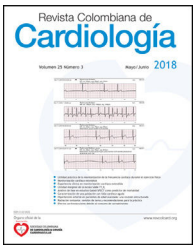
Rev Colomb Cardiol. 2020;27(S1):52–60

Asociación
SOCIEDAD COLOMBIANA
DE CARDIOLOGÍA & CIRUGÍA
CARDIOVASCULAR

Revista Colombiana de
Cardiología

www.elsevier.es/revcolcar



Dosimetría personal y exposición ocupacional en Cardiología intervencionista

William Jaramillo-Garzón[a,*], **Javier Morales-Aramburo**[b], **Anselmo Puerta-Ortiz**[b] y **Wilinton Castrillón-Giraldo**[b]

[a] *Escuela de Física, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia*
[b] *Grupo de Física Radiológica, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia*

Recibido el 13 de mayo de 2019; aceptado el 1 de julio de 2019
Disponible en Internet el 19 de octubre de 2019

PALABRAS CLAVE
Efectos de la radiación;
Radioprotección;
Límites de dosis

Resumen

Introducción: en el campo de la medicina, los cardiólogos, junto con los radiólogos intervencionistas, son los profesionales que más se exponen a la radiación ionizante debido a su proximidad con el paciente y al equipo emisor de rayos X dentro de la sala de cateterismo cardíaco o hemodinamia. Aunque las dosis absorbidas por estos profesionales son menores que las recibidas por los pacientes, la dosis acumulada a lo largo de su carrera puede ser sustancial y llega a aumentar la probabilidad de inducción de efectos radiobiológicos como catarata ocular y cáncer cerebral.

La monitorización de las dosis en pacientes y staff en procedimientos de Cardiología intervencionista tiene como propósito evaluar el riesgo asociado a la exposición a la radiación y verificar las condiciones de protección radiológica implementadas en las salas de cateterismo cardíaco.

Objetivo: hacer una revisión sistemática de la literatura acerca de los niveles de exposición ocupacional y la metodología empleada en la dosimetría personal en Cardiología intervencionista.

Materiales y métodos: se consultaron las bases de datos PubMed y SciELO, en las que se identificaron artículos en inglés, español y portugués publicados entre 1998 y 2018, que reportan datos acerca de los niveles de exposición ocupacional, los métodos de dosimetría personal y la normativa reguladora en Cardiología y Radiología intervencionista.

Conclusiones: Las dosis ocupacionales en cardiología intervencionista pueden superar los límites de dosis efectiva y dosis en el cristalino, si no son utilizados de forma correcta los elementos individuales de radioprotección y las técnicas radiográficas utilizadas durante los procedimientos son inadecuadas. El establecimiento de programas de entrenamiento en protección radiológica

* Autor para correspondencia.
Correo electrónico: wjaramig@gmail.com (W. Jaramillo-Garzón).

https://doi.org/10.1016/j.rccar.2019.07.004
0120-5633/© 2019 Sociedad Colombiana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

que incluyan acciones como la reducción de la dosis en pacientes o el uso adecuado de los elementos de radioprotección y de los dosímetros personales conducirá a disminuir el riesgo radiológico en este tipo de procedimientos.
© 2019 Sociedad Colombiana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

KEYWORDS
Effects of radiation;
Radioprotection;
Dose limits

Personal dosimetry and occupational exposure in Interventional cardiology

Abstract
Introduction: In the field of medicine, the cardiologists along with the interventional radiologists, are the professionals most exposed to ionising radiation due to their proximity to the patient and the X-ray equipment in the catheter or haemodynamics room. Although absorbed doses received by these professionals are less than those received by the patients, the accumulated dose throughout their career could be substantial and can increase the probability of inducing radiobiological effects such as eye cataracts and brain cancer.

Monitoring patients and medical staff doses in interventional cardiology procedures is intended to assess the risk associated with radiation exposure and verify the radiological protection conditions implemented in the cath laboratories.
Objective: To perform a systematic literature review on occupational exposure levels and the methods employed in measuring personal doses in interventional cardiology.
Materials and methods: The PubMed and SciELO data bases were consulted in order to find articles in English, Spanish, and Portuguese published between 2008 and 2018, which reported data on the levels of occupational exposure, the methods for measuring personal doses, and the regulatory guidelines in interventional cardiology and radiology.
Conclusions: The review of the literature showed that occupational doses in interventional cardiology may exceed the limits of effective dose and dose in the lens, if the individual radioprotection elements are not used correctly and the radiographic techniques used during the procedures are inadequate. The establishment of training programs in radiation protection that include actions such as dose reduction in patients, the proper use of radio-protection elements and personal dosimeters will lead to a reduction in radiological risk in this type of procedure.
© 2019 Sociedad Colombiana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular. Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Introducción

La Radiología intervencionista es una especialidad de la Medicina, que utiliza sistemas de imágenes dinámicas para conducir procedimientos clínicos con fines diagnósticos y terapéuticos. Entre sus áreas se encuentra la Cardiología intervencionista, en la cual los cardiólogos exploran los vasos y accesos al corazón[1]. La principal ventaja de esos procedimientos reside en el hecho que son menos agresivos para el paciente en comparación con la cirugía convencional, y proporcionan una recuperación más rápida y menor tiempo de internación.

A pesar de sus beneficios, algunos procedimientos de Cardiología intervencionista, como la angiografía coronaria y la angioplastia transluminal coronaria, involucran tiempos elevados de fluoroscopia y número de imágenes de cinerradiografía, que exponen a los pacientes y al equipo médico a altos niveles de radiación[2]. Estudios clínicos sugieren la posible incidencia de catarata en el cristalino y cáncer en el cerebro de médicos que realizaron procedimientos de Cardiología intervencionista durante largos periodos de su carrera con equipos de rayos X inadecuados y sin las medidas indicadas de protección radiológica[3,4]. La carga de trabajo, la complejidad de los procedimientos y la falta de entrenamiento en protección radiológica son factores que también contribuyen al aumento de la exposición para estos profesionales[5].

La implementación de programas de protección radiológica es fundamental para reducir las dosis ocupacionales y, en consecuencia, limitar el riesgo de efectos estocásticos a largo plazo. Estos programas requieren del entrenamiento apropiado de los radiólogos/cardiólogos intervencionistas y de la disponibilidad de dispositivos de radioprotección en las salas de hemodinamia o cateterismo cardíaco. La monitorización de las dosis en este tipo de procedimientos es importante para demostrar el cumplimiento de los límites de dosis establecidos por los organismos reguladores y la optimización de las condiciones de protección radiológica implementadas en las salas de cateterismo cardíaco.

Diversos estudios han reportado las dosis ocupacionales en Cardiología intervencionista. Algunos de ellos, han demostrado grandes variaciones en los valores de dosis, incluso para un mismo tipo de procedimiento[6]. La exposición del operador principal y el equipo médico en procedimientos

Tabla 1 Límites de dosis para exposición ocupacional

Magnitud	Órgano	Límite de dosis anual
Dosis efectiva (E)	Cuerpo entero	20 mSv*
Dosis equivalente (H_T)	Cristalino	20 mSv*
	Piel	500 mSv[a]
	Manos y pies	500 mSv

* Media aritmética en cinco años consecutivos, desde que no exceda 50 mSv en cualquier año.
[a] valor medio en 1 cm^2 de área en la región más irradiada.

intervencionistas, se debe principalmente a radiación retrodispersada proveniente del paciente. La distribución de esta radiación alrededor del operador principal, no es uniforme debido a factores, como la masa corporal del paciente, el estado y la operación del equipo de fluoroscopia y el uso de elementos personales de radioprotección, por ejemplo, delantales plomados y protectores de tiroides[7]. De otra parte, no existe un método estandarizado de dosimetría personal en Radiología intervencionista que permita hacer una comparación adecuada de los resultados dosimétricos entre estudios.

A continuación se describen los métodos dosimétricos reportados en la literatura, para monitorizar las dosis en el cuerpo entero, las extremidades y el cristalino de los trabajadores ocupacionalmente expuestos en Radiología intervencionista.

Dosimetría personal

Límites de dosis

De acuerdo con las recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP, su sigla en inglés) acerca de los nuevos umbrales de dosis para aparición de opacidad subcapsular en el cristalino[8], los límites de dosis ocupacionales actuales, establecidos en las normas básicas de seguridad[9] del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) se presentan en la tabla 1.

En cuanto a las mujeres embarazadas ocupacionalmente expuestas, sus tareas deben ser controladas de manera que sea improbable que a partir de la notificación del embarazo, el feto reciba una dosis efectiva superior a 1 mSv durante el resto de la gestación. Esto no debe impedir que una médica embarazada, que sigue unas buenas prácticas de radioprotección, realice procedimientos intervencionistas[10].

El objetivo de los límites recomendados es garantizar que la probabilidad de manifestación de efectos estocásticos en todo el cuerpo se mantenga por debajo de niveles aceptables y evitar la aparición de reacciones tisulares en órganos o tejidos específicos.

Magnitudes y unidades

La dosis equivalente y la dosis efectiva no pueden ser medidas directamente en la práctica clínica, de ahí que se utilicen magnitudes auxiliares, conocidas como magnitudes operacionales. En el sistema internacional, la magnitud utilizada para dosimetría personal es el equivalente de dosis personal Hp(d), que representa la dosis equivalente en tejido suave a una profundidad d(mm), medida a partir de un punto específico de la superficie del cuerpo[11,12].

La obtención de la dosis efectiva, la dosis en piel o extremidades y la dosis en cristalino requiere el uso de dosímetros personales calibrados en términos de las magnitudes Hp(10), Hp(0,07) y Hp(3), respectivamente.

Estimación de la dosis efectiva

En general, para exposiciones ocupacionales homogéneas, el valor de Hp(10) obtenido con un único dosímetro en la región más expuesta del tronco se acepta como suficiente para estimar la dosis efectiva. Sin embargo, el uso de vestimentas de radioprotección (delantal plomado, protector de tiroides) y la exposición no uniforme del médico en Radiología intervencionista, implicarán que el valor de la magnitud Hp(10) dependerá fuertemente de la localización del dosímetro en el cuerpo del trabajador. La falta de estandarización sobre la localización del dosímetro en el cuerpo del profesional que usa vestimenta de radioprotección, es uno de los principales problemas de dificultan el cálculo de la dosis efectiva en este tipo de procedimientos. En el Reino Unido, el dosímetro personal en procedimientos intervencionistas se usó por mucho tiempo por debajo del delantal plomado[13]. En los Estados Unidos, el Consejo Nacional de Protección Radiológica y Medición de Radiación (NCRP), recomienda que, si se usa un único dosímetro, éste debe ser colocado sobre el protector de tiroides[14]. En Brasil, la directriz 453 de 1998 recomienda aplicar un factor de corrección de 0,1 a la lectura del dosímetro colocado sobre el delantal plomado del trabajador a nivel del tórax[15]. En Colombia, la resolución 18-1434 de 2002 que trata sobre el reglamento de protección radiológica y seguridad radiológica, no especifica una metodología para el cálculo de la dosis efectiva ocupacional en procedimientos de Radiología intervencionista.

La lectura de Hp(10) de un único dosímetro colocado por debajo del delantal no es recomendada para el cálculo de la dosis efectiva ocupacional en Radiología intervencionista[16]. En la práctica, la lectura de este dosímetro subestima la dosis efectiva, ya que no tiene en consideración los tejidos u órganos que no están protegidos por la vestimenta de radioprotección, como la cabeza, las extremidades y parte de los pulmones[17]. Por otro lado, la lectura de Hp(10) de un único dosímetro colocado por fuera del delantal, sobreestima la dosis efectiva porque la lectura no refleja la dosis de órganos del troco protegidas por el delantal.

Organizaciones internacionales como el OIEA, el NCRP y LA ICRP, recomiendan el uso de algoritmos matemáticos que consideran la lectura de dos dosímetros, para una estimación confiable de la dosis efectiva en procedimientos intervencionistas. La fórmula general del algoritmo se muestra en la ecuación 1:

$$E = \alpha H_u + \beta H_o \quad (1)$$

donde H_u corresponde a la lectura de Hp(10) del dosímetro colocado por dentro del delantal plomado (en la región del tórax o la cintura) y H_o representa la lectura de Hp(10) del dosímetro colocado sobre el protector de tiroides en la región del cuello. Los coeficientes α y β son factores de ponderación que acompañan las contribuciones de la dosis

de las partes protegidas por el delantal y de las partes no protegidas, respectivamente.

Jarvinen *et al*. compararon once algoritmos matemáticos propuestos por varios estudios, para el cálculo de la dosis efectiva[18]. Los autores concluyeron que, de los once algoritmos evaluados, solo tres cumplían los criterios de no subestimación o sobreestimación de la dosis efectiva para todas las geometrías de irradiación en procedimientos de intervencionismo. Estos algoritmos se presentan en la tabla 2.

Aunque la metodología de doble dosimetría proporciona mayor exactitud en el cálculo de la dosis efectiva, tiene el inconveniente de que los profesionales algunas veces invierten la posición de los dos dosímetros u olvidan usarlos.

Varios autores proponen el uso del dosímetro personal localizado sobre el protector de tiroides para estimar la dosis efectiva ocupacional en Radiología intervencionista. Por ejemplo, Martin y Magee[22] proponen el siguiente algoritmo:

$$E = 0,1H_o \quad (2)$$

donde H_o es la lectura del dosímetro localizado sobre el protector de tiroides. Si H_o se aproxima o excede el límite de 20mSv (≈2 mSv en un mes), se debe considerar un segundo dosímetro por debajo del delantal plomado y el uso de un algoritmo de doble dosimetría.

Este algoritmo es un método conservativo para la estimación de la dosis efectiva, siempre y cuando se garantice que los radiólogos o cardiólogos intervencionistas usen el protector de tiroides en todos los procedimientos y además que estos sean del mismo espesor y material atenuador.

Estimación de la dosis en extremidades

Los valores medios máximos por procedimiento de dosis ocupacionales en extremidades superiores en Cardiología intervencionista (AC y ATC) se observan en los dedos de la mano izquierda del operador principal[23]. De acuerdo con lo anterior, el método más recomendado para estimar la dosis ocupacional en manos en procedimientos intervencionistas es el uso de dosímetros localizados en la base del dedo meñique o en el pulso de la mano izquierda del operador principal[23]. En el mercado se encuentran disponibles dosímetros termoluminiscentes en forma de pulsera y anillo. Cuando no hay disponibles dosímetros de anillo y el operador principal no hace uso de la pantalla plomada durante los procedimientos cardíacos, la lectura del dosímetro de pulso en la mano izquierda puede sustituir la lectura del dosímetro de anillo[24].

La dosis que reciben los radiólogos y cardiólogos intervencionistas en sus extremidades inferiores (piernas y pies) se debe principalmente a radiación retrodispersada producida por el paciente y la mesa de exámenes. Cuando no se garantiza el uso de la cortina plomada en la sala de hemodinamia o cateterismo cardíaco, las dosis en las extremidades inferiores de estos profesionales pueden ser mayores que las dosis recibidas en las manos. En estos casos se debe considerar evaluar las dosis ocupacionales en las regiones de las piernas y los pies que no están protegidas por el delantal plomado o la cortina.

Figura 1 Dosímetros DOSIRIS y EYE-D empleados en la monitorización individual del cristalino.

Estimación de la dosis en cristalino

Para campos de radiación no homogéneos, como los que se hallan en Radiología intervencionista, el método más recomendado para evaluar la dosis ocupacional en el cristalino es medir el equivalente de dosis personal Hp(3) con el dosímetro localizado lo más próximo del ojo, en contacto con la piel y de frente para la fuente de radiación[25]. Generalmente, el dosímetro posicionado en la región de la cabeza al nivel de la ceja izquierda o en el medio de la frente, proporciona la mejor estimación de la dosis en cristalino. Existen en el mercado dosímetros termoluminiscentes acoplados a dispositivos que pueden colocarse alrededor de la cabeza del médico cuando este utiliza, o no, gafas plomadas. La figura 1 muestra dos tipos de detectores utilizados en la monitorización ocupacional del cristalino en Radiología intervencionista.

El dosímetro al nivel de los ojos, implica el uso de tres dosímetros para el trabajador ocupacionalmente expuesto en intervencionismo, y demanda una amplia gestión y distribución de estos durante largos periodos, lo cual acarrea altos costos e inviabiliza su uso en la práctica clínica. Adicionalmente, la calibración de los dosímetros en términos de Hp(3) no está disponible en todos los países.

Organizaciones como el OIEA y la Organización Internacional para la Estandarización (ISO, su sigla en inglés) sugieren que para fotones de bajas energías, las magnitudes Hp(0.07) y Hp(10) pueden ser usadas para estimar la dosis en cristalino[26,27]. La magnitud Hp(10) puede ser utilizada solo si la energía media de los fotones que alcanzan el dosímetro es cercana a los 40 keV y su incidencia es frontal. En la literatura se han reportado métodos alternativos para monitorizar la dosis ocupacional en el cristalino en Radiología intervencionista, mediante dosímetros calibrados en términos de Hp(0,07) y Hp(10).

El uso del dosímetro sobre el protector de tiroides es una buena indicación del nivel de radiación al que está expuesto el cristalino del ojo, cuando no se utilizan dispositivos de radioprotección como gafas y pantallas plomadas. Investigaciones llevada a cabo por Clerinx *et al*. y Martin mostraron que la dosis en cristalino recibida por el operador principal y el equipo médico en procedimientos intervencionistas puede estimarse a partir de los siguientes algoritmos respectivamente[28,29]:

$$H_{eye} = 0.75H_o \text{ y } H_{eye} = H_o \quad (3)$$

Donde H_o es el equivalente de dosis personal Hp(3) o Hp(0,07) obtenido con el dosímetro localizado sobre el protector de tiroides. Cuando la lectura de H_o, sobrepasa los 10 mSv en un año o 6 mSv en cualquier periodo y el

Tabla 2 Algoritmos recomendados por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) para el cálculo de la dosis efectiva ocupacional en Radiología intervencionista

Algoritmo	Con protector de tiroides	Sin protector de tiroides
Swiss Ordinance[19]	$E = H_u + 0.05H_o$	$E = H_u + 0.1H_o$
McEwan[20]	NR	$E = 0.71H_u + 0.051H_o$
Von Boetticher *et al.*[21]	$E = 0.84H_u + 0.051H_o$	$E = 0.71H_u + 0.05H_o$

NR: no reportado.

profesional no utiliza elementos de radioprotección para los ojos, se recomienda utilizar un dosímetro adyacente al ojo más expuesto[30,31].

Recientemente Omar *et al.* y Garzón *et al.* evaluaron la viabilidad del uso de dosímetros electrónicos para monitorizar la dosis ocupacional del cristalino en Radiología y Cardiología intervencionista. Estos estudios mostraron que la dosis en el cristalino del operador principal puede ser estimada de forma conservativa, a partir del valor de Hp(10) del dosímetro colocado al nivel del tórax por fuera del delantal plomado cuando no se emplean dispositivos de radioprotección para el ojo[32,33].

Si el operador principal utiliza protección para los ojos, esto debe tenerse en cuenta al evaluar la dosis en el cristalino. En estos casos, la dosis será el valor registrado por el dosímetro localizado por debajo de la parte lateral de las gafas plomadas, multiplicado por un factor de protección que tiene en cuenta el blindaje del dispositivo. Para gafas con un blindaje equivalente en plomo de 0,75 mm se recomienda utilizar un factor de protección de 0,5[34].

Exposición ocupacional y protección radiológica en Cardiología intervencionista

Diversos estudios en el mundo (la mayoría en Europa y Estados Unidos), han reportado las dosis ocupacionales en Cardiología intervencionista. Algunos estudios comparan los resultados de dosis, bajo diferentes condiciones. Los datos reportados varían en función del profesional monitorizado, de los métodos dosimétricos utilizados, así como del tipo de procedimiento estudiado. Por lo anterior, los datos de dosis extraídos de la literatura en este artículo fueron tabulados y organizados por tipo de procedimiento, la muestra evaluada y la magnitud dosimétrica producto kerma aire-área, la cual presenta correlación con la dosis ocupacional en procedimientos intervencionistas.

Dosis efectiva

La tabla 3 presenta los valores medios y el rango (mínimo-máximo) de la dosis efectiva y el producto kerma aire-área por procedimiento para el operador principal en Cardiología intervencionista, obtenidos en varios estudios. En la tabla 3 se puede observar gran variabilidad en los valores de dosis para el operador principal. Por ejemplo, Kim *et al.*[34] reportan un rango de dosis efectiva por procedimiento de 0,2 μSv a 18,8 μSv, mientras que Padovani y Rodela[35] reportaron valores entre 0,02 μSv y 38 μSv. Estas variaciones se deben principalmente al tipo de procedimiento y al uso inconsistente de las vestimentas y dispositivos de radioprotección. La cantidad de radiación dispersa depende fuertemente del estado y la operación del equipo de fluoroscopia y de la posición del cardiólogo respecto al tubo de rayos X y el paciente. Por otro lado, el grado de protección proporcionado por las vestimentas y los dispositivos varía según el material y el espesor equivalente y la posición dentro de la sala de cateterismo, respectivamente.

Algunos estudios, basados en la carga de trabajo de cardiólogos intervencionistas, han reportado datos sobre la dosis efectiva anual que pueden recibir estos profesionales en procedimientos intervencionistas. Efstathopoulos *et al.*[37] reportaron una dosis efectiva para el operador principal entre 0,04 mSv y 0,05 mSv por año, mientras que Tsapaki *et al.*[38] reportaron valores entre 2 y 4 mSv al año. Aunque los valores mencionados no superan el límite recomendado de 20 mSv, medidas como la elección adecuada de la técnica radiográfica y el uso apropiado de los dispositivos de radioprotección pueden reducir hasta en un 92% los niveles de exposición en las salas de cateterismo cardíaco.

Aunque los niveles de exposición a los cuales está expuesto el operador principal en Cardiología intervencionista han sido reportados ampliamente, son pocos los estudios que han reportado las dosis de otros integrantes del equipo médico. La tabla 4 compara los valores de dosis efectiva anual reportados en la literatura para el operador principal, la enfermera y el tecnólogo en procedimientos cardíacos.

De forma general, las dosis ocupacionales recibidas por las enfermeras en salas de cateterismo cardíaco son menores que aquellas que recibe el operador principal, pero mayores que la de los tecnólogos, como se aprecia en la tabla 4. Esto se debe principalmente a que la posición de la enfermera respecto al paciente varía constantemente durante los procedimientos, en comparación con la de los tecnólogos. Además, las enfermeras no tienen acceso a dispositivos de radioprotección, como las pantallas plomadas, de modo que dependen únicamente de la vestimenta y la distancia como los principales medios de protección.

Dosis en cristalino

Recientemente, estudios epidemiológicos han mostrado que la exposición a la radiación puede inducir opacidad subcapsular y catarata en el cristalino del ojo a dosis absorbidas más bajas que las consideradas anteriormente[41,42]. Con base en estos resultados, la ICRP recomendó alterar el límite de dosis ocupacional anual para el cristalino de 150 mSv a 20 mSv[8]. Por lo anterior, la exposición ocupacional a la radiación del cristalino en procedimientos intervencionistas ha sido objeto de numerosos estudios en los últimos años. Jacob

Tabla 3 Dosis efectiva y producto kerma aire-área por procedimiento para el operador principal en Cardiología intervencionista con base en la literatura

Referencia	Procedimiento	Muestra	Dosis efectiva (μSv)	PKA (Gy*cm^2)
Delichas *et al.*[2]	AC	27	1,8 (0,4-3,5)	84,9
	ATC	33	1,2 (0,3-5,0)	125,5
Tsapaki *et al.*[38]	AC	20	1,3	NR
	ATC	20	1,4	NR
Trianni *et al.*[36]	AC	40	0,4 (0,05-1,58)	39,8
	ATC	33	0,6 (0,11-3,26)	71,6
	Ablación por radiofrecuencia	15	0,2 (0,05-0,61)	11
	IM	36	0,3 (0,04-1,69)	4,5
	ID	18	0,9 (0,08-1,77)	15,3
Kim *et al.*[34]	AC	NR	(0,02-38)	41
	ATC	NR	(0,17-31,2)	85
	Ablación por radiofrecuencia	NR	(0,24-9,6)	58
	IM + ID	NR	(0,29-17,4)	12

AC: angiografía coronaria; ATC: angioplastia transluminal coronararia; ID: implante de desfibrilador; IM: implante de marcapasos; NR: no reportado; PKA: producto kerma aire-área.
* Angiografía coronaria.

Tabla 4 Dosis efectiva anual para el operador principal y el equipo médico en Cardiología intervencionista

Referencia	Procedimiento	Dosis efectiva anual (mSv)		
		Cardiólogo	Enfermera	Tecnólogo
Chida *et al.*[39]	AC + ATC	3,0	1,34	0,6
Kaljevic *et al.*[40]	AC + ATC	4,3	2,1	1,3

AC: angiografía coronaria; ATC: angioplastia transluminal coronararia.

Tabla 5 Valores medios de Hp(0,07) en el cristalino para el operador principal en procedimientos de Cardiología intervencionista y Electrofisiología en la literatura

Procedimiento	Referencia	Hp(0,07) mSv / procedimiento	
		Sin blindaje	Con blindaje
Angiografía coronaria	Efstathopoulos *et al.*[37]	NR	0,0033
	Donadille *et al.*[44]	0.046	0,025
Angioplastia transluminal coronaria	Efstathopoulos *et al.*[37]	NR	0,0087
	Donadille *et al.*[44]	0,102	0,040
Resincronización de marcapasos o desfibrilador	Tsalafoutas *et al.*[45]	0,039	NR
	Donadille *et al.*[44]	0,236	0,5
Ablación por radiofrecuencia	Donadille *et al.*[44]	0,130	0,062

NR: no reportado.

et al.[43] realizaron un estudio retrospectivo sobre los niveles de exposición ocupacional en el cristalino de 129 cardiólogos intervencionistas reportados en la literatura desde 1970 hasta 2011. Los valores de dosis fueron clasificados teniendo en cuenta la carga de trabajo del operador principal y los factores de reducción de dosis ofrecidos por los dispositivos de radioprotección disponibles en las salas de cateterismo cardíaco. Los datos de este estudio se resumen en la tabla 5.

Los resultados del estudio mostraron que las resincronizaciones de marcapasos o desfibrilador produjeron los mayores valores de Hp(0,07) en el cristalino de los cardiólogos evaluados. Las causas de las altas dosis en estos procedimientos están relacionadas con la proximidad del operador principal al campo de radiación y la falta de uso de los dispositivos de radioprotección. La dosis acumulada en el cristalino para los 129 cardiólogos intervencionistas evaluados varió de 25 mSv hasta 1.600 mSv en un periodo de 22 años. Estos resultados muestran que para cardiólogos que trabajan varios años en salas de cateterismo sin usar adecuadamente los dispositivos de radioprotección para el ojo, el nuevo límite de dosis ocupacional para el cristalino de 20 mSv puede ser excedido y podrían estar en alto riesgo de desarrollar catarata inducida por la radiación.

Tabla 6 Valores típicos de Hp(0,07) en extremidades para el operador principal en Cardiología intervencionista

Procedimiento	Estadística	Hp (0.07) μSv / procedimiento					
		DI	DD	PI	PD	PAI	PAD
ÁC + ATC	Media	176	57	163	70	163	62
	Mínimo	8,0	8,0	8,0	8,0	6,0	4,0
	Máximo	5000	503	1775	579	1567	1232
Ablación por radiofrecuencia	Media	59	34	123	55	156	55
	Mínimo	5,0	4,0	4,0	4,0	5,0	4,0
	Máximo	896	446	1838	880	1819	780
IM + ID	Media	412	277	304	233	247	239
	Mínimo	5,0	8,0	4,0	4,0	4,0	4,0
	Máximo	6564	4328	4852	3825	4996	4046

AC: angiografía coronaria; DD: dedo derecho; DI: dedo izquierdo;
ID: implante de desfibrilador; IM: implante de marcapasos; PAD: pierna derecha; PAI: pierna izquierda; PD: pulso derecho; PI: pulso izquierdo.

Dosis cerebral

Recientemente, algunos estudios en la literatura han reportado casos de tumores en el lado izquierdo del cerebro de médicos que trabajaron durante largos periodos de tiempo (media: 23,5 años) en salas de cateterismo cardiaco o hemodinamia. Los resultados de estos estudios sugieren una posible conexión con la exposición crónica a la radiación de estos profesionales, debido a que el cerebro, específicamente el lado izquierdo, es la parte del cuerpo más expuesta durante la realización de los procedimientos.

Uthoff et al.[46] monitorearon las dosis ocupacionales durante 548 procedimientos de cardiología intervencionista y reportaron dosis anuales en la región de la cabeza del operador principal superiores a 33 mSv a pesar de haber implementado medidas estándar para limitar la exposición a la radiación como el uso de la pantalla plomada. El uso de gorros hechos de material XPF (sulfato de bario y oxido de bismuto) con espesores de 0,3 mm y 0,5 mm equivalentes en plomo, han mostrado reducir las dosis ocupacionales en la cabeza en hasta 90%, mostrando un buen confort en los cardiólogos en comparación con los gorros plomados.

Dosis en extremidades

La tabla 6 presenta información sobre los niveles de exposición ocupacional en extremidades en cardiología intervencionista. Los datos consignados en la tabla 6, fueron obtenidos para 646 procedimientos cardíacos llevados a cabo en 56 hospitales de 6 países Europeos, durante el proyecto ORAMED (Optimization of radiation protection of the medical staff)[44]. Las dosis fueron registradas con dosímetros termoluminiscentes en el dedo anular y el pulso de ambas manos y en las piernas del médico que realizó los procedimientos.

Los resultados del estudio mostraron que los mayores valores de Hp(0,07) fueron registrados en los procedimientos de implante de marcapasos y desfibrilador, debido a la proximidad del operador con el paciente y el tubo de rayos X.

De la tabla 6 se deduce que para todos los procedimientos evaluados, el lado izquierdo del cardiólogo es el más expuesto a la radiación, comparado con el lado derecho. Esta tendencia se debe principalmente a la proximidad del operador con el lado derecho del paciente (principal fuente de radiación dispersa) para realizar el acceso intravascular a través de varias regiones anatómicas.

Otro aspecto importante evaluado en el proyecto ORAMED, fue el efecto del uso de dispositivos de radioprotección y el tipo de acceso intravascular hecho al paciente, acerca de las dosis ocupacionales en extremidades en Cardiología intervencionista. Los resultados mostraron que el uso de la pantalla y la cortina plomada reduce las dosis en las manos y piernas del operador principal 1,5 y 5 veces respectivamente, para los procedimientos de ACyATC. Por el contrario, cuando no se usa la pantalla y se utiliza el acceso radial, las dosis son cinco veces mayores que cuando se emplea el acceso femoral.

Por otra parte, los guantes plomados han demostrado ser poco efectivos para proteger las manos del operador principal en Radiología intervencionista. Cuando el radiólogo o cardiólogo intervencionista coloca las manos protegidas con los guantes directamente en el haz de radiación, el valor de los parámetros de exposición del equipo de fluoroscopia aumentan y, en consecuencia, también lo hacen la dosis del paciente y el equipo médico. La mejor manera de proteger las manos del operador es mantenerlas por fuera del campo de radiación, a menos que sea estrictamente necesario.

Conclusiones

Del análisis de los datos extraídos de la literatura en cuanto a los niveles de exposición ocupacional y los métodos de dosimetría personal en Cardiología intervencionista se pueden extraer varias conclusiones. Por ejemplo, las dosis ocupacionales en Cardiología intervencionista pueden presentar variaciones en un rango de dos a tres órdenes de magnitud, según el tipo de procedimiento. Estas variaciones se deben principalmente a factores como el estado y la operación del equipo de fluoroscopia, la complejidad de los procedimientos, las características físicas del paciente, el uso de

dispositivos de radioprotección y la destreza del operador principal que conduce los procedimientos.

Así mismo, los cardiólogos que trabajan durante varios años de su carrera en laboratorios de cateterismo sin usar adecuadamente los dispositivos de radioprotección, pueden exceder el nuevo límite de dosis anual para el cristalino y aumentar de este modo la probabilidad de desarrollar catarata radioinducida.

De otro lado, la optimización de los protocolos y el uso efectivo de las vestimentas y dispositivos de radioprotección en las salas de cateterismo, pueden evitar altas exposiciones ocupacionales en Cardiología intervencionista, manteniendo las dosis muy por debajo del límite de dosis efectiva anual de 20 mSv.

Finalmente, el uso frecuente y la posición correcta de los dosímetros personales en Cardiología intervencionista permiten una estimación precisa de las dosis ocupacionales y facilitan así el análisis y la comparación con los límites de dosis establecidos en la normatividad de cada país.

Conflicto de intereses

Ninguno.

Bibliografía

1. Cousins C, Miller DL, Bernardi G, Rehani MM, Schofield P, Vañó E, et al. ICRP Publication 120: Radiological protection in cardiology. Ann ICRP. 2013;42:1–125, http://dx.doi.org/10.1016/j.icrp.2012.09.001.
2. Delichas M, Psarrakos K, Molyvda-Athanassopoulou E, Giannoglou G, Sioundas A, Hatziioannou K, et al. Radiation exposure to cardiologist performing interventional cardiology procedures. Eur J Radiol. 2003;48:268–73.
3. Vañó E, González L, Beneytez F, Moreno F. Lens injuries induced by occupational exposure in non-optimized interventional radiology laboratories. Br J Radiol. 1998;71:728–33.
4. RoguinA, Goldstein J, Bar O, Goldstein JA. Brain and neck tumors among physicians performing interventional procedures. Am J Cardiol. 2013;111:1368–72.
5. Vañó E, González L, Fernández JM, Alfonso F, Macaya C. Occupational radiation doses in interventional cardiology: a 15-year follow-up. Br J Radiol. 2006;79:383–8.
6. Tsapaki V, Kottou S, Patsilinakos S, Voudris V, Cokkinos DV. Radiation dose measurements to the interventional cardiologist using an electronic personal dosemeter. Radiat Prot Dosimetry. 2004;112:245–9.
7. Kim KP, Miller DL. Minimising radiation exposure to physicians performing fluoroscopically guided cardiac catheterization procedures: a review. Radiat Prot Dosimetry. 2009;133:227–33.
8. Stewart FA, Akleyev AV, Hauer-Jensen M, Hendry JH, Kleiman NJ, Macvittie TJ, et al. ICRP publication 118: Statement on tissue reactions /early and late effects of radiation in normal tissues and organs – threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. Ann ICRP. 2012;41(1–2):1–322, http://dx.doi.org/10.1016/j.icrp.2012.02.001.
9. European Commission, Food and Agriculture Organization of the United Nations, International Atomic Energy Agency, International Labour Organization, OECD Nuclear Energy Agency, Panamerican Health Organization, United Nations Environment Programme, World Health Organization, radiation protection and safety of radiation sources: international basic safety standards, IAEA safety standards series no. GSR part 3, IAEA, Vienna; 2014.
10. International Commission on Radiological Protection. Pregnancy and medical radiation. Ann ICRP. 2000;30:1–43, iii-viii.
11. International Commission on Radiological Protection. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann ICRP. 2007;37(2–4):1–332.
12. ICRU. Quantities and units in radiation protection dosimetry. ICRU Report 51. Oxford: Oxford University Press; 1993.
13. Martin CJ. Personnel dosimetry in UK radiology: is it time for a change? J Radiol Prot. 2012;32:E3–6.
14. NCRP. Radiation Dose Management for Fluoroscopically-Guided Interventional Procedures. National Council on Radiation Protection and Measurements. NCRP Report 168, Bethesda; 2010.
15. ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Diretrizes de Proteção Radiológica em Radiodiagnóstico Médico e Odontológico. Portaria Federal 453 de 1/06/1998. Brasil: VISALEGIS; 1998.
16. Covens P, Berus D, Buls N, Clerinx P, Vanhavere F. Personal dose monitoring in hospitals: global assessment, critical applications and future needs. Radiatprot Dosimetry. 2007;124:250–9.
17. Siiskonen T, Tapiovaara M, Kosunen A, Lehtinen M, Vartiainen E. Monte Carlo simulations of occupational radiation doses in interventional radiology. Br J Radiol. 2007;80:460–8.
18. Jarvinen H, Buls N, Clerinx P, Jansen J, Miljanic S, Nikodemová D, et al. Overview of double dosimetry procedures for the determination of the effective dose to the interventional radiology staff. RadiatProtDosimetry. 2008;129(1–3):333–9.
19. Swiss Ordinance, 2008. Eidgenossisches Departement des Innerenund Eidgenossisches Departement fur Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation: Verordhunguber die Personen dosimetrie (Dosimetrieverordnung) vom 07.10.1999. SR 814.501.43. Swiss Ordinance, Bern.(in German).
20. McEwan AC. Assessment of occupational exposure in New Zealand from personal monitoring records. Rad Prot (Australasia). 2000;17:60–6.
21. Von Boetticher H, Lachmund J, Hoffmann W. An analytic approach to double dosimetry algorithms in occupational dosimetry using energy dependent organ dose conversion coefficients. Health Phys. 2010;99:800–5.
22. Martin CJ, Magee JS. Assessment of eye and body dose for interventional radiologists, cardiologists, and other interventional staff. J Radiol Prot. 2013;33:445–60.
23. Whitby M, Martin CJ. A study of the distribution of dose across the hands of interventional radiologists and cardiologists. Br J Radiol. 2005;78:219–29.
24. Krim S, Brodecki M, Carinou E, Donadille L, Jankowski J, Koukorava C, et al. 2011. Extremity doses of medical staff involved in interventional radiology and cardiology: correlations and annual doses (hands and legs). Radiat Meas. 2011;46:1223–7.
25. International Atomic Energy Agency. Occupational radiation protection IAEA Safety standards series No. GSG-7. Vienna: IAEA; 2018.
26. International Atomic Energy Agency. Implications for Occupational Radiation Protection of the New Dose Limit for the Lens of the Eye. IAEA-TECDOC-1731. Vienna: IAEA; 2013.
27. ISO. Radiological Protection: Procedures for Monitoring the Dose to the Lens of the Eye, the Skin and the Extremities ISO 15382. second ed. Geneva: International Organization for Standardization; 2015.
28. Clerinx P, Buls N, Bosmans H, De Mey J. Double-dosimetry algorithm for workers in interventional radiology. Radiat Prot Dosimetry. 2008;129(1–3):321–7.
29. Martin CJ. A review of radiology staff doses and dose monitoring requirements. Radiat Prot Dosimetry. 2009;136:140–57.
30. Martin CJ. Eye lens dosimetry for fluoroscopically guided clinical procedures: practical approaches to protection and dose monitoring. Radiat Prot Dosimetry. 2016;169(1–4):286–91.

31. Magee JS, Martin CJ, Sandblom V, Carter MJ, Almén A, Cederblad A, et al. Derivation and application of dose reduction factors for protective eyewear worn in interventional radiology and cardiology. J Radiol Prot. 2014;34:811–23.
32. Omar A, Marteinsdottir M, Kadesjo N, Fransson A. On the feasibility of utilizing active personal dosimeters worn on the chest to estimate occupational eye lens dose in x-ray angiography. J Radiol Prot. 2015;35:271–84.
33. Garzón WJ, Khoury H, Ovalle SA, Medeiros RB. Performance of the InstadoseTM dosemeter for interventional radiology and cardiology application. Radiat Prot Dosimetry [Internet]. 2018 Oct [Acceso 2018 Dec 11]; 1-7. Disponible en: https://doi.org/10.1093/rpd/ncy172 DOI: 10.1093/rpd/ncy172.
34. Kim KP, Miller DL, Balter S, Kleinerman RA, Linet MS, Kwon D, et al. Occupational radiation doses to operators performing cardiac catheterization procedures. Health Phys. 2008;94:211–27.
35. Padovani R, Rodella CA. Staff dosimetry in interventional cardiology. Radiat Prot Dosimetry. 2001;94(1–2):99–103.
36. 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(1–3):111–5.
37. Efstathopoulos EP, Makrygiannis SS, Kottou S, Karvouni E, Giazitzoglou E, Korovesis S, et al. Medical personnel and patient dosimetry during coronary angiography and intervention. Phys Med Biol. 2003;48:3059–68.
38. Tsapaki V, Kottou S, Vañó E, Komppa T, Padovani R, Dowling A, et al. Occupational dose constraints in interventional cardiology procedures: the DIMOND approach. Phys Med Biol. 2004;49:997–1005.
39. Chida K, Kaga Y, Haga Y, Kataoka N, Kumasaka E, Meguro T, et al. Occupational dose in interventional radiology procedures. AJR Am J Roentgenol. 2013;200:138–41.
40. Kaljevic J, Ciraj-Bjelac O, Stankovic J, Arandjic D, Bozovic P, Antic V. Occupational dose assessment in interventional cardiology in Serbia. RadiatProtDosimetry. 2016;170(1–4): 279–83.
41. Shore RE, Neriishi K, Nakashima E. Epidemiological studies of cataract risk al low to moderate radiation doses: (not) seeing is believing. Radiat Res. 2010;174:889–94.
42. Worgul BV, Kundiyev YI, Sergiyenko NM, Chumak VV, Vitte PM, Medvedovsky C, et al. Cataracts among Chernobyl clean-up workers: implications regarding permissible eye exposures. Radiat Res. 2007;167:233–43.
43. 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. Radiat Prot Dosimetry. 2013;153:282–93.
44. Donadille L, Carinou E, Brodecki M, Domienik J, Jankowski J, Koukorava C, et al. Staff eye lens and extremity exposure in interventional cardiology: results of the ORAMED project. Radiat Meas. 2011;46:1203–9.
45. Tsalafoutas IA, Spanodimos SG, Maniatis PN, Fournarakis GM, Koulentianos ED, Tsigas DL. Radiation doses to patients and cardiologists from permanent cardiac pacemaker implantation procedures. Pacing Clin Electrophysiol. 2005;28:910–6.
46. Uthoff H, Quesada R, Roberts JS, Baumann F, Schernthaner M, Zaremski L, et al. Radioprotective lightweight caps in the interventional cardiology setting: a randomized controlled trial (PROTECT). EuroIntervention. 2015;11:53–9.