Radiat Res. 2001;156:71–7.
33. Day R., Gorin M.B., Eller A.W. Prevalence of lens changes in Ukrainian children residing around Chernobyl. // Health Phys. 1995;68:632–42.
34. Rafnsson V., Olafsdottir E., Hrafnkelsson J., et al. Cosmic radiation increases the risk of nuclear cataract in airline pilots: a population-based case-control study. // Arch Ophthalmol. 2005;123:1102–5.
35. Cucinotta F.A., Manuel F.K., Jones J., et al. Space radiation and cataracts in astronauts. // Radiat Res. 2001;156:460–6.
36. Klein B., Klein R., Linton K., et al. Diagnostic x-ray exposure and lens opacities: the Beaver Dam Eye Study. // Am J Public Health. 1993;83:588–90.
37. Klein B., Klein R., Moss S. Exposure to diagnostic x-rays and incident age-related eye disease. // Ophthalmic Epidemiol. 2000;7:61–5.
38. Pratt T.A., Shaw A.J. Factors affecting the radiation dose to the lens of the eye during cardiac catheterization procedures. // Br J Radiol 1993; 66: 346 - 350.
39. Junk A.K., Haskal Z., Worgul B.V. Cataract in interventional radiology - an occupational hazard // Invest Ophthalmol Vis Sci 2004; 45(suppl): 388.
40. Vano E., Gonzalez L., Fernandez J.M., et al. Eye lens exposure to radiation in interventional suits: caution is warranted. // Radiology 2008; 248:945 - 953.
41. Vano E., Kleiman N.J., Duran A., et al. Radiation cataract risk in interventional cardiology personnel. // Radiat Res 2010; 174:490 - 495.
42. Ciraj-Bjelak O., Rehani M.M., Sim K.H., et al. Risk for radiation induced cataract for staff in interventional cardiology: is there reason for concern // Catheter Cardiovasc Interv 2010; 76: 826 - 834.
43. Jacob S., Boveda S., Bar O., et al. Interventional cardiologists and risk of radiation induced cataract: results of a French multi center observational study. // Int Cardiol 2012; May 17 [Epub ahead of print].
44. Guidelines for the Diagnosis and Treatment of Cardiovascular Diseases (2004 - 2005 Joint Working Groups Report). Guidelines for Radiation Safety in Interventional Cardiology (JCS 2006). // Circ J 2006; 70 (Suppl VI): 1247 - 1299 (in Japanese).
45. JCS Joint Working Group. Guidelines for radiation safety in interventional cardiology (JCS 2006) Digest version. // Circ J 2010; 74: 2760 - 2785.
46. Awai K., Aoki Y., Ito T., et al. Study reports in radiation exposure for a medical workers and protective clothing in recent X - ray study. // Japanese Journal of Radiological Technology 1998; 54: 687 - 696.
47. Finkelstein M.M.. Is brain cancer an occupational disease of cardiologists // Can J Cardiol 1998; 14: 1385 - 8.
48. Hardell L., Mild K.H., Pahlson A., et al. Ionizing radiation, cellular telephones and the risk of brain tumors. // Eur J Cancer Prev 2001; 10: 523 - 9.
49. Roguin A., Goltstein J., Bar O. Brain tumors among interventional cardiologists: a cause for alarm. Report of four new cases from two new cities and a review of the literature. // Eurointervention 2012; 7: 1081 - 1086.
50. Roguin A., Goltstein J., Bar O., et al. Brain and neck tumors among physicians performing interventional procedures. // Am J Cardiol 2013; 111(9): 1368 - 72.
51. Merriam G.R., Worgul B.V.. Experimental radiation cataract—its clinical relevance. // Bull N Y Acad Med. 1983;59:372–92.
52. Worgul B.V., Kundiye Y., Sergiyenko N., et al. Cataract among Chernobyl cleanup workers: implications regarding permissible eye exposure. // Radiat Res. 2007;167:233–43.
53. Chodick G., Bekiroglu N., Hauptmann M., et al. Risk of Cataract after Exposure to Low Doses of Ionizing Radiation: A 20-Year Prospective Cohort Study among US Radiologic Technologists. // Am J Epidemiol. 2008 Sep 15; 168(6): 620–631.
54. Mettler Jr. F. A., Bhargavan M., Faulkner K. et al., “Radiologic and nuclear medicine studies in the United States and world- wide: frequency, radiation dose, and comparison with other radiation sources, 1950–2007,” // Radiology, vol. 253, no. 2, pp. 520–531, 2009.
55. International Atomic Energy Agency. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards (BSS) - Interim Edition, IAEA Safety Standards Series GSR Part 3 (Interim). // Vienna: IAEA; 2011.
56. European Commission. Proposal for a Council Directive laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionizing radiation. // Brussels, 30.05.2012. COM(2012) 242 final.
57. Estner H.L., Bongiorni M.G., Chen J., et al. Use of fluoroscopy in clinical electrophysiology in Europe: Results of the European Heart Rhythm Association Survey. // Europe 2015; 17: 1149 - 1152.
58. Berington de Gonzalez A., Darby S. Risk of cancer from diagnostic X - rays: estimates for the UK and 14 other countries. // Lancet 2004; 363: 345 - 351.
59. Aril T., Uchino S., Kubo Y., et al. Radiation exposure to anaesestists during endovascular procedures. // Anaesthesia 2015; 70: 47 - 50.