

**МОНИТОРИНГ ПИКОВОЙ ДОЗЫ В КОЖЕ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ПРИ РЕНТГЕНЭНДОВАСКУЛЯРНЫХ ВМЕШАТЕЛЬСТВАХ**

Кондрашин С.А.<sup>1</sup>, Сорокин В.Г.<sup>2,3</sup>, Рыжов С.А.<sup>2</sup>, Омельченко А.В.<sup>2</sup>,  
Толкачев К.В.<sup>2</sup>, Гарбузов В.В.<sup>3</sup>, Грановский А.П.<sup>4</sup>, Мухаматулина Э.<sup>3,4</sup>,  
Морозов С.П.<sup>2</sup>, Терновой С.К.<sup>1,5</sup>

1 - ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России. г. Москва, Россия.

2 - ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ». г. Москва, Россия.

3 - ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России. г. Москва, Россия.

4 - RP Canon Medical Systems.

5 - ФГБУ НМИЦ кардиологии Минздрава России. г. Москва, Россия.

**Ц**ель исследования. Оценить способность цветной графической системы мониторинга дозы облучения в режиме реального времени влиять на пиковую дозу в коже пациента и общую дозу облучения при выполнении рентгенэндоваскулярных вмешательств.

**Материалы и методы.** В ходе исследования проведено сравнение таких показателей, как пиковая кожная доза, время флюороскопии и время рентгенографии, при выполнении интервенционных вмешательств с использованием цветной графической системы мониторинга дозы облучения, а также без использования указанного функционала. 295 пациентов были подвергнуты различным эндоваскулярным вмешательствам: 83 ЧКВ, 8 ТБА Н, 22 ЦАГ, 5 кава-фильтров. При этом регистрировались антропометрические данные, тип вмешательства, параметры излучения, частота кадров и количество серий.

**Результаты.** Статистический анализ показал, что внедрение DTS привело к снижению пиковой кожной дозы на 17,9%. Это было наиболее выражено у пациентов, подвергнутых ЧКВ, но также наблюдалось в ряде подгрупп с высоким ИМТ. Достоверно установлено, что помимо уменьшения показателя пиковой дозы в коже, так же наблюдается снижение общего времени воздействия ионизирующего излучения на пациента.

**Обсуждение.** Отображение актуальной информации о пиковой дозе в реальном времени, обеспечиваемое DTS, привело не только к снижению пиковой дозы облучения кожи, но и к улучшению показателей общего времени облучения, а, следовательно, и к уменьшению DAP и air kerma. Основываясь на наших результатах, предполагается, что технология DTS может снизить частоту детерминированных радиационных эффектов и получить более широкое применение в рентгенохирургии. Включение пиковой дозы кожи и DAP в протокол операции и медицинскую карту предупредит врачей о развитии возможных осложнений.

**Заключение.** Установка специальной интегрированной системы отслеживания дозы в режиме реального времени уменьшила поглощённую дозу в коже пациента и общее время облучения во время интервенционных вмешательств, что позволяет рассматривать данную технологию как эффективный инструмент обеспечения радиационной безопасности.

Ключевые слова: интервенционные вмешательства, поглощённая доза, радиационная безопасность, радиационная защита, система мониторинга дозы облучения, пиковая доза в коже.

Контактный автор: Кондрашин С.А., e-mail: kondrashinsa@gmail.com

Для цитирования: Кондрашин С.А., Сорокин В.Г., Рыжов С.А., Омельченко А.В., Толкачев К.В., Гарбузов В.В., Грановский А.П., Мухаматулина Э.З., Морозов С.П., Терновой С.К. Мониторинг пиковой дозы в коже в режиме реального времени при рентгенэндоваскулярных вмешательствах. REJR 2021; 11(2):153-164. DOI: 10.21569/2222-7415-2021-11-2-153-164.

Статья получена: 11.03.21

Статья принята: 12.05.21

## REAL-TIME MONITORING OF THE PEAK DOSE IN THE SKIN DURING X-RAY ENDOVASCULAR INTERVENTIONS

Kondrashin S.A.<sup>1</sup>, Sorokin V.G.<sup>2,3</sup>, Ryzhov S.A.<sup>2</sup>, Omelchenko A.V.<sup>2</sup>, Tolkachev K.V.<sup>2</sup>,  
Garbuzov V.V.<sup>3</sup>, Granovsky A.P.<sup>4</sup>, Mukhamatulina E.Z.<sup>4</sup>,  
Morozov S.P.<sup>2</sup>, Ternovoy S.K.<sup>1,5</sup>

1 - I. M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University).

2 - State Budgetary Healthcare Institution of the City of Moscow. "Scientific and Practical Clinical Center for Diagnostics and Telemedicine Technologies Department of Health of the City of Moscow».

3 - N.I. Pirogov Russian National Research Medical University.

4 - RP Canon Medical Systems.

5 - National Medical Research Center of Cardiology. Moscow, Russia.

**Purpose.** To assess the ability of a color graphic system for monitoring the radiation dose in real time to influence the peak dose in the patient's skin and the total radiation dose during X-ray endovascular interventions.

**Materials and methods.** In the course of the study, the indicators of peak skin dose, fluoroscopy time and radiography time were compared when performing interventional interventions using a color graphical system for monitoring the radiation dose in real time, as well as without using the specified functionality. In total, 295 patients were successively subjected to various endovascular interventions, of which 83 underwent PCI, 8 balloon angioplasty of the lower extremity arteries, 22 angiography of brachiocephalic arteries, 5 cava filter installation. The patient's anthropometric data, the type of intervention, radiation parameters, frame rate and the number of episodes were recorded.

**Results.** Statistical analysis showed that the introduction of a real-time skin dose recording system resulted in a 17.9% reduction in the peak skin dose. The reduction in radiation dose was most pronounced in patients with PCI, but was also observed in a number of subgroups with high BMI. It is reliably established that after the introduction of real-time radiation monitoring, in addition to reducing the peak dose in the skin, there is also a decrease in the total time of exposure to ionizing radiation on the patient.

**Conclusions.** The installation of a special integrated dose tracking system in real time reduced the absorbed dose in the patient's skin and the total exposure time during interventional interventions. This allows us to consider this technology as an effective tool for ensuring radiation safety.

**Keywords:** interventional medical procedures, absorbed dose, radiation safety, radiation protection, radiation dose monitoring system, peak skin dose.

Corresponding author: Kondrashin S.A., e-mail: kondrashinsa@gmail.com

*For citation: Kondrashin S.A., Sorokin V.G., Ryzhov S.A., Omelchenko A.V., Tolkachev K.V., Garbuzov V.V., Granovsky A.P., Mukhamatulina E.Z., Morozov S.P., Ternovoy S.K. Real-time monitoring of the peak dose in the skin during X-ray endovascular interventions. REJR 2021; 11(2):153-164. DOI: 10.21569/2222-7415-2021-11-2-153-164.*

Received: 11.03.21

Accepted: 12.05.21

**К**оллективная доза облучения, используемая в медицинских исследованиях и при интервенционных вмешательствах, увеличилась в мире более чем в 7 раз между 1980 и 2006 годами [1]. В 29 европейских странах количество КАГ и ЧКВ за период с 1992 по 2001 год увеличилось на 264% и 416% соответственно [2]. В России в 2019 году было выполнено 527 472 КАГ и 254 368 ЧКВ, что на 9,9% и 14,8% больше, чем в 2018 году,

соответственно [3]. Несмотря на то, что интервенционные процедуры составляют лишь 12% от всех радиологических процедур, их вклад составляет 48% общей коллективной дозы среди больных с сердечно-сосудистыми заболеваниями [4]. Радиационное облучение является важной проблемой не только для пациентов, но и для врачей, выполняющих вмешательства. По данным, опубликованным НКДАР ООН (2008), рентгеновское облучение интервенционных медработников является



Рис. 1 (Fig. 1)

**Рис. 1. Система мониторинга пиковой дозы кожи в режиме реального времени.**

Система слежения за дозой (DTS) отображает в реальном времени графическое и численное значение для кумулятивной и пиковой дозы кожи. Полностью интегрированная система расположена рядом с рентгеноскопическим изображением и гемодинамическим мониторингом.

**Fig. 1. Real-time skin peak dose monitoring system.**

Dose Tracking System (DTS) displays real-time graphical and numerical values for cumulative and peak skin dose. The fully integrated system is located next to fluoroscopic imaging and hemodynamic monitoring.

наиболее значительным среди других специалистов, медицинская деятельность которых связана ионизирующим облучением [5]. Недавние исследования в интервенционной кардиологии выявили ряд существенных недостатков при проведении эндоваскулярных исследований, особое место среди которых занимают необоснованные уровни облучения [2].

Воздействие ионизирующего излучения во время эндоваскулярных процедур может привести к непосредственным детерминированным эффектам таким, как лучевые поражения кожи или развитие катаракты [6]. Увеличивается вероятность возникновения стохастических эффектов, например, риск возникновения злокачественных заболеваний [7]. В настоящее время на основе линейной беспороговой концепции воздействия ионизирующего излучения принято, что риск развития стохастических эффектов прямо пропорционально возрастает с увеличением

дозы облучения. Таким образом, считается, что любая доза облучения, даже минимальная, потенциально не безопасна [8], в связи с чем, необходимо приложить все усилия для минимизации дозы облучения пациентов и персонала рентгеноперационных [9].

При выполнении коронарографии существует ряд хорошо известных способов снижения лучевой нагрузки на пациента и персонал. К ним относится снижение частоты кадров флюороскопии, минимизация времени флюороскопии и рентгенографии, минимизация расстояния между пациентом и детектором изображения, увеличение расстояния между пациентом и рентгеновской трубкой, коллимация, использование программных средств снижения дозы [10, 11]. Также важно минимизировать дозу облучения оператора, используя все доступные экраны выше и ниже операционного стола в сочетании с ношением таких средств индивидуальной защиты, как фартуки, свинцовые очки и воротники [10]. Указанные меры доказали свою эффективность и должны применяться во всех случаях, когда это возможно.

В целях оценки контроля эффективности указанных выше инструментов снижения лучевой нагрузки в ходе проведения интервенционных исследований используют: время включения высокого напряжения, измерение воздушной кермы, дозы на площадь и/или входной дозы, однако их применение для исключения лучевых поражений кожи имеет ряд существенных ограничений. Время флюороскопии имеет ограничения в клинической пользе в качестве индикатора дозы облучения, поскольку оно не отражает размер пациента, угол наклона луча и частоту кадров в единицу времени [12]. Воздушная керма также имеет свои ограничения, так как это накопительное значение дозы, близкое к дозе, полученной кожей только при условии, что всё излучение было направлено в одно место, то при оценке радиационного воздействия также не учитывается угол наклона пучка, таким образом, при одинаковом значении воздушной кермы, входная кожная доза может существенно отличаться [12].

В последние годы получили распространение программы ретроспективной оценки кожной дозы, однако их практическое применение ограничено отсутствием возможности корректировки действий персонала в ходе проведения исследований.

Таким образом, для оценки кожной дозы необходимо использование систем, обеспечивающих графическую обратную связь в

**Таблица №1. Описательные статистики экспериментальной и контрольной групп пациентов.**

Показатель	Параметр	Группа пациентов		Различия групп, %	р-значение
		Контрольная	Экспериментальная		
Пол	Женщин	58	45	22,4	0,103
	Мужчин	89	106	-19,1	
Возраст, лет	N	149	153		
	Среднее (SE)	66,4 (0,88)	65,2 (0,95)	-2	0,375
	Медиана (IQR)	67(12)	66 (15)	-1	
	Размах	55	60	9	
Рост, см	N	149	155		
	Среднее (SE)	170,1 (0,8)	170,4 (1,3)	0	0,290
	Медиана (IQR)	170 (12)	171 (14)	1	
	Размах	42	49	17	
Вес, кг	N	149	154		
	Среднее (SE)	83,2 (1,5)	84,6 (1,3)	2	0,331
	Медиана (IQR)	80 (25)	85 (22)	6	
	Размах	81	90	11	
ИМТ, кг/м <sup>2</sup>	N	149	154		
	Среднее (SE)	28,68 (0,4)	28,66 (0,3)	0	0,494
	Медиана (IQR)	27,7 (7,4)	27,6 (6,7)	0	
	Размах	28,8	24,9	-14	
Пиковая кожная доза, mGy	N	149	155		
	Среднее (SE)	712 (68,3)	584 (53,6)	-18	0,276
	Медиана (IQR)	368 (828)	306 (470)	-17	
	Размах	5854	3386	-42	
Время флюороскопии, мин.	N	149	155		
	Среднее (SE)	8,9 (0,67)	7,8 (0,61)	-12	0,240
	Медиана (IQR)	6,2 (10)	4,7 (8,1)	-24	
	Размах	36,6	43,1	18	
Время рентгенографии, мин.	N	149	155		
	Среднее (SE)	1,22 (0,08)	1,15 (0,06)	-6	0,923
	Медиана (IQR)	0,9 (1)	0,9 (0,75)	0	
	Размах	4,9	4,1	-16	

режиме реального времени (RT), что позволит изменить тактику оператора в ходе проведения исследования и, следовательно, снизить пиковую дозу облучения кожи. Однако эффективность применения подобного функционала до настоящего времени не ясна.

Цель настоящего исследования заключается в оценке эффективности использования системы мониторинга дозы для снижения пиковой кожной дозы, поглощенной дозы в коже и эффективной дозы, полученной

пациентом, во время выполнения эндоваскулярных вмешательств.

**Цель исследования.**

Оценить способность цветной графической системы мониторинга дозы облучения в режиме реального времени влиять на пиковую дозу в коже пациента и общую дозу облучения при выполнении рентгенэндоваскулярных вмешательств.

**Материалы и методы.**

*Исследуемая популяция.*

Исследование проводилось в Клиническом центре Первого Московского государственного медицинского университета имени И.М. Сеченова в период с сентября 2019 по июль 2020 года. В исследование были включены все пациенты, которым выполнялись коронарография (КАГ), чрескожное коронарное вмешательство (ЧКВ), церебральная ангиография (ЦАГ), транслюминальная баллонная ангиопластика артерий нижних конечностей (ТБА НК) и имплантация кавофильтра. Пациенты не были включены в исследование, если им были проведены имплантация кардиостимулятора или электрофизиологические исследования. Всем пациентам проводилась ангиография в ангиографическом комплексе Infinix VF-I (Toshiba Medical Systems, Япония).

*Устройство для регистрации кожной дозы в режиме реального времени.*

Ангиограф был оснащен полностью интегрированной системой отслеживания дозы (DTS) (Toshiba Medical Systems). DTS предоставляет собой графическое изображение RT, отображаемое на флюороскопическом мониторе (рис. 1). На дисплее отображается цветное распределение кумулятивной кожной дозы на модели пациента, а также пиковая кожная доза RT и значения кумулятивной кожной дозы при текущей проекции луча RT. Цвет в графической модели меняется на желтый, когда пиковая доза кожи достигает 2000 мГр, а затем на красный, когда она превышает 3000 мГр.

*Дизайн исследования.*

Дизайн исследования представлял собой нерандомизированную «до-после» серию всех случаев с пациентами, перенесшими рентгенэндоваскулярные вмешательства. Чтобы свести к минимуму предвзятость выборки из этого нерандомизированного дизайна, пациенты представляли последовательную серию случаев за 11 месяцев. Поскольку это была последовательная серия из всех пациентов, то каждый из них, включая пациентов, перенесших более одной операции в течение этого периода, были включены в исследуемую популяцию. DTS записывала информацию обо всех пациентах, включенных в исследование. Для сравнения последовательно оценивались две группы пациентов. Контрольная группа представляла собой стандартную клиническую практику, в которой DTS регистрировала все операционные переменные (включая пиковую кожную дозу) без визуальной обратной связи DTS, отображаемой для рентгенэндоваскулярного хирурга – группа «контроль». Это представляет собой группу «До» – часть дизайна между сен-

тябрем 2019 года и декабрем 2019 года. После того как был получен необходимый объем выборки в группе «До» (150 пациентов), была изучена вторая группа – «После», «группа DTS», с графической обратной связью DTS, отображаемой для интервенционного врача в период с января 2020 года по июль 2020 года (155 пациентов). Однако 10 пациентов были исключены из общей выборки, так как им были проведены имплантация кардиостимулятора или электрофизиологические исследования.

*Операционные характеристики.*

Рентгенэндоваскулярные вмешательства выполнялись 3 врачами по рентгенэндоваскулярным диагностике и лечению, каждый из которых мог свободно выбирать все параметры визуализации, включая частоту кадров флюороскопии, коллимацию, фильтрацию, частоту кадров при съёмке изображения, угол наклона и высоту детектора изображения, увеличение и протокол проведения вмешательства.

*Определения конечных точек.*

Исследуемые переменные получаемого излучения в ходе выполнения вмешательств имели следующие определения: пиковая доза кожи – максимальная доза облучения в любой части кожи пациента, определяемая DTS; время рентгенографии – общая продолжительность записи – общая продолжительность графии за всю операцию; время флюороскопии – общая продолжительность флюороскопии, используемой в одном клиническом случае.

Значительная доза облучения, при превышении которой могут появиться детерминированные осложнения (поражение кожи), определялась как время флюороскопии >60 мин, пиковая доза кожи >3000 мГр [9]. Все интервенционные врачи использовали стандартные средства индивидуальной защиты от радиационного воздействия.

*Статистический анализ данных.*

Обработка данных проводилась с помощью языка программирования R в среде RStudio (Version 1.2.5042, RStudio, Inc.) [13]. Описательная статистика, тестирование статистических гипотез и линейное моделирование осуществлялись при помощи базового набора функций R. Первичная обработка и подготовка данных проводилась при помощи специализированных пакетов: для работы с Excel-файлами – «openxlsx» и «XLConnect», а также с помощью пакета для работы с регулярными выражениями «stringr». Форматирование данных проводилось с использованием пакетов: «reshape» и «tidyr». Визуализация данных осуществлялась при помощи па-

кетов «ggplot2» и «corrplot». В качестве статистического теста нормального распределения величин применялся тест Колмогорова-Смирнова в модификации Лиллиефорса. Для оценки однородности дисперсий величин использовался тест Флигнера-Килина и тест Барлетта. Определение выбросов осуществлялось с помощью теста Бонферрони. Соотношение полов в контрольной и экспериментальной группах пациентов сравнивалось с помощью теста Хи-квадрат Пирсона с поправкой Йейтса. Сравнительный анализ средних проводился односторонним и двусторонним тестом Манна-Уитни. Корреляция между переменными определялась с помощью коэффициента Спирмана. Для всех статистических тестов вероятность совершить ошибку первого рода принималась равной или меньшей 5%, а доверительные интервалы брались в диапазоне 95%.

Исследование было одобрено местным комитетом по исследованиям человека в области этики, и оно также соответствует руководящим принципам Хельсинкской декларации.

#### **Результаты.**

##### *Популяция пациентов.*

С сентября 2019 года по июль 2020 года тремя интервенционными хирургами было выполнено последовательно 305 вмешательств на 295 пациентах. В контрольной группе (далее – Контроль) было проведено 149 вмешательств, а в группе DTS (далее – Эксперимент) – 156 вмешательств. 5 пациентов подверглись более чем одному вмешательству (1,7%). Параметры описательной статистики групп пациентов представлены в таблице №1.

Все показатели популяции пациентов распределены не по нормальному закону ( $p$ -значение от 0,013 до  $1,8 \cdot 10^{-16}$ ) за исключением роста пациентов в контрольной группе ( $p = 0,4$ ) и веса пациентов в экспериментальной группе ( $p = 0,18$ ). Дисперсии роста и ИМТ в популяции пациентов не однородны для контрольной и экспериментальной групп ( $p$ -значение  $1,4 \cdot 10^{-12}$  и 0,004 соответственно) и однородны для веса ( $p = 0,65$ ) и возраста ( $p = 0,32$ ) пациентов. Демографические, поло-возрастные и анатомо-морфологические параметры в контрольной и экспериментальной группах пациентов статистически значимо не отличались ( $p$ -значение от 0,1 до 0,49).

*Эффект от DTS без поправки на искажающие факторы.*

На рисунках 1 – 3 приведены графики диаграмм размаха для пиковой дозы кожи, времени флюороскопии и времени рентгено-

графии соответственно для контрольной и экспериментальной групп в зависимости от типа вмешательства.

Как видно из представленных рисунков различия наблюдаются среди пациентов, которым проводили установку кава-фильтра, ТБА НК, ЦАГ и ЧВК. Однако дальнейшие исследования показали, что указанные различия статистически значимы лишь для отдельных групп пациентов. Также, статистически значимые различия по времени флюороскопии выявлены в группах пациентов, которым проводили транслюминальную баллонную ангиопластику артерий нижних конечностей (ТБА НК): в группе с использованием DTS среднее время процедуры составляло 16,8 ( $\pm 1,5$ ) минут, тогда как в контрольной группе это время равнялось 26,9 ( $\pm 2,8$ ) минутам ( $p = 0,0286$ ). Для остальных типов вмешательств непараметрический тест Манна-Уитни для сравнения независимых групп показал, что обнаруженные различия не являются статистически значимыми при данном размере выборок:  $p$ -значения варьировались от 0,2 до 0,9.

На рисунках 5 – 7 приведены графики диаграмм размаха для пиковой дозы кожи, времени флюороскопии и времени рентгенографии для контрольной и экспериментальной групп в зависимости от группы пациентов в соответствии с ИМТ.

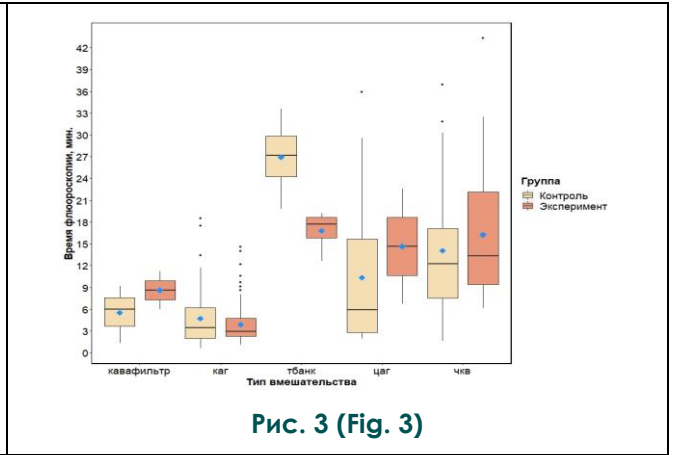
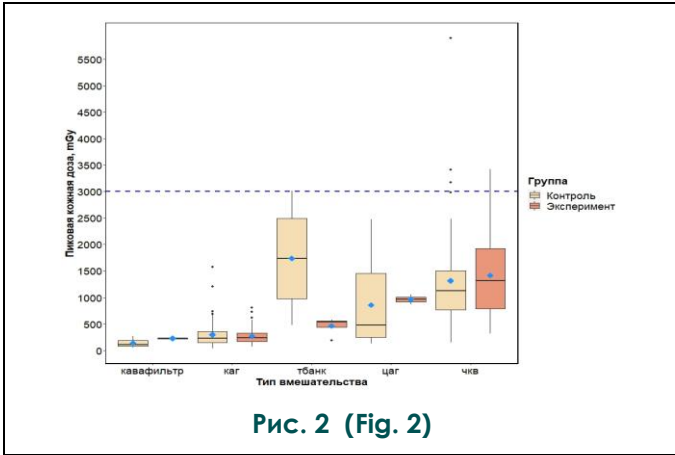
Для всех пациентов с любым ИМТ, как в контрольной, так и в экспериментальной группах, не наблюдалось статистически значимых отличий ( $p$ -значение варьировало от 0,075 до 0,879), кроме группы пациентов с ожирением третьей степени – для этой группы было зафиксировано статистически значимое отличие во времени проведения рентгенографии – односторонний тест Манна-Уитни показал, что присутствует положительная разница по этому показателю в экспериментальной группе (среднее = 0,25  $\pm$  0,25 мин.) и контрольной группе (среднее = 1,5  $\pm$  0,5) при  $p$ -значении равном 0,027.

Также были изучены различные формы корреляции между исследуемыми показателями. На рисунке 8 приведена корреляционная матрица, построенная на основании коэффициента Спирмана.

Как видно из представленного рисунка пиковая кожная доза, время флюороскопии и время рентгенографии положительно и сильно взаимно коррелируют друг с другом – все значения коэффициентов корреляции значимо отличаются от нуля с  $p \ll 0,00001$ .

**Корреляция со стандартными методами.**

*Пациенты с высоким радиационным*

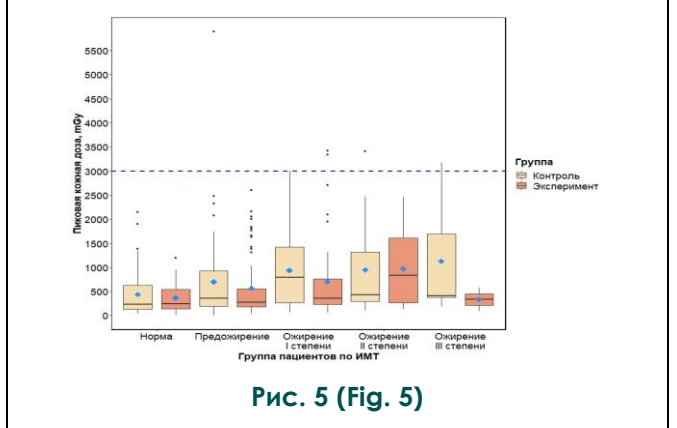
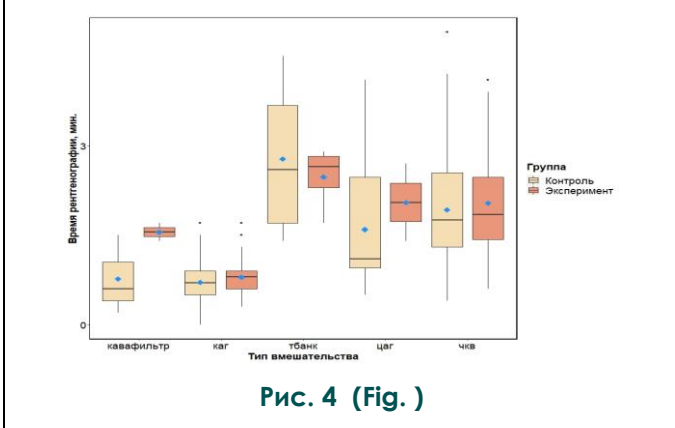


**Рис. 2. Диаграмма.**  
 Размахи пиковой дозы кожи в зависимости от типа вмешательства для контрольной и экспериментальной групп пациентов. Синяя пунктирная линия – граница критически высокого уровня дозы в 3000 mGy. Синими ромбами обозначены средние значения пиковой дозы кожи в группе.

**Fig. 2. Diagrama.**  
 Peak skin dose ranges depending on the type of intervention for the control and experimental groups of patients. The blue dotted line is the critical high dose limit of 3000 mGy. The blue diamonds represent the mean peak skin dose in the group.

**Рис. 3. Диаграмма.**  
 Размахи времени флюороскопии в зависимости от типа вмешательства для контрольной и экспериментальной групп пациентов. Синими ромбами обозначены средние значения пиковой дозы кожи в группе.

**Fig. 3. Diagrama.**  
 Fluoroscopy time ranges depending on the type of intervention for the control and experimental groups of patients. The blue diamonds represent the average peak skin dose in the group.

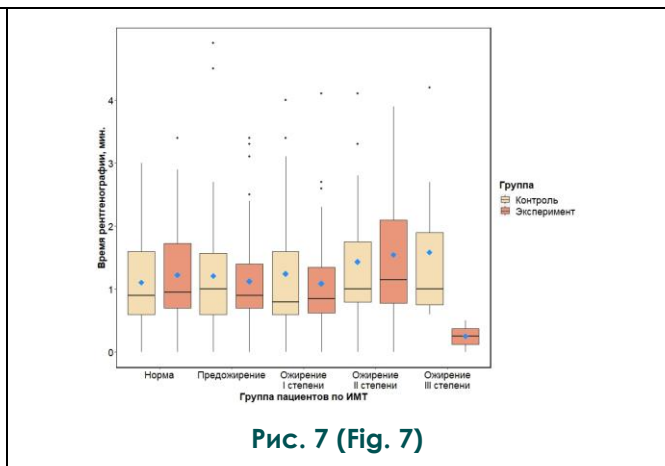
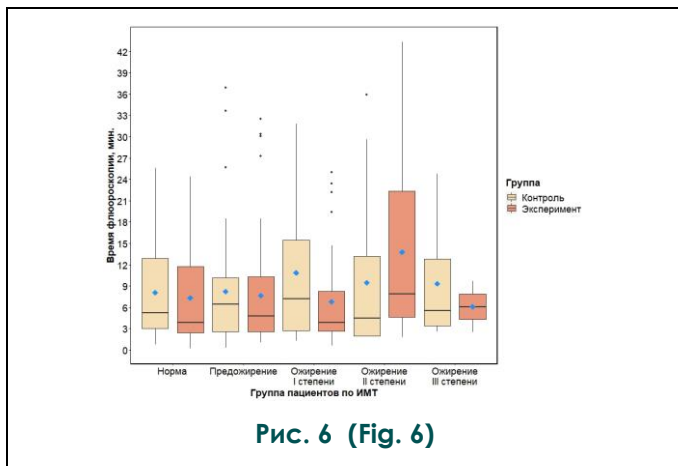


**Рис. 4. Диаграмма.**  
 Размахи времени рентгенографии в зависимости от типа вмешательства для контрольной и экспериментальной групп пациентов. Синими ромбами обозначены средние значения пиковой дозы кожи в группе.

**Fig. 4. Diagrama.**  
 X-ray time ranges depending on the type of intervention for the control and experimental groups of patients. The blue diamonds represent the mean peak skin dose in the group.

**Рис. 5. Диаграмма.**  
 Размахи пиковой дозы кожи в зависимости от группы пациентов по ИМТ для контрольной и экспериментальной групп пациентов. Синяя пунктирная линия – граница критически высокого уровня дозы в 3000 mGy. Синими ромбами обозначены средние значения пиковой дозы кожи в группе.

**Fig. 5. Diagrama.**  
 Peak skin dose ranges depending on the patient group by BMI for the control and experimental groups of patients. The blue dotted line is the critical high dose limit of 3000 mGy. The blue diamonds represent the mean peak skin dose in the group.



**Рис. 6. Диаграмма.**  
 Размахи времени флюороскопии в зависимости от группы пациентов по ИМТ для контрольной и экспериментальной групп. Синими ромбами обозначены средние значения пиковой дозы кожи в группе.  
**Fig. 6. Diagrama.**  
 Fluoroscopy time ranges depending on the group of patients by BMI for the control and experimental groups. The blue diamonds represent the mean peak skin dose in the group.

**Рис. 7. Диаграмма.**  
 Размахи времени рентгенографии в зависимости от группы пациентов по ИМТ для контрольной и экспериментальной групп. Синими ромбами обозначены средние значения пиковой дозы кожи в группе.  
**Fig. 7. Diagrama.**  
 Range of time of radiography depending on the group of patients by BMI for the control and experimental groups. The blue diamonds represent the mean peak skin dose in the group.

риском.

В общей сложности в 6 случаях было зарегистрировано достижение высокой дозы облучения во время вмешательства, на основе определения пиковой дозы кожи (>3000 мГр). Всего 4 пациента (3 мужчины и 1 женщина) в контрольной группе и 2 пациента – мужчины в экспериментальной группе получили высокую дозу облучения. В пяти случаях при этом выполнялось ЧКВ и в одном случае ТБА НК на подвздошных артериях. Все данные пациенты имели ИМТ более 30, кроме одного пациента из первой контрольной группы, который имел ИМТ 26,9. Факт значительного повышения пиковой кожной дозы у данных пациентов мы связываем с длительной работой оперирующего хирурга преимущественно в одной проекции С-дуги при вмешательствах на тучных пациентах. В ходе рутинного клинического наблюдения не поступало сообщений о радиационном поражении кожи.

Как непараметрический тест Манна-Уитни для оценки различий средних значений пиковой дозы кожи, времени флюорографии и рентгенографии между контрольной и экспериментальной группами (р-значения равны 0,8; 0,8 и 0,53 соответственно), так и точный тест Фишера (р =

0,44; 95% ДИ = 0,042 – 3,37) для таблицы сопряженности общего числа пациентов, получивших высокую дозу облучения показали статистически незначимые различия между группами пациентов, вероятно, обусловленные малым количеством этих групп.

По всей видимости, применение DTS может уменьшить число пациентов, выявляемых с высоким риском поражения кожи на основании пиковой кожной дозы, однако в нашем исследовании выявить данную зависимость не удалось, что может быть связано как с малым количеством групп, либо изначально высокой квалификацией персонала.

**Обсуждение.**

Коронарная ангиография и интервенционные вмешательства становятся все более значимым источником радиационного облучения [14]. Использование принципов радиационной безопасности включает в себя достижение технического успеха с максимально возможным низким радиационным облучением [15]. Пиковая кожная доза из DTS – это новая единица измерения, помогающая в прогнозировании детерминированных эффектов от воздействия ионизирующего излучения [16]. В этом исследовании DTS привела к снижению пиковой кожной дозы на 17,9% как при коронарографии, так



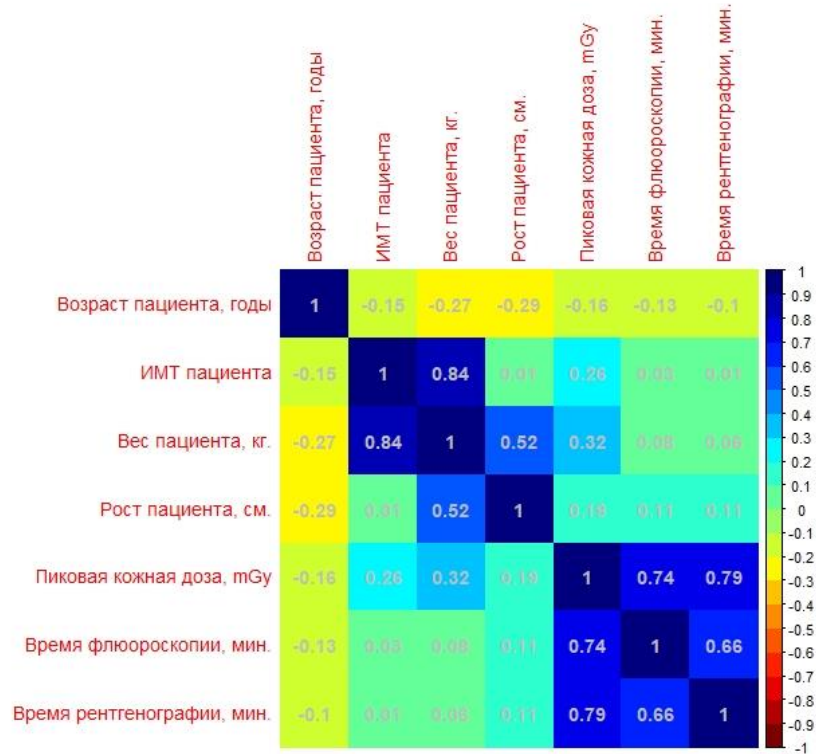


Рис. 8 (Fig. 8)

**Рис. 8. Корреляционная матрица на основании коэффициента Спирмена.**

В цветовой шкале от красного до синего показано значение коэффициента Спирмена от -1 до 1 соответственно.

**Fig. 8. Correlation matrix based on Spearman's coefficient.**

The color scale from red to blue shows the value of the Spearman coefficient from -1 to 1, respectively.

и при вмешательстве после учета смешивающих переменных. Преимущества DTS были особенно очевидны у пациентов, перенесших ЧКВ со стентированием, у которых наблюдалось снижение средней пиковой кожной дозы на 7,2%.

Отображение актуальной информации о пиковой дозе в реальном времени, обеспечиваемая DTS, привело не только к снижению пиковой дозы облучения кожи, но и к улучшению показателей общего времени облучения, а, следовательно, и к уменьшению DAP и air kerma. Таким образом, мы делаем вывод, что постоянная обратная связь RT положительно влияет на поведение рентгеноваскулярного хирурга в течение операции, способствуя снижению дозы облучения. Наиболее выражено данный эффект наблюдался у пациентов с избыточной массой тела, являющихся основной группой риска возможных лучевых кожных реакций. В этом исследовании отсутствует возможность под-

твердить точные изменения в поведении интервенциониста, которые привели к сокращениям дозы облучения. Предполагается, что знание пиковой дозы кожи побуждает работать врача в другом ракурсе, чтобы избежать перекрытия зоны проникновения рентгеновских лучей в тело пациента. Кроме этого, понимание хирургом того факта, что меньший угол наклона детектора приводит к меньшему количеству ионизирующего излучения, и, следовательно, уменьшает DAP и воздушную керму. Другие факторы включают повышенное внимание к хорошо известным, но часто игнорируемым методам уменьшения излучения таким, как применение коллимации, использование более низкой частоты кадров при флюороскопии, использование функции сохранения флюороскопии вместо записи графии. Ранее было показано, что обучение методам радиационной защиты приводит к снижению дозы облучения [17, 18]. Однако этот вывод не является универсальным, и в

одном из исследований без обратной связи в реальном времени данное обучение не привело к изменениям в дозе облучения [19].

Основное преимущество технологии DTS заключается в том, что она предоставляет графические и числовые данные, отображаемые в реальном времени, которые собираются в процессе процедуры [20]. Цель состоит в том, чтобы изменить тактику врача и уменьшить радиационное воздействие на пациента [21], давая возможность хирургу в ходе операции принимать меры для снижения дозы. Обычно эта информация представляется в виде DAP или воздушной кермы, которые дают ретроспективные оценки общей поглощенной дозы облучения, а не локальной.

В недавнем исследовании, где использовалась система звукового сопровождения, также наблюдалось снижение общей дозы облучения. Однако авторы отметили, что большее количество звуковых сигналов о превышении безопасной дозы облучения отвлекает оператора, поэтому маловероятно, что такая технология получит широкое распространение [22]. По сравнению с этим визуальная графика DTS гораздо меньше отвлекает доктора, тем самым, повышая безопасность выполнения интервенционного вмешательства.

Основываясь на наших выводах, предполагается, что технология DTS может снизить частоту детерминированных радиационных эффектов и получить более широкое применение в службе рентгенэндоваскулярных диагностики и лечения. Рекомендовано, чтобы пациенты, подвергнутые значительной лучевой нагрузке во время интервенционных вмешательств, были проконсультированы перед выпиской. А медперсоналом были приняты соответствующие меры для последующего наблюдения и мониторинга за такими пациентами [12]. Включение пиковой дозы кожи и DAP в протокол операции и медицинскую карту предупредит врачей о развитии возможных осложнений. Кроме того, такая отчетность позволила бы осуществлять контроль качества с помощью анализа базы данных [23].

Использование DTS изменило тактику врача с целью снижения дозы облучения кожи пациента; однако влияние системы на рассеянное излучение и, следовательно, облучение персонала в данном исследовании не оценивалось. Персонал также подвержен риску детерминированных поражений [24 - 26] и, возможно, стохастических [27], что делает профессиональную вредность важной проблемой. При изменении угла наклона де-

тектора происходит уменьшение пиковой дозы облучения кожи пациента, но важно, чтобы врач знал информацию об угле наклона, большие отклонения которого от прямой проекции могут увеличить рассеянное излучение как для врача, выполняющего вмешательство, так и для других сотрудников. Имеющиеся в настоящее время такие показатели, как DAP, в большей степени отражают риск развития детерминированных и стохастических эффектов у пациентов, чем у персонала при проведении интервенций [28, 29]. В идеале внедрение DTS должно сопровождаться изучением пороговых значений безопасных доз, методов снижения общей экспозиции и количественным оценкам рассеянного излучения, оказывающего воздействие на рентгенэндоваскулярного хирурга и другой персонал рентгеноперационной. Полная система радиационной безопасности в рентгеноперационной может включать не только DTS, но и мониторинг в реальном времени рассеянной дозы облучения медицинских работников.

#### **Заключение.**

В исследовании было продемонстрировано, что система DTS проста в использовании и приводит к снижению важных показателей облучения при выполнении рентгенэндоваскулярных вмешательств, что наиболее выражено у пациентов с ожирением III степени при ЧКВ и в случае проведения транслюминальной баллонной ангиопластики артерий. Высокая пиковая кожная доза подвергает пациентов риску детерминированного повреждения кожи, и ее рутинное измерение и учёт, вероятно, уменьшат облучение пациентов. Вместе с тем, следует оговориться, что данные выводы являются предварительными и требуют дальнейшего обсуждения, что в первую очередь связано с чрезмерно высокой ролью врача, проводящего исследование, а также невозможностью полной стандартизации проводимых интервенционных процедур.

DTS прост в использовании и приводит к существенному снижению пиковой дозы облучения кожи пациента и общей дозы облучения. Наибольший выигрыш от DTS проявляется при ЧКВ, когда пациент подвергается самому высокому радиационному риску.

#### **Источник финансирования и конфликт интересов.**

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие финансовой поддержки исследования и конфликта интересов, о которых необходимо сообщить.

**Список литературы:**

1. Клинические рекомендации Министерства 1. Schauer D.A., Linton O.W., NCRP Report No. 160, Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States, Medical Exposure - Are We Doing Less with More, and Is There a Role for Health Physicists? *Health Physics*. 2009; 97(1): 1-5.
2. Togni M., Balmer F., Pfiffner D., Maier W., Zeiher A.M., Meier B., Percutaneous coronary interventions in Europe 1992-2001. *Eur Heart J*. 2004; 25 (14): 1208-13. DOI: 10.1016/j.ehj.2004.04.024.
3. Алякян Б.Г. Эндovasкулярная хирургия. Москва, 2020; 7(2): 230. DOI: 10.24183/2409-4080.
4. Bedetti G., Botto N., Andreassi M.G., Traino C., Vano E., Picano E. Cumulative patient effective dose in cardiology. *Br J Radiol*. 2008; 81: 699-705.
5. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation, vol.1, UNSCEAR, 2008; Vol.2: 302-303.
6. Gerber T.C., Carr J.J., Arai A.E., Dixon R.L., Ferrari V.A., Gomes A.S., et al. Ionizing radiation in cardiac imaging: a science advisory from the American Heart Association Committee on Cardiac Imaging of the Council on Clinical Cardiology and Committee on Cardiovascular Imaging and Intervention of the Council on Cardiovascular Radiology and Intervention. *Circulation*. 2009; 119: 1056-65.
7. Radiological Protection in Medicine. ICRP Publication 105. *Ann. ICRP*. 2007; 37: 1-64.
8. Picano E., Vano E. The radiation issue in cardiology: the time for action is now. *Cardiovasc Ultrasound*. 2011; 9: 35.
9. Einstein A.J., Knuuti J. Cardiac imaging: does radiation matter? *Eur Heart J*. 2012; 33: 573-8.
10. Agarwal S., Parashar A., Ellis S.G., Heupler F.A. Jr, Lau E., Tuzcu E.M., et al. SR Measures to reduce radiation in a modern cardiac catheterization laboratory. *Circ Cardiovasc Interv*. 2014; 7: 447-55.
11. Chambers C.E., Fetterly K., Holzer R., Lin P.J., Blankenship J.C., Balter S., Laskey W.K. Radiation safety program for the cardiac catheterization laboratory. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2011; 77: 546-56.
12. Fazel R., Gerber T.C., Balter S., Brenner D.J., Carr J.J., Cerqueira M.D., et al. American Heart Association Council on Quality of Care and Outcomes Research, Council on Clinical Cardiology and Council on Cardiovascular Radiology and Intervention. Approaches to enhancing radiation safety in cardiovascular imaging. A scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2014; 130: 1730-48
13. R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria (2020). Available at: <https://www.R-project.org/>
14. Stecker M.S., Balter S., Towbin R.B., Miller D.L., Vano E., Bartal G., et al. Guidelines for patient radiation dose management. *J Vasc Interv Radiol*. 2009; 20: 263-73.
15. Trianni A., Padovani R., Foti C., Cragnolini E., Chizzola G., Toh H., et al. Dose to cardiologists in haemodynamic and electrophysiology cardiac interventional procedures. *Radiat Prot Dosimetry*. 2005; 117: 111-5.
16. Vano E., Goicolea J., Galvan C., Gonzalez L., Meiggs L., Ten J.I., et al. Skin radiation injuries in patients following repeated coronary angioplasty procedures. *Br J Radiol*. 2001; 74: 1023-31.
17. Abatzoglou I., Koukourakis M., Konstantinides S. Reduction of the radiation dose received by interventional cardiologists following training in radiation protection. *Radiat Prot Dosimetry*. 2013; 155: 119-21.
18. Kuon E., Weitmann K., Hoffmann W., Dörr M., Reffelmann T., Hummel A., et al. Efficacy of a minicourse in radiation-reducing techniques in invasive cardiology. *JACC Cardiovasc Interv*. 2014; 7: 382-90.
19. Smith I.R., Cameron J., Brighthouse R.D., Ryan C.M., Foster K.A., River J.T. Impact of quantitative feedback and benchmark selection on radiation use by cardiologists performing coronary angiography. *Radiat Prot Dosimetry*. 2013; 155: 32-41.
20. Rana V.K, Rudin S., Bednarek D.R. Updates in the real-time Dose Tracking System (DTS) to improve accuracy in calculating the radiation dose to the patients skin during fluoroscopy procedures. *Proc SPIE Int Soc Opt Eng*. 2013; 8668:86683Z.
21. Dine C.J., Gersh R.E., Leary M., Riegel B.J., Bellini L.M., Abella B.S. Improving cardiopulmonary resuscitation quality and resuscitation training by combining audiovisual feedback and debriefing. *Crit Care Med*. 2008; 36: 2817-22.
22. Christopoulos G., Papayannis A.C., Alomar M., Kotsia A., Michael T.T., Rangan B.V., et al. Effect of real-time radiation monitoring device on operator radiation exposure during cardiac catheterization: the radiation reduction during cardiac catheterization using real-time monitoring study. *Circ Cardiovasc Interv*. 2014; 7: 744-50.
23. Chinnaiyan K.M., Peyser P., Goraya T., Ananthasubramanian K., Gallagher M., Depretris A., et al. Impact of a continuous quality improvement initiative on appropriate use of coronary computed tomography angiography: results from a multicenter, statewide registry, the Advanced Cardiovascular Imaging Consortium. *J Am Coll Cardiol*. 2012; 60: 1185-91.
24. Rehani M.M. Training of interventional cardiologists in radiation protection – the IAEA’s initiatives. *Int J Cardiol*. 2007; 114: 256-60.
25. Faulkner K., Vano E. Deterministic effects in interventional radiology. *Radiat Prot Dosimetry*. 2001; 94: 95-8.
26. Hardell L., Mild K.H., Pahlson A., Hallquist A. Ionizing radiation, cellular telephones and the risk for brain tumours. *Eur J Cancer Prev*. 2001; 10: 523-9.
27. Finkelstein M.M. Is brain cancer an occupational disease in cardiologists? *Can J Cardiol*. 1998; 14: 1385-8.
28. Tsapaki V., Kottou S., Vano E., Parviainen T., Padovani R., Dowling A., et al. Correlation of patient and staff doses in interventional cardiology. *Radiat Prot Dosimetry*. 2005; 117: 26-9.
29. Mohapatra A., Greenberg R.K., Mastracci T.M., Eagleton M.J., Thornsberry B. Radiation exposure to operating room personnel and patients during endovascular procedures. *J Vasc Surg*. 2013; 58: 702-9.

References:

1. Schauer D.A., Linton O.W., NCRP Report No. 160, *Ionizing Radiation Exposure of the Population of the United States, Medical Exposure - Are We Doing Less with More, and Is There a Role for Health Physicists?* Health Physics. 2009; 97 (1): 1-5
2. Togni M., Balmer F., Pfiffner D., Maier W., Zeiher A.M., Meier B., *Percutaneous coronary interventions in Europe 1992-2001.* Eur Heart J. 2004; 25 (14): 1208-13. DOI: 10.1016/j.ehj.2004.04.024.
3. Alekyan B.G. *Russian Journal of Endovascular Surgery.* Moscow, 2020; 7 (2): 230. DOI: 10.24183/2409-4080 (in Russian).
4. Bedetti G., Botto N., Andreassi M.G., Traino C., Vano E., Picano E. *Cumulative patient effective dose in cardiology.* Br J Radiol. 2008; 81: 699-705.
5. *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation, vol.1, UNSCEAR.* 2008; 2: 302-303.
6. Gerber T.C., Carr J.J., Arai A.E., Dixon R.L., Ferrari V.A., Gomes A.S., et al. *Ionizing radiation in cardiac imaging: a science advisory from the American Heart Association Committee on Cardiac Imaging of the Council on Clinical Cardiology and Committee on Cardiovascular Imaging and Intervention of the Council on Cardiovascular Radiology and Intervention.* Circulation. 2009; 119: 1056-65.
7. *Radiological Protection in Medicine. ICRP Publication 105.* Ann. ICRP. 2007; 37: 1-64.
8. Picano E., Vano E. *The radiation issue in cardiology: the time for action is now.* Cardiovasc Ultrasound. 2011; 9: 35.
9. Einstein A.J., Knuuti J. *Cardiac imaging: does radiation matter?* Eur Heart J. 2012; 33: 573-8.
10. Agarwal S., Parashar A., Ellis S.G., Heupler F.A. Jr, Lau E., Tuzcu E.M., et al. *SR Measures to reduce radiation in a modern cardiac catheterization laboratory.* Circ Cardiovasc Interv. 2014; 7: 447-55.
11. Chambers C.E., Fetterly K., Holzer R., Lin P.J., Blankenship J.C., Balter S., Laskey W.K. *Radiation safety program for the cardiac catheterization laboratory.* Catheter Cardiovasc Interv. 2011; 77: 546-56.
12. Fazel R., Gerber T.C., Balter S., Brenner D.J., Carr J.J., Cerqueira M.D., et al. *American Heart Association Council on Quality of Care and Outcomes Research, Council on Clinical Cardiology and Council on Cardiovascular Radiology and Intervention. Approaches to enhancing radiation safety in cardiovascular imaging. A scientific statement from the American Heart Association.* Circulation. 2014; 130: 1730-48
13. R Core Team (2020). *R: A language and environment for statistical computing.* R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria (2020). Available at: <https://www.R-project.org/>.
14. Stecker M.S., Balter S., Towbin R.B., Miller D.L., Vano E., Bartal G., et al. *Guidelines for patient radiation dose management.* J Vasc Interv Radiol. 2009; 20: 263-73.
15. Trianni A., Padovani R., Foti C., Cragnolini E., Chizzola G., Toh H., et al. *Dose to cardiologists in haemodynamic and electrophysiology cardiac interventional procedures.* Radiat Prot Dosimetry. 2005; 117: 111-5.
16. Vano E., Goicolea J., Galvan C., Gonzalez L., Meiggs L., Ten J.I., et al. *Skin radiation injuries in patients following repeated coronary angioplasty procedures.* Br J Radiol. 2001; 74: 1023-31.
17. Abatzoglou I., Koukourakis M., Konstantinides S. *Reduction of the radiation dose received by interventional cardiologists following training in radiation protection.* Radiat Prot Dosimetry. 2013; 155: 119-21.
18. Kuon E., Weitmann K., Hoffmann W., Dörr M., Reffelmann T., Hummel A., et al. *Efficacy of a minicourse in radiation-reducing techniques in invasive cardiology.* JACC Cardiovasc Interv. 2014; 7: 382-90.
19. Smith I.R., Cameron J., Brighthouse R.D., Ryan C.M., Foster K.A., River J.T. *Impact of quantitative feedback and benchmark selection on radiation use by cardiologists performing coronary angiography.* Radiat Prot Dosimetry. 2013; 155: 32-41.
20. Rana V.K, Rudin S., Bednarek D.R. *Updates in the real-time Dose Tracking System (DTS) to improve accuracy in calculating the radiation dose to the patients skin during fluoroscopy procedures.* Proc SPIE Int Soc Opt Eng. 2013; 8668:86683Z.
21. Dine C.J., Gersh R.E., Leary M., Riegel B.J., Bellini L.M., Abella B.S. *Improving cardiopulmonary resuscitation quality and resuscitation training by combining audiovisual feedback and debriefing.* Crit Care Med. 2008; 36: 2817-22.
22. Christopoulos G., Papayannis A.C., Alomar M., Kotsia A., Michael T.T., Rangan B.V., et al. *Effect of real-time radiation monitoring device on operator radiation exposure during cardiac catheterization: the radiation reduction during cardiac catheterization using real-time monitoring study.* Circ Cardiovasc Interv. 2014; 7: 744-50.
23. Chinnaiyan K.M., Peyser P., Goraya T., Ananthasubramanian K., Gallagher M., Depretris A., et al. *Impact of a continuous quality improvement initiative on appropriate use of coronary computed tomography angiography: results from a multicenter, statewide registry, the Advanced Cardiovascular Imaging Consortium.* J Am Coll Cardiol. 2012; 60: 1185-91.
24. Rehani M.M. *Training of interventional cardiologists in radiation protection – the IAEA’s initiatives.* Int J Cardiol. 2007; 114: 256-60.
25. Faulkner K., Vano E. *Deterministic effects in interventional radiology.* Radiat Prot Dosimetry. 2001; 94: 95-8.
26. Hardell L., Mild K.H., Pahlson A., Hallquist A. *Ionizing radiation, cellular telephones and the risk for brain tumours.* Eur J Cancer Prev. 2001; 10: 523-9.
27. Finkelstein M.M. *Is brain cancer an occupational disease in cardiologists?* Can J Cardiol. 1998; 14: 1385-8.
28. Tsapaki V., Kottou S., Vano E., Parviainen T., Padovani R., Dowling A., et al. *Correlation of patient and staff doses in interventional cardiology.* Radiat Prot Dosimetry. 2005; 117: 26-9.
29. Mohapatra A., Greenberg R.K., Mastracci T.M., Eagleton M.J., Thornsberry B. *Radiation exposure to operating room personnel and patients during endovascular procedures.* J Vasc Surg. 2013; 58: 702-9.