Rev Bras Cardiol Invasiva
2014;22(1):87-98

DOI: 10.1590/0104-1843000000015

Artículo de revisión

Riesgos de la Radiación X y la Importancia de la Protección Radiológica en la Cardiología Intervencionista: Una Revisión Sistemática

Fernando Leyton[1], Lucia Canevaro[2], Adriano Dourado[3], Helio Castello[4], Alexandre Bacelar[5], Marcus Teixeira Navarro[6], Eliseo Vañó[7], Maria do Socorro Nogueira[8], Wilson Otto Batista[6], Tânia A. C. Furquim[9], Rochelle Lykawka[5], Camila S. Melo[9], Flavia Borges[8], Barbara Rodrigues[10]

RESUMEN

Discutiremos aquí aspectos vinculados con el encuadre legal, las recomendaciones internacionales y los programas de formación en protección radiológica; el angiógrafo y la calidad de la imagen; los efectos biológicos y los riesgos de las radiaciones ionizantes; las lesiones en operadores y pacientes; los niveles de referencia del paciente; el límite de dosis ocupacional y sus medidas de prevención. El uso de las radiaciones ionizantes acarrea riesgos, que, de todos modos, se justifican en procedimientos diagnósticos y terapéuticos. La conciencia y el conocimiento de dichos riesgos minimizan el daño, optimizando la calidad de la imagen y el uso seguro de las radiaciones ionizantes. Se ha demostrado la presencia de cataratas radioinducidas en los empleados de los laboratorios de cateterismo. Diversos estudios sugieren que puede haber un riesgo significativo de opacidad del cristalino en el caso de no utilizar adecuadamente los dispositivos de protección radiológica. Además, en América Latina estos tipos de procedimientos intervencionistas son realizados generalmente por médicos especialistas, con la colaboración de enfermeros, tecnólogos y técnicos, que muchas veces no tienen una formación adecuada en protección radiológica.

DESCRIPTORES: Diagnóstico por imagen. Protección radiológica. Radiación ionizante. Lesiones por radiación. Revisión.

ABSTRACT

Radiation Risks and the Importance of Radiological Protection in Interventional Cardiology: A Systematic Review

We discuss some aspects related to the legal framework, international recommendations and training programs on radiological protection; image quality and equipment; the biological effects and risks of ionizing radiation; lesions in patients and operators; patient's reference levels; occupational dosis limit and preventive actions. The use of ionizing radiation involves risks that are justified in diagnostic and therapeutic procedures. The awareness and knowledge of these risks minimizes the damage, optimizing the quality of images and safe use of ionizing radiation. There is evidence of radiation-induced cataracts in individuals who work in catheterization laboratories. Several studies suggest there may be a significant risk of lens opacity, if radiological protection devices are not properly used. Additionally, these interventional procedures are performed in Latin America, usually by medical specialists in collaboration with nurses, technologists and technicians, who often do not have adequate training in radiological protection.

DESCRIPTORS: Diagnostic imaging. Radiation protection. Radiation, ionizing. Radiation injuries. Review.

[1] Facultad de Salud y Odontología, Universidad Diego Portales, Santiago, Chile.
[2] Instituto de Radioprotección y Dosimetría, Comisión Nacional de Energía Nuclear, Río de Janeiro, RJ, Brasil.
[3] Hospital Santa Isabel, Salvador, BA, Brasil.
[4] Hospital Bandeirantes, San Pablo, SP, Brasil.
[5] Servicio de Física Médica y Radioprotección, Hospital de Clínicas de Porto Alegre, Universidad Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.
[6] Laboratorio de Física Radiológica, Instituto Federal de Bahia, Salvador, BA, Brasil.
[7] Departamento de Radiología, Universidad Complutense de Madrid y Hospital San Carlos, Madrid, España.
[8] Centro de Desarrollo de la Tecnología Nuclear, Belo Horizonte, MC, Brasil.
[9] Instituto de Física, Universidad de San Pablo, San Pablo, SP, Brasil.
[10] Secretaría de Salud del Distrito Federal, Distrito Federal, Brasil.

Los autores de este trabajo participan en el proyecto nacional BRA 9056 *"National Assessment of Quality Control and Radiation Protection in Interventional Cardiology Departments"* de la *International Atomic Energy Agency* (IAEA). El proyecto es una asociación entre el Instituto de Radioprotección e Dosimetría (IRD) de la Comisión Nacional de Energía Nuclear (CNEN); la Sociedad Brasileña de Hemodinámica y Cardiología Intervencionista (SBHCI); el Centro de Desarrollo de Tecnología Nuclear (CDTN); el Instituto de Física de la Universidad de San Pablo (IF-USP); el Laboratorio de Física Radiológica del Instituto Federal de Bahía (IFBA); el Hospital de Clínicas de Porto Alegre de la Universidad Federa de Rio Grande do Sul (UFRGS); y la Secretaria de Salud del Distrito Federal. El proyecto se propone identificar el parque tecnológico actual en Cardiología Intervencionista en Brasil, caracterizar los angiógrafos y hacer un relevamiento de las dosis suministradas a pacientes y profesionales durante los procedimientos.

Correspondencia: Fernando Leyton. Centro de Desarrollo de Tecnología Nuclear - Avenida Presidente Antônio Carlos, 6.627 - Campus de la UFMG - CEP: 31270-901 - Belo Horizonte, MG, Brasil.
Mail: leyton.fernando@gmail.com

Recibido el: 19/9/2013 • Aceptado el: 12/2/2014

Rev Bras Cardiol Invasiva.
2014;22(1):87-98

La utilización en medicina representa la principal fuente de exposición artificial de la población mundial a las radiaciones ionizantes. El *National Council on Radiation Protection and Measurements* (NCRP),[1] de Estados Unidos, estima que la exposición a la radiación para la producción de imágenes médicas aumentó en un 600% entre 1980 y 2006. Según el *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation* (UNSCEAR),[2] los procedimientos de cardiología intervencionista representan la tercera mayor contribución a las dosis colectivas (una dosis colectiva caracteriza el impacto radiológico de un procedimiento o fuente ionizante), después de la tomografía computada y de la medicina nuclear.

La introducción de nuevas tecnologías de imagen en el campo diagnóstico y terapéutico, más la permanente modernización de los equipos de rayos X ampliaron el espectro de acción de la cardiología intervencionista, responsable, actualmente, de innumerables procedimientos en las enfermedades coronaria, valvular y congénita. Para garantizar el buen funcionamiento de los equipos y gestionar adecuadamente los riesgos radiológicos, deben establecerse programas de garantía y control de calidad en los servicios de cardiología Intervencionista, según la recomendación de la *International Atomic Energy Agency* (IAEA).

Debido a los elevados niveles de exposiciones que pueden alcanzarse en algunos procedimientos de cardiología intervencionista, es posible observar en los pacientes efectos secundarios a dosis elevadas (determinísticos) o proporcionales a la dosis recibida, sin umbral (estocásticos). Por otro lado, debido a que el procedimiento requiere la presencia del médico al lado del paciente, también es posible que se den efectos determinísticos en dichos profesionales, como pérdida de vello y catarata.

Recomendaciones internacionales y marco legal sobre protección radiológica

Al contrario de lo que ocurre en Europa y en los Estados Unidos,[3-7] en América Latina no hay en general un marco legal suficiente como para regular el uso seguro de las radiaciones ionizantes en medicina. La conciencia de que existen procedimientos intervencionistas que pueden implicar altas dosis de radiación para el paciente y el operador ha motivado a las organizaciones internacionales a publicar recomendaciones que ayuden a conjugar las necesidades de la cardiología intervencionista con los altos estándares de seguridad. De tal modo, la Directiva Europea 97/43/ Euratom[5] sobre exposiciones médicas determina los requisitos para la práctica de la cardiología intervencionista. Hay una guía publicada por la Comisión Europea, con el objetivo de educar y capacitar en protección radiológica para las exposiciones médicas, que también contiene recomendaciones acerca de programas de formación y acreditación.[6-8]

El documento *"Radiation Safety in the Practice of Cardiology"* ,[4] publicado en conjunto por el *American College of Cardiology* (ACC), por la *North American Society of Pacing and Electrophysiology* (NASPE), por la *Society for Cardiac Angiography and Interventions* (SCAI) y por la *American Society of Nuclear Cardiology* (ASNC), plantea recomendaciones sobre protección radiológica, para que los procedimientos de la práctica cardiológica se realicen con niveles de seguridad adecuados. Asimismo, la publicación *"Normas de Seguridad del OIEA N° GSR Part 3"*[9] y las publicaciones 60, 103 y 105, de la *International Commission on Radiological Protection* (ICRP),[10-12] establecen los criterios básicos para radioprotección, definiendo principios de justificación, optimización y limitación de las dosis para los individuos ocupacionalmente expuestos (IOE), además de los valores de referencia de dosis para las prácticas médicas.

Chambers et al.,[13,14] que formaban parte de la SCAI, publicaron un artículo cuyo enfoque práctico servía para ayudar a los servicios de cardiología intervencionista a establecer programas de seguridad y protección radiológica. En este artículo se revisaron: la terminología básica para la planificación de la dosis pre procedimiento; la administración de la dosis en tiempo real; la documentación de la dosis de radiación en los registros; la notificación de dosis alta al paciente y al médico de referencia; los elementos de protección y equipamiento de imágenes; y la capacitación. El artículo estableció también que los médicos y el equipo médico implicado en el cateterismo deberían recibir capacitación sobre los principios básicos de la física de las radiaciones, seguridad y protección radiológica. Un físico médico tiene que participar, junto al equipo médico, en la selección del equipamiento, la educación del personal y la medición de la dosis. Una mejor calidad de la imagen, con exposición optimizada a la radiación, garantiza el mejor cuidado al paciente, así como el perfeccionamiento de la práctica.

En la publicación 85 del ICRP,[15] se recomienda la utilización de tres dosímetros para los individuos más expuestos. Se sugiere colocar un dosímetro personal principal bajo el delantal de plomo a la altura del tórax, dirigido hacia la fuente de radiación; un segundo dosímetro localizado encima del delantal, a la altura del cuello; y un tercero cerca del ojo (cristalino) o en la región de la mano (Figura 1). La normativa brasileña establece el uso de un dosímetro a la altura del tórax por fuera del delantal de plomo.[16]

La IAEA recomienda incluir en la legislación de protección radiológica la implantación de los programas de garantía y de control de calidad, con los tests de aceptación y la “distinción” o caracterización de los sistemas que producen radiaciones ionizantes usadas en procedimientos intervencionistas. En Brasil, la Agencia Nacional de Vigilancia Sanitaria (ANVISA) del Ministerio de Salud publicó, en 1998, la Orden ministerial SVS/MS 453/98,[16] que establece requisitos de protección radiológica y control de calidad para la radiología médica, odontológica e intervencionista.

Aunque no exista todavía un reglamento específico para el uso de las radiaciones ionizantes en cardiología intervencionista, la Norma Reguladora - Seguridad y

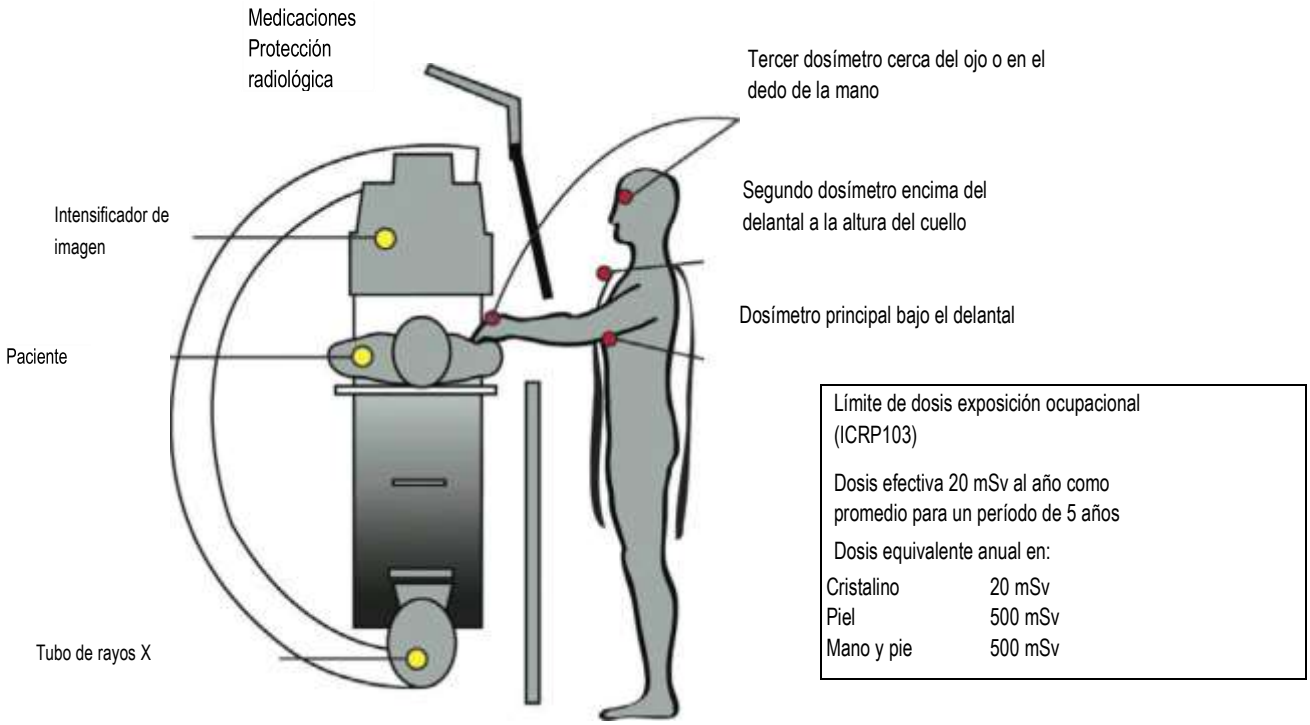

Figura 1. Posición de los dosímetros para describir la exposición del *staff* en procedimientos intervencionistas. El dosímetro personal principal tiene que estar bajo el delantal de plomo, a la altura del tórax, dirigido hacia la fuente de radiación. El segundo dosímetro puede colocarse encima del delantal, a la altura del cuello, y el tercero cerca del ojo o mano.

Salud en el Trabajo en Establecimientos de Salud, conocida como NR-32,[17] define las directivas básicas para la protección de la salud de los trabajadores de los servicios de salud. Allí se señala que los equipos de fluoroscopia deben tener "cortina o faldón de plomo inferior y lateral para la protección del operador contra la radiación difundida". En Europa y en otros países[5-7] no se permite comercializar un equipamiento para angiografía sin los elementos externos de protección radiológica o sin el medidor del producto kerma-área (o producto dosis-área - P_{KA}), que indica la dosis de radiación que el paciente recibe. Esta es una herramienta indispensable para la seguridad y la optimización de los procedimientos intervencionistas. En Brasil, las cámaras para medir el P_{KA} y los elementos externos de protección radiológica, como el faldón y el biombo de techo, no son todavía habituales, pero deberían ser considerados partes indispensables a la hora de adquirir un equipamiento angiográfico.

Formación en protección radiológica

En América Latina, los procedimientos intervencionistas son realizados por médicos especialistas acompañados por enfermeros, tecnólogos médicos y técnicos, sin tener a menudo una formación adecuada en protección radiológica. Una investigación realizada por Vano et al.[18] en diez centros de cardiología intervencionista de países latinoamericanos - Brasil inclusive – demostró que apenas el 64% de los IOE utilizaba el monitor individual (dosímetro) y solamente el 36% de ellos reconocía saber lo que significaba su dosimetría. Sobre el conocimiento y el uso del angiógrafo, apenas el 14% demostró conocer adecuadamente el equipo y solo el 27% tenía conocimiento de los resultados del control de calidad. En otra investigación realizada por la IAEA, de la que participaron cardiólogos de más de 56 países, los resultados demostraron que entre el 33 y el *77%* de los cardiólogos intervencionistas usaban sus dosímetros con regularidad.[19]

Una publicación conjunta del ACC, de la *American Heart Association* y del *American College of Physicians* (ACC/AHA/ACP)[20] estableció, en 2005, los estándares necesarios en el conocimiento médico para mejorar la seguridad del paciente, así como la calidad de imagen. Otras publicaciones del ACC, principalmente sobre la realización de procedimientos de forma segura, llevaron a la publicación del documento *"Cardiac Catheterization Laboratory Standards: a Report of the American College of Cardiology Task Force on Clinical Expert Consensus Documents"*,[21] que estableció los estándares técnicos para los laboratorios de cateterismo cardíaco, estando uno de sus capítulos dedicado a la protección radiológica.

Rev Bras Cardiol Invasiva.
2014;22(1):87-98

El reglamento de las radiaciones ionizantes en las exposiciones médicas de la Comisión Europea[6] y del Reino Unido (el *Ionising Radiation (Medical Exposure) Regulation* - IRMER)[7] definió la capacitación adecuada, tanto teórica como práctica, que debe recibir un operador de procedimientos intervencionistas. En España, actualmente los cardiólogos intervencionistas deben tener una acreditación en protección radiológica, especialmente enfocada en el área intervencionista.[22]

El angiógrafo y la calidad de la imagen

En el proceso de compra y configuración de un equipo de angiografía deberían participar médicos intervencionistas y físicos médicos. Se debe determinar qué procedimientos se realizarán, para elegir el angiógrafo más apropiado y que esté de acuerdo con la demanda. La amplia variedad de procedimientos que se pueden realizar y las grandes diferencias entre los componentes del *hardware,* los *softwares* y las configuraciones necesarias para diferentes aplicaciones hacen del angiógrafo un equipamiento de alta complejidad.

Para realizar los procedimientos en cardiología intervencionista, se requiere un angiógrafo especialmente diseñado y configurado para tal práctica médica. El equipamiento debe ser instalado en una sala que permita el libre movimiento del arco en C, la circulación del personal y la instalación de todos los dispositivos necesarios para la práctica intervencionista, como, por ejemplo, los monitores, el biombo de techo, el desfibrilador, las bombas, los inyectores, la máquina de anestesia y los monitores fisiológicos, entre otros. La sala debe garantizar todos los cuidados al paciente y minimizar los riesgos para el paciente y el equipo clínico.

Las características deseables para un angiógrafo utilizado en cardiología intervencionista son:

1. geometría: el tubo de rayos X y el receptor de imagen giran alrededor de un ponto llamado "isocentro", en el que se debe posicionar la región anatómica de interés a estudiar;

2. modos de fluoroscopia: el operador debe poder elegir diferentes tasas de pulsos. La incorporación de la fluoroscopia pulsada fue un importante avance en la reducción de la dosis al paciente;

3. filtros: diferentes espesores de filtros están a disposición, en función del espesor y de la densidad del tejido del paciente. Los filtros ayudan para la calidad de la imagen y el control dosimétrico del paciente;

4. ajuste de colimación: la colimación virtual muestra la posición de las láminas del colimador sobre la imagen, cuando las láminas están siendo ajustadas. Este recurso elimina la irradiación del paciente durante el ajuste del colimador. La colimación adecuada disminuye la dosis del paciente y del operador y mejora la calidad de la imagen;

5. programación anatómica: permite el control de la dosis y de la calidad de la imagen, seleccionando la región del cuerpo y el tamaño del paciente que será irradiado;

6. adquisición digital: el procesamiento de imágenes no digitales es muy limitado, si se compara con el de imágenes digitales. El formato para la edición de imágenes digitales y comunicación en medicina (DICOM) representa el principal tipo de archivo utilizado para la adquisición, manipulación y administración de las imágenes en cardiología intervencionista. El encabezado DICOM brinda importantes informaciones con respecto a los protocolos adoptados en el centro para cada procedimiento;

7. almacenamiento de la fluoroscopia: esta característica muestra la última imagen fluoroscópica y permite el almacenamiento retrospectivo de los últimos segundos de fluoroscopia. Este recurso permite al operador almacenar hasta 300 imágenes de la secuencia de fluoroscopia y permite el registro de la anatomía cardíaca sin necesidad de irradiar nuevamente al paciente;

8. monitores de radiación: permite la visualización en tiempo real del kerma en el aire (Ka) y del P_{KA}. Este monitor posibilita la evaluación del riesgo de radiación del paciente durante el procedimiento. El servicio de cardiología intervencionista debe registrar las dosis de los pacientes e implantar un sistema de seguimiento a quien supere la dosis de alerta;

9. blindaje / elementos de protección radiológica externos: estos escudos consisten en cortinas de plomo montadas en el área de la mesa del paciente (faldón) y en otro escudo montado con un brazo articulado, adherido al techo de la sala de procedimientos (el biombo de techo). El espesor característico equivalente es de 0,5 mmPb. El biombo de techo tiene una ventaja comparado con las gafas de protección, ya que además de proteger el cristalino, protege también la cabeza, la tiroides, los brazos y toda la porción superior del tronco del operador;

10. alertas audibles: se debe activar una alerta sonora en la sala de procedimiento siempre que se produzcan rayos X. Lo apropiado es que haya sonidos diferentes para diferentes modos de operación.

Un angiógrafo para exámenes complejos sin la mayoría de las características mencionadas no debe ser utilizado en cardiología invasiva.[23]

El ajuste adecuado de todos los parámetros del angiógrafo, como la tasa y el ancho del pulso, la corriente y la tensión del tubo, la filtración y el tamaño del punto focal y del campo de visión, contribuye a la optimización de la exposición del paciente y a mejorar la calidad de la imagen.

Actualmente, los sistemas fluoroscópicos utilizados en procedimientos de cardiología intervencionista utilizan dos tipos de tecnologías para la detección de la imagen: el intensificador de imagen con dispositivo de carga acoplada

y los detectores *flat panel,* que llegaron para sustituir al intensificador de imagen. Existen numerosos estudios que comparan ambas tecnologías, aunque todavía no existen diferencias significativas en cuanto a la dosis y la calidad de la imagen entre ellas.[24,25] Por otro lado, también se enfatiza el mayor potencial para disminuir las dosis y mejorar la calidad de la imagen de los detectores *flat panel.*

En Brasil, los trabajos de Medeiros et al.[26] y Vargas et al.[27] demostraron que el angiógrafo con *flat panel* presentó las mayores tasas de Ka máxima en la entrada de la piel del paciente, llegando a ser un 65% mayor al compararlo con los sistemas que utilizan intensificador de la imagen. Es decir que la reducción de dosis no es inherente al sistema *flat panel,* y en consecuencia es necesaria la optimización de la dosis por parte de un físico médico calificado.

La calidad de la imagen y la dosis están fuertemente relacionadas. La disminución de la dosis provoca una disminución de la calidad de la imagen, de tal modo que el exceso de cuidado para obtener dosis bajas puede tener como resultado angiógrafos que generan una imagen con baja calidad.

Una imagen de calidad es fundamental para la orientación del procedimiento clínico. Así, la evaluación de la calidad de la imagen puede ser realizada de forma objetiva o subjetiva.[28] Se requiere un maniquí específico para la evaluación de la calidad de la imagen en los sistemas que utilizan fluoroscopia. La evaluación subjetiva necesita un observador que informe el número de grupos de alta resolución visibles y los objetos de bajo contraste. Este tipo de evaluación está sujeta a la variabilidad del observador. La evaluación objetiva (numérica) puede ser realizada con las imágenes DICOM. Las evaluaciones pueden incluir la función de transferencia modulada, el ruido, el contraste y la relación señal-ruido. Las evaluaciones numéricas de la calidad de la imagen tardan más que las subjetivas, pero son muy consistentes.

La verificación de la calidad de la imagen y de las dosis, para los diferentes modos de exposición, constituye la base de los tests de constancia (tests de verificación de desempeño) y de la instalación y puesta en marcha. Se trata de un proceso decisivo para el mejoramiento de la calidad de las imágenes clínicamente aceptables y obtenidas con tasas de dosis tan bajas como razonablemente ejecutables. Es entonces indispensable la caracterización completa del sistema de rayos X, durante la instalación y puesta en marcha y después de grandes cambios. Si esta tarea no se hubiera realizado, será el primer paso para un proceso de mejora.

Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes

La mayoría de los efectos indeseados derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes pueden agruparse en dos categorías:

1. efectos estocásticos: aquellos cuya probabilidad de ocurrir es proporcional a la dosis de radiación recibida, sin la existencia de umbral. El desarrollo de cáncer en individuos expuestos, a causa de la mutación de células somáticas o por una enfermedad hereditaria en su progenie, es un ejemplo;

2. efectos determinísticos: efectos causados por irradiación total o localizada de un tejido, llevando a un grado de muerte celular no compensado por la reposición o por la reparación, con daños detectables en el funcionamiento del tejido u órgano. Existe un umbral de dosis, debajo del cual la pérdida de células es insuficiente para perjudicar el tejido u órgano de un modo detectable.

La ICRP 103[11] advierte que algunos efectos asociados a la radiación, diferentes del cáncer, todavía no son entendidos suficientemente como para ser colocados en alguna de las categorías mencionadas.

Los dos ejemplos más frecuentes de reacciones tisulares (efecto determinísticos) de interés en cardiología intervencionista son la formación de catarata, en los médicos, y lesiones en la piel, en los pacientes.[29]

El estudio de los efectos determinísticos se basa en el análisis de la distribución espacial y temporal de las dosis sobre el tejido. Con una dosis única de 6 a 8 Gy, en un campo de 5 cm^2, surge un eritema, que aumenta en la primera semana, pero desaparece progresivamente luego de 10 días. Con el aumento de la dosis, la reacción eritematosa llega a un máximo en 2 semanas y dura de 20 a 30 días. En caso de dosis aún mayores, pueden haber descamación seca o húmeda e, inclusive, necrosis.[30]

La dimensión apropiada para planificar la exposición de pacientes y las evaluaciones del riesgo-beneficio es la dosis equivalente o la dosis absorbida en los tejidos irradiados (cuya unidad es el Sievert - Sv y el Gray - Gy, respectivamente). La dosis efectiva puede ser valiosa para comparar la dosis de diferentes procedimientos diagnósticos, además de poner en paralelo la utilización de tecnologías y de procedimientos similares en diferentes hospitales y países.[11]

Las revisiones de los datos biológicos y clínicos realizadas por la ICRP 103 han estimado que, para una dosis absorbida de hasta 100 mGy, ningún tejido muestra daño funcional clínicamente relevante.[11] Esta estimación se aplica a dosis agudas únicas o a situaciones en que las dosis son recibidas de forma prolongada, como las exposiciones anuales. En el caso del cáncer, los estudios mostraron evidencias del riesgo de la radiación para la dosis en torno de 100 mSv o posiblemente menores.

En el caso de enfermedades hereditarias, todavía no existe evidencia directa de que la exposición a la radiación de los padres signifique una mayor prevalencia de enfermedades hereditarias en los hijos, aunque el ICRP 103 considere que la radiación causa efecto hereditario en animales de experimentación. Estas observaciones experimentales fueron suficientes para que los riesgos para las futuras

Rev Bras Cardiol Invasiva.
2014;22(1):87-98

generaciones se incluyeran en los sistemas de protección. De acuerdo con la ICRP 103, existe riesgo de reacción de tejido y malformación del embrión y del feto irradiado en el útero. En el caso del embrión, puede haber efectos letales en el período de preimplantación. Con respecto a las malformaciones, los estándares de radiosensibilidad *in utero* dependen de la edad gestacional. El umbral para la inducción de malformaciones es del orden de 100 mGy y por debajo de ese valor no se esperan malformaciones.

El sistema práctico de protección radiológica recomendada por el ICRP 103 se basa en la suposición de que, para la dosis > 100 mSv, un aumento en la dosis produzca un incremento directamente proporcional a la probabilidad de desarrollar cáncer o efectos hereditarios derivados de la radiación.[11] Este modelo de respuesta a la dosis es conocido como "lineal sin umbral" (LNT, sigla del inglés *linear-non-threshold).* Este criterio fue compartido por UNSCEAR 2000,[31] NCRP 2001-2009[1,32] y NAS/NRC 2006.[33] La publicación 99 del ICRP 2005[34] consideró que la adopción del modelo LNT, combinado con un valor estimado del factor de eficacia de la dosis y la tasa de dosis, proporciona una base prudente para los propósitos prácticos de la protección radiológica, es decir, la administración de los riesgos de la exposición a dosis bajas de radiación.

Lesiones en operadores y pacientes

Lamentablemente algunos pacientes sometidos a procedimientos intervencionistas han tenido lesiones causadas por radiación (Figuras 2 y 3).[35,36] Uno de los primeros registros de necrosis en la piel por cateterismo guiado por fluoroscopia fue en 1976.[37] Recién en la década de 1990 la *Food and Drug Administration* (FDA) publicó un alerta llamando la atención sobre los riesgos de las lesiones de piel por radiación en pacientes sometidos a procedimientos médicos con fluoroscopia.[3]

En Chile, con apoyo de la IAEA, se realizó una investigación en los laboratorios de cardiología intervencionista. De los entrevistados, el 90% declaró desconocer casos de lesiones secundarias a la radiación y el 84% declaró nunca haber presenciado una exposición excesiva de los pacientes.[38] En Brasil encontramos dificultades para notificar tales casos.

La aparición de cataratas radioinducidas entre los trabajadores de laboratorios de radiología intervencionista ha sido demostrada (Figura 4).[15,39-41] Vano et al.[42] revelaron que 50% de los médicos cardiólogos expuestos a radiaciones ionizantes presentaron opacidad en el cristalino. Se hicieron estudios con el objetivo de evaluar retrospectivamente las lesiones del cristalino y la dosis de radiación, como el *Retrospective Evaluation of Lens Injuries and Dosis* (RELID) de la IAEA,[43] que contribuyeron para la disminución del límite de dosis para esa región. El hecho de que los médicos intervencionistas y su equipo permanezcan varias horas diarias cerca de la fuente de rayos X, incluso en condiciones normales de trabajo, hace que los niveles de exposición en los ojos puedan ser considerablemente elevados.

El estudio de Russo et al.[44] muestra que los cardiólogos intervencionistas presentan un aumento del daño

Figura 2. Lesión en la piel en hombre de 40 años sometido a múltiples coronariografías. Aproximadamente 18 a 21 meses después del procedimiento, se evidencia necrosis de los tejidos. **Fuente:** Shope TB. Radiation-induced skin injuries from fluoroscopy [image]. In: U.S. Food and Drug Administration. Radiation-Imitting Products [Internet]. 2010 [cited 2013 Aug 15]. Available from: http://www.fda.gov/Radiation-EmittingProducts/ Radiation En ittingProductsand Procedures/Medical I maging/MedicalX- Rays/ ucrn! 16682.htm

Figura 3. Adolescente de 17 años, con historia de arritmia cardíaca, sometida a dos ablaciones con 13 meses de diferencia. Fotografía sacada 2 años después de la última intervención, mostrando una placa endurecida y atrofia en el tórax lateral, comprometiendo la mama a la derecha. El endurecimiento significó la limitación del movimiento del brazo derecho. Hay aumento del riesgo de cáncer de mama. **Fuente:** Vañó E, Arranz L, Sastre JM, Moro C, Ledo A, Gárate MT, et al. Dosimetric and radiation protection considerations based on some cases of patient skin injuries in interventional cardiology. Br J Radiol. 1998;71(845):510-6. Con permiso del *British institute of Radiology.*

al ADN somático, es decir que una exposición crónica a bajas dosis de radiación ionizante induce respuestas adaptativas, bioquímicas y celulares para bajas dosis, incluso en niveles considerados seguros de exposición, motivo por el cual es fundamental la adopción de medidas de protección radiológicas.

Almeida Junior et al.[45] demostraron que las dosis anuales del IOE en el laboratorio de intervención fácilmente exceden el límite legal permitido a trabajadores expuestos a la radiación ionizante, en el caso de que no se utilicen los dispositivos de protección radiológica durante los procedimientos intervencionistas.[46]

La aparición de cataratas es considerado un efecto determinístico. La ICRP observó evidencias epidemiológicas y emitió, en abril de 2011, una declaración reduciendo el umbral de dosis para el cual ese efecto debe acontecer.[47] De acuerdo con esa declaración, el umbral de dosis absorbida para lesiones en el cristalino pasó a 0,5 Gy (500 mGy) y el límite ocupacional de dosis equivalente en el cristalino paso a 20 mSv por año. Las estimaciones indican que las dosis acumuladas por médicos intervencionistas y por el equipo médico, durante la vida profesional, pueden superar estos valores establecidos por las normas internacionales.

Niveles de referencia para el paciente y límite de dosis ocupacional

Las grandes diferencias en las exposiciones para un mismo tipo de examen diagnóstico o terapéutico indican que existe un gran potencial de reducción de la dosis.[28] El concepto de niveles de referencia fue concebido como herramienta para la optimización de la protección para la exposición de los pacientes. Los niveles de referencia son definidos como valores de dimensión medida, por encima de los cuales debe

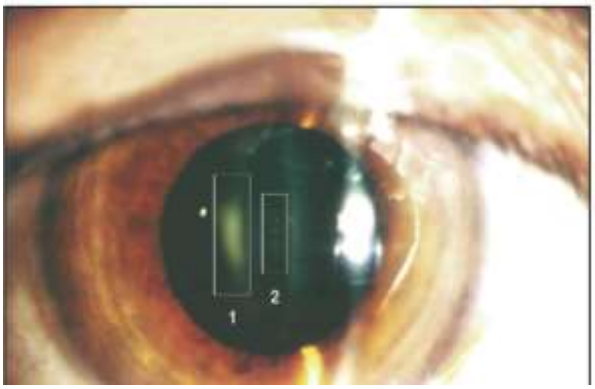

Figura 4. Opacidad en el cristalino radioinducida en un especialista en radiología intervencionista sometido a altos niveles de radiación difundida, utilizando un angiógrafo no optimizado con tubo de rayos X encima de la mesa. El número 1 indica opacidad subcapsular posterior; el número 2, opacidades puntiformes perinucleares. **Fuente:** Vañó E, González L, Beneytez F, Moreno F. Lens Injuries induced by ocupational exposure in non-optimized interventional radiology laboratories. Br J Radiol. 1998;71(847):728-33. Con autorización del *British Institute of Radiology.*

tomarse alguna acción o decisión específica. Son usados para identificar situaciones en las que las dosis al paciente están frecuentemente fuera de lo usual. Si se constatara que las exposiciones durante los procedimientos son consistentemente diferentes del nivel de referencia, hay que revisar los procedimientos y los equipamientos, de modo de determinar si fueron adecuadamente ajustados. Los niveles de referencia están destinados para los programas de garantía de calidad, sirviendo como guías para determinar la revisión detallada del equipo y también para garantizar el mejor rendimiento del operador.

En los países que han implementado los niveles de referencia, los médicos y el equipo médico disponen de una herramienta de fácil aplicación para comparar las dosis de radiación suministrada a los pacientes. Esto ha producido una mayor conciencia en los profesionales en cuanto a las dosis de radiación asociadas a las prácticas, estimulando acciones correctivas en cada institución.[11,28,48] En estos países se ha observado la reducción significativa de la dosis de radiación al paciente.[18,49] Los niveles de referencia, por lo tanto, están bien establecidos para los procedimientos comunes y son exigidos por las recomendaciones internacionales.[9,11,28,48]

Las dosis en los procedimientos de cardiología intervencionista pueden llegar a variar en un factor de 10 (Tabla 1) en procedimientos complejos, como la intervención en una oclusión coronaria crónica,[50] la sustitución de válvula aórtica por vía percutánea,[51] o la corrección de un aneurisma endovascular toraco-abdominal,[52] que pueden exceder la dosis efectiva de 100 mSv.

El producto kerma área (P_{KA}) es una dimensión que representa la energía de la radiación transmitida al paciente durante el procedimiento, siendo expresada en Gy.cm^2. Se calcula por el sistema de angiografía y se presenta en el monitor de la sala durante el procedimiento. Conociendo el P_{KA} del paciente es posible estimar la dosis que el operador recibe. La IAEA, en la publicación *Safety Report Series n°. 59,*[28] estableció niveles de referencia de 50 Gy.cm^2 para la angiografía coronaria diagnostica y de 125 Gy.cm^2 para la intervención coronaria percutánea (ICP), siendo considerados el tiempo de fluoroscopia, el número de imágenes y la complejidad del procedimiento.

En la literatura científica brasileña, hay poca información sobre las dosis en pacientes de cardiología intervencionista. Investigaciones realizadas en el Estado de Rio Grande do Sul[26,27,55] mostraron que el P_{KA}, en procedimientos de cardiología intervencionista varió entre 41 a 55 Gy.cm^2 y 62 a 103 Gy.cm^2, para los procedimientos diagnósticos y terapéuticos respectivamente (valores del tercer cuartil).

El estudio de Azevedo et al.[55] determinó el impacto de las lesiones complejas en la exposición radiológica durante ICP. La conclusión fue que la exposición radiológica es significativamente mayor en los pacientes sometidos a ICP en lesiones complejas de tipo B2/C, comparadas con las de tipo A/B1,

Rev Bras Cardiol Invasiva.
2014;22(1):87-98

TABLA 1
Dosis efectiva para exámenes comunes en cardiología[29] asociada al número equivalente de radiografías de tórax y al período aproximado de radiación natural que un individuo recibe en 1 año

Procedimiento	Dosis efectiva	Número de radiografías de tórax posteroanterior (para 0,02 mSv)	Período aproximado de radiación natural (años)
Radiografía de tórax posteroanterior[53]	0,02	1	0,008
Intervenciones			
Angiografía de la arteria pulmonar o aorta[54]	5 (4-9)	250	2,1
Angiografía de cabeza y/o cuello[54]	5 (1-20)	250	2,1
Angiografía de coronaria diagnóstica[53]	7 (2-16)	350(100-800)	2,9
Intervención coronaria percutánea[53]	15 (7-57)	750 (350-2.800)	6,3
Ablación cardíaca por radiofrecuencia[53]	15 (7-57)	750 (350-2.800)	6,3
Dilatación de una oclusión coronaria crónica[50]	81 (17-194)	4.050 (850-9.600)	33,7
Tomografía computada			
Angiografía coronaria por tomografía computada, *64-slice*[53]	15(3-32)	750 (150-1.600)	6,3

y que el peso del paciente y el tipo de lesión (B2/C) son predictores de elevados niveles de exposición radiológica. También relataron que el 14% de los pacientes sometidos a ICP sobrepasaron el nivel de dosis de 2 Gy, que potencialmente puede producir lesiones en el paciente.

Vargas et al.[27] también relataron que la dosis de algunos pacientes superó el nivel de referencia de 2 Gy. Este estudio demostró que la exposición radiológica fue > 2 Gy en el 3,6% de los procedimientos del grupo con menos de 79 kg, en el 16,3% del grupo entre 80 y 99 kg, y en el 10,7% del grupo con más de 100 kg. Es decir que el peso del paciente ejerce un impacto significativo en la exposición radiológica.

Por otro lado, Mattos et al.[56] demostraron que pacientes sometidos a procedimientos cardiológicos invasivos, tanto diagnósticos como terapéuticos, eran expuestos a mayores niveles de radiación por la vía de acceso radial, y sugirieron que la experiencia del operador puede reducir, de forma significativa, el nivel de dosis del procedimiento.

Estos estudios dan evidencia del gran potencial de optimización de la dosis de los procedimientos intervencionistas. Las recomendaciones internacionales establecen que en caso de dosis > 2 Gy, debe quedar registrada en la historia clínica y el paciente debe ser notificado, para posterior seguimiento.[23,28]

Un cardiólogo intervencionista con experiencia, que realice un gran volumen de cateterismos, tiene una exposición equivalente aproximada de 5 mSv por año y un riesgo acumulado por la actividad laboral de 1 en 100.[57,58] El riesgo es acumulativo para el paciente y el médico; lo que significa que a mayor número de procedimientos realizados, aumentan también la dosis y los riesgos. Según estimaciones de riesgo actuales, si 100 individuos son expuestos a 100 mSv, 42 tendrán un cáncer espontáneo (independientemente de la exposición a la radiación) y 1 tendrá un cáncer inducido por la radiación (con una incertidumbre de 1 en 30 a 1 en 300). El riesgo es tres a cuatro veces mayor en niños y un 50% menor en poblaciones de más de 80 años, comparado con un grupo de pacientes de 50 años de edad, y es 38% mayor en mujeres que en hombres.[29,57]

En Brasil, los límites de dosis para el IOE están establecidos por la resolución ministerial 453.[16] Define que la dosis efectiva media anual no debe exceder los 20 mSv en cualquier período de 5 años consecutivos, no pudiendo exceder 50 mSv en ningún año. La dosis equivalente anual no debe exceder 500 mSv para extremidades y 150 mSv para el cristalino.

No se aplican límites de dosis a los pacientes, ya que el objetivo es el diagnóstico o el tratamiento. Se aplican los niveles de referencia, con los que se pueden comparar las dosis de radiación entre grupos, para verificar si los valores recomendados para determinadla práctica están siendo respetados. Si el resultado de las dosis es mayor, es necesaria la revisión del equipamiento y de la forma de trabajo; si se obtienen niveles más bajos, es necesaria la revisión de la calidad de las imágenes, que puede ser menor de lo deseado.

Recomendaciones

En general, hay que insistir en la educación y en la capacitación de los profesionales y de la sociedad. Es necesario que la enseñanza de la protección radiológica sea introducida ya en el nivel de grado en las facultades de Medicina. Los hospitales deberían suministrar cursos sistemáticos para la protección radiológica. Invertir en seguridad es invertir en salud.

Uno de los objetivos de la protección radiológica es evitar el uso innecesario de la radiación ionizante, justificando adecuadamente cada procedimiento (principio de justificación).[59] Este principio establece que la exposición

a la radiación debe producir un beneficio suficiente para compensar el daño que la radiación pueda causar.[6-13] Los procedimientos deben ser hechos con la mínima dosis de radiación.

Se debe mejorar la formación de los profesionales que actúan en cardiología intervencionista, en el área de protección radiológica[19-23]; además, los equipos emisores de radiación ionizante deben estar sometidos a programas de garantía de calidad que permitan reducir la exposición a las radiaciones ionizantes a niveles tan bajos como sea posible (principio ALARA, acrónimo del inglés *As Low As Reasonably Achievable),*[9-13] minimizando los riesgos para el paciente y el equipo médico.

El principio de la optimización preconiza un balance entre riesgo y beneficio. Se admiten potenciales riesgos de la radiación, siempre que haya una adecuada gestión de la dosis para todos los procedimientos de imagenología.[59-61]

Existen diversas publicaciones internacionales y algunas nacionales sobre las recomendaciones y metodologías para la administración de la dosis, la protección del paciente y del personal, y tutoriales en física de las radiaciones, las cuales son fundamentales para la evaluación de la seguridad y la administración de la dosis.[9-15,20-23,59-64] Todos los IOE en procedimientos que utilicen fluoroscopia deberían familiarizarse con esos documentos y con la literatura relevante del área.

En general, la adopción de prácticas que protegen al paciente también minimiza los riesgos del equipo médico. El médico operador es responsable por el procedimiento intervencionista y debe tener conciencia de los riesgos de las radiaciones ionizantes. Los cuadros 1 y 2, publicados por la IAEA en 2010,[62,63] presentan las recomendaciones sobre protección radiológica en el laboratorio de cardiología intervencionista.

Todos los individuos que participan en el procedimiento intervencionista deben disponer de los elementos de

CUADRO 1
Diez recomendaciones para la protección de pacientes en fluoroscopia[62]

1. Maximizar, en la medida de lo posible, la distancia entre el tubo de rayos X y el paciente
2. Minimizar la distancia entre el paciente y el intensificador de imagen
3. Minimizar el tiempo de fluoroscopia. Archivar los datos de tiempo de fluoroscopia para cada paciente
4. Usar fluoroscopia pulsada con la menor cantidad de pulsos posible para obtener imágenes con calidad aceptable
5. Evitar exponer la misma región de la piel en las diferentes proyecciones. Cambiar el punto de entrada del eje, girando el tubo en torno del paciente
6. Los pacientes con mayor espesor de tejido requieren aumento de la ESD
7. Las proyecciones oblicuas también aumentan la ESD. Note que el aumento de la ESD eleva la probabilidad de daño en la piel
8. Evitar el uso de la ampliación. Disminuyendo el campo visual para un factor 2, la dosis aumenta en un factor 4
9. Minimizar el número de cuadros y el número de series a un nivel clínicamente aceptable. Evitar usar el modo de adquisición si es posible usar la fluoroscopia
10. Usar colimación. Colimar el eje de rayos X en el área de interés
EDS: sigla del término en inglés *entrance surface dosis,* dosis en la superficie de entrada.

CUADRO 2
Diez recomendaciones para la protección del equipo de trabajo en fluoroscopia[63]

1. Use dispositivos de protección
2. Haga un uso correcto de los principios tiempo-distancia-blindaje: minimice el tiempo, maximice la distancia lo que sea posible clínicamente, y use el blindaje
3. Use los biombos de techo, los blindajes laterales y las cortinas de plomo debajo de la mesa o el faldón
4. Mantenga sus manos fuera del eje primario de rayos X en todo momento
5. Solamente del 1 al 5% de la radiación que incide en la entrada del paciente va para el detector de imagen
6. Mantenga el tubo de rayos X debajo de la mesa, y no sobre ella
7. Use su dosímetro personal
8. Actualice periódicamente sus conocimientos en protección radiológica
9. Exponga sus dudas sobre radioprotección a los especialistas en protección radiológica (especialistas en física médica)
10. Recuerde:
- El control de calidad de los equipamientos de fluoroscopia permite trabajar de forma segura
- Conozca su equipamiento. Utilizar las características del equipo de manera apropiada ayuda a reducir la dosis al paciente y al equipo
- Use bombas inyectoras de medio de contraste automáticas

protección personal. Existe un delantal especialmente diseñado para la práctica, pudiendo ser tubular y con cinturón para la distribución del peso, y un conjunto (chaqueta y falda), con una protección equivalente a 0,5 mmPb, que atenúa aproximadamente 95% de la radiación difundida para 70 kV. Para la protección del cristalino se necesitan gafas con protección equivalente a 0,25 mmPb y blindaje lateral. Adicionalmente, se debe incorporar el protector de tiroides, con una protección de 0,35 mmPb.[15]

Las prendas de protección personal requieren un cuidado diario, que tiene que ver con la forma adecuada de almacenamiento, limpieza e inspección periódica en busca de daños en los trajes de protección.

Otro sistema de blindaje para la protección del operador son los elementos externos de protección, como el faldón y el biombo de techo, que también son provistos por los fabricantes de los angiógrafos. El biombo móvil proporciona protección para el equipo médico que permanece dentro de la sala de procedimientos. Estos elementos ofrecen una significativa protección contra la radiación difundida, aunque haya operadores que los consideren de difícil manipulación. El faldón proporciona protección eficiente de la parte inferior del tronco del operador, en especial las gónadas, y su uso es habitual en todos los procedimientos intervencionistas.

El biombo de techo transparente ofrece una protección significativa para la parte superior del tronco del operador en especial la cabeza, la tiroides y el cristalino.[23] Al colocar el biombo de techo, es necesario considerar el origen de la radiación difundida provocada por el paciente y en consecuencia colocar la protección para atenuar esa radiación. Un biombo de techo de 1 mmPb y las gafas con una protección equivalente a 0,5 mmPb pueden llegar a disminuir la radiación difundida que alcanza el cristalino en un factor 0,015 y 0,03 respectivamente,[39] es decir, solamente 2 a 3% (98 a 97% de atenuación) de la radiación difundida sería transmitida al cristalino. Estos factores pueden variar de acuerdo con la dinámica del procedimiento y, principalmente, por la modificación de la calidad de la radiación dispersa.

Otros estudios muestran que las gafas con protección de 0,75 mmPb pueden atenuar entre 30 a 88% de la radiación difundida debido a la retrodifusión de la cabeza y al ángulo de incidencia de la radiación. La investigación de McVey et al.[64] confirmó que la retrodifusión provocada por la cabeza del operador es la principal limitación para la reducción de la dosis provista por las gafas de protección. Por eso es fuertemente recomiendo el uso del biombo de techo.

El uso adecuado de los elementos de protección radiológica puede reducir significativamente la exposición a la radiación del equipo de cardiología intervencionista evitando, por ejemplo, la opacidad del cristalino.

Por otro lado, la variabilidad en el poder de atenuación de los elementos de protección radiológica y el hecho de que la forma de realizar un determinado procedimiento sea operador-dependiente, hacen que las principales fuentes de protección sean la conciencia y el conocimiento que el operador tiene del riesgo radiológico – a menudo subestimado.

AGRADECIMIENTOS

A los doctores Carlos Ubeda, de la Universidad de Tarapacá de Chile, y Alejandro Nader, oficial técnico de protección contra las radiaciones en medicina de la *International Atomic Energy Agency,* por la contribución intelectual y técnica. El autor F.L. agradece al servicio de posgrado del Centro de Desarrollo de la Tecnología Nuclear (CDTN) y a la Comisión Nacional de Energía Nuclear (CNEN) por la beca de doctorado.

CONFLICTO DE INTERESES

No hay.

FUENTE DE FINANCIAMIENTO

No hay.

REFERENCIAS

1. National Council on Radiation Protection and Measurements. onizing radiation exposure of the population of the United States. Bethesda: NCPR; 2009. (NCRP Report n. 160).
2. United Nations Scientific Committee on Effects of Atomic Radiations. Source and effects of ionizing radiation. UNSCEAR 2008: report to the General Assembly with Scientific Annexes. New York: United Nations; 2011. v.2.
3. Food and Drug Administration. Important Information for Physicians and Other Health Care Professionals. Avoidance of serious x-ray induced skin injuries to patients during fluoroscopically guided procedures [Internet]. Rockville; 1994 [cited 2013 July 4]. Available from: http://www.fda.gov/downloads/Radiation-EmittingProducts/RadiationEmittingProductsand Procedures/MedicalImaging/MedicalX-Rays/ucm11 6677.pdf
4. Limacher MC, Douglas PS, Germano G, Laskey WK, Lindsay BD, McKetty MH, et al.; American College of Cardiology. ACC Expert Consensus Document. Radiation safety in the practice of cardiology. J Am Coll Cardiol. 1998;31(4):892-913.
5. European Commission. Council Directive 97/43EURATOM of 30 June 1 997. On health protection of individuals against the dangers of ionizing radiation in relation to medical exposure, and repealing Directive 84/466/Euratom [Internet], [cited 2013 July 4]. Available from: http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radioprotection/doc/legislation/9743_en.pdf
6. European Commission. Guidelines on education and training in radiation protection for medical exposures. Radiation Protection 116 [Internet]. Luxemburgo; 2000 [cited 2013 July 4]. Available from: http://ec.europa.eu/energy/nuclear/radiation_protection/doc/publication/116.pdf
7. Gov UK. Department of Health. Ionising radiation (Medical Exposures): regulations 2000 (ISMER) [Internet]. London; 2012 [cited 2013 July 2]. Available from: https://www.gov.uk/government/publications/the-ionising-radiation-medical-exposure-regulations-2000

8. Partridge J. Education in heart radiation in the cardiac catheter laboratory. Heart. 2005;91 (12):1615-20.
9. Organismo Internacional de Energia Atômica. Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: normas básicas internacionales de seguridad. Edición provisional. Requisitos de seguridad generales. Viena: OIEA; 2011.
10. International Commission on Radiological Protection. The 1990 Recommendations. ICRP Publication 60. Ann ICRP. 1991;21(1-3).
11. International Commission on Radiological Protection. The 2007 Recommendations. ICRP Publication 103. Ann ICRP. 2007;37(2-4).
12. International Commission on Radiological Protection. Radiological protection in medicine. ICRP Publication 105. Ann ICRP. 2007;37(6).
13. Chambers CE, Fetterly KA, Holzer R, Lin PJ, Blankenship JC, Baiter S, et al. Radiation safety program for the cardiac catheterization laboratory. Catheter Cardiovasc Interv. 2011; 77(4):546-56.
14. Chambers CE. Radiation dose: it is more than just "time". Catheter Cardiovasc Interv. 2011;78(1):143-4.
1 5. International Commission on Radiological Protection. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. ICRP Publication 85. Ann ICRP. 2000;30(2).
16. Brasil. Ministério da Saúde. Portaria n. 453, de 1 de junho de 1998. Dispões sobre as Diretrizes de Proteção Radiológica em Radiodiagnóstico Médico e Odontológico. Diário Oficial da União, Brasília, 2 jun. 1998.
17. Brasil. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 32 - Segurança e Saúde no Trabalho em Serviços de Saúde [Internet]. Brasília; 2011 [citado 2013 jun. 10]. Disponível em: http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C81 6A350AC88201 351 61 931 EE29A3/NR-32 (atualizada 2011).pdf
18. Vano E, Ubeda C, Miranda P, Leyton F, Durán A, Nader A. Radiation protection in pediatric interventional cardiology: an IAEA PILOT program in Latin America. Health Phys. 2011;101(3):233-7.
1 9. International Atomic Energy Agency. Cardiology Training Events. Regional training courses on radiation protection in cardiology organized under TC support [Internet], [cited 2013 July 2]. Available from: https://rpop.iaea.org/RPOP/RPoP/Content-es/AdditionalResources/Training/2_TrainingEvents/Cardiology.htm
20. Hirshfeld JW, Baiter S, Brinker JA, Kern MJ, Klein LW, Lindsay BD, et al. ACCF/AHA/HRS/SCAI clinical competence statement on physician knowledge to optimize patient safety and image quality in fluoroscopically guided invasive cardiovascular procedures: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association/American College of Physicians Task Force on Clinical Competence and Training. Circulation. 2005;111 (4):511-32.
21. Bashore TM, Bates ER, Berger PB, Clark DA, Cusma JT, Dehmer GJ, et al. American College of Cardiology/ Society for Cardiac Angiography and Interventions Clinical Expert Consensus Document on cardiac catheterization laboratory standards. A report of the American College of Cardiology Task Force on Clinical Expert Consensus Documents. J Am Coll Cardiol. 2001 ;37(8):21 70-214.
22. International Commission on Radiological Protection. Education and training in radiological protection for diagnostic and interventional procedures. ICRP Publication 113. Ann ICRP. 2009;39(5).
23. National Council on Radiation Protection and Measurements. Radiation dose management for fluoroscopically-guided interventional medical procedures. Bethesda; 2011. (NCRP Report, n. 168).
24. Wiesinger B, Stiitz A, Schmehl J, Claussen CD, Wiskirchen J. Comparison of digital flat-panel detector and conventional angiography machines: evaluation of stent detection rates, visibility scores, and dose-area products. AJR Am J Roentgenol. 2012;198(4):946-54.
25. Chida K, Inaba Y, Saito H, Ishibashi T, Takahashi S, Kohzuki M, et al. Radiation dose of interventional radiology system using a flat-panel detector. AJR Am J Roentgenol. 2009;193(6):1680-5.
26. Medeiros RF, Sarmento-Leite R, Cardoso CO, Quadros AS, Risso E, Ficher L, et al. Exposição à radiação ionizante na Sala de Hemodinâmica. Rev Bras Cardiol Invasiva. 2010;18(3):316-20.
27. Vargas FG, Silva BS, Cardoso CO, Leguisamo N, Moraes CAR, Moraes CV, et al. Impacto do peso corporal dos pacientes na exposição radiológica durante procedimentos cardiológicos ínvasivos. Rev Bras Cardiol Invasiva.2012;20(1):63-8.
28. International Atomic Energy Agency. Establishing guidance evels in X ray guided medical interventional procedures: a pilot study. Vienna; 2009. (Safety Reports Series, n. 59).
29. Picano E, Vano E. The radiation issue in cardiology: the time for action is now. Cardiovasc Ultrasound. 2011;9:35.
30. Cascón A. Riesgos asociados con las radiaciones ionizantes. Rev Argent Cardiol. 2009;77(2):123-8.
31. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation. UNSCEAR 2000: Report to the General Assembly with scientific annexes. New York: United Nations; 2000. v.1
32. National Council on Radiation Protection and Measurement. Evaluation of the linear-nonthreshold dose-response model for ionizing radiation. Bethesda; 2002. (NCRP Report, n. 136).
33. National Research Council. Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation: BEIR VII Phase 2. Washington: National Academies; 2006.
34. International Commission on Radiological Protection. Low-dose extrapolation of radiation-related cancer risk. ICRP Publication 99. Ann ICRP. 2005;35(4).
35. Koenig TR, Wolff D, Mettler FA, Wagner LK. Skin injuries from fluoroscopically guided procedures: part 1, characteristics of radiation injury. AJR Am J Roentgenol. 2001;177(1):3-11.
36. Koenig TR, Mettler FA, Wagner LK. 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(1):1 3-20.
37. Iyer PS. Acute radiation injury caused by faulty x-ray fluoroscopy during cardiac procedures. Health Phys. 1976;31(4):385-7.
38. International Atomic Energy Agency; European Commission; Pan American Health Organization; World Health Organization. Radiological protection of patients in diagnostic and interventional radiology, nuclear medicine and radiotherapy.
n: Proceedings of an International Conference Held in Malaga, Spain, 26-30 March 2001. Vienna: IAEA; 2001.
39. Vanó E, Gonzalez L, Fernandez JM, Haskal ZJ. Radiation exposure to the lens in interventional suites: caution is warranted. Radiology. 248(3):945-53.
40. Vanó E, Gonzalez L, Guibelalde E, Fernandez JM, Ten Jl. Radiation exposure to medical staff in interventional and cardiac radiology. Br J Radiol. 1998;71(849):954-60.
41. Chodick G, Bekiroglu N, Hauptmann M, Alexander BH, Freed-man DM, Doody MM, 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; 168(6):620-31.
42. Vano E, Kleiman NJ, Duran A, Romano-Miller M, Rehani MM. Radiation-associated lens opacities in catheterization personnel: results of a survey and direct assessments. J Vase Interv Radiol. 2013;24(2):197-204.

43. International Atomic Energy Agency. Radiation Protection of Pacients. IAEA Cataract study. AEA activity on Retrospective Evaluation of Lens Injuri and Dose (RELID) [Internet], [cited 2013 July 2]. Available from: https://rpop.iaea.org/rpop/rpop/content/news/relid-cataract-study.htm
44. Russo GL, Tedesco I, Russo M, Cioppa A, Andreassi MG, Picano E. Cellular adaptive response to chronic radiation exposure in interventional cardiologists. Eur Heart J. 2012;33(3):408-14.
45. Almeida Junior AT, Alonso TC, Nogueira MS, Silva TA. Dose evels in medical staff at hemodynamics services in Minas Gerais State, Brazikpreliminary results. Radiat Meas. 2008; 43(2):917-20.
46. Fetterly KA, Magnuson DJ, Tannahill GM, Hindal MD, Mathew V. Effective use of radiation shields to minimize operator dose during invasive cardiology procedures. JACC Cardiovasc Interv. 2011;4(10):1133-9.
47. International Commission on Radiological Protection. Statement on Tissue Reactions. Approved by the Commission on April 21, 2011 [Internet], [cited 2013 July 2]. Available from: http://www.icrp.org/docs/icrp%20statement%20on%20tissue%20reactions.pdf
48. International Atomic Energy Agency. Colección de normas de seguridad N° RS-G-1.5. Protección radiológica relacionada con la exposición médica a la radiación ionizante. Viena: IAEA: 2010.
49. Ubeda C, Vano E, Miranda P, Leyton F. Pilot program on patient dosimetry in pediatric interventional cardiology in Chile. Med Phys. 2012;39(5):2424-30.
50. Suzuki S, Furui S, Issiki T, Kozuma K, Koyama Y, Yamamoto H, et al. Patients skin dose during percutaneous intervention for chronic total occlusion. Catheter Cardiovasc Interv. 2008;71(2):160-4.
51. Panuccio G, Greenberg RK, Wunderle K, Mastracci TM, Ea-gleton MG, Davros W. Comparison of indirect radiation dose estimates with directly measured radiation dose for patients and operators during complex endovascular procedures. J Vase Surg. 2011;53(4):885-94.
52. Signorotto P, Del Vecchio A, Montorfano M, Maisano F, Giagnorio M, Bellanca R, et al. Dosimetric data and radiation risk analysis for new procedures in interventional cardiology. Radiat Prot Dosimetry. 2010;142(2-4):201-8.
53. Gerber TC, Carr JJ, Arai AE, Dixon RL, Ferrari VA, Gomes AS, 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(7):1056-65.
54. Mettler FA Jr, Huda W, Yoshizumi TT, Mahesh M. Effective doses in radiology and diagnostic nuclear medicine: a catalog. Radiology. 2008;248(1):254-63.
55. Azevedo EM, Gomes HFJ, Yordi LM, Moura MRS, Laguna A, Fischer LS, et al. Impacto das lesões complexas na exposição radiológica durante intervenção coronária percutânea. Rev Bra Cardiol Invasiva. 2013;21(1):49-53.
56. Mattos El, Cardoso CO, Moraes CV, Teixeira JVS, Azmus AD, Fischer LS, et al. Exposição radiológica em procedimentos coronários realizados pelas vias radial e femoral. Rev Bras Cardiol Invasiva. 2013;21(1):54-9.
57. Venneri L, Rossi F, Botto N, Andreassi MG, Salcone N, Emad A, et al. Cancer risk from professional exposure in staff working in cardiac catheterization laboratory: insights from the National Research Councils Biological Effects of Ionizing Radiation VII Report. Am Heart J. 2009;157(1):118-24.
58. International Atomic Energy Agency. Justification of Medical Exposure in Diagnostic Imaging. In: Proceedings of an International Workshop; Brussels, 2-4 Sept 2009 [Internet]. Vienna: IAEA; 2009 [cited 2013 July 2]. Available from: http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1 532_web.pdf
59. Baiter S, Moses J. Managing patient dose in interventional cardiology. Catheter Cardiovasc Interv. 2007;70(2):244-9.
60. Stecker MS, Baiter S, Towbin RB, Miller DL, Vano E, Bartal G, et al. Guidelines for patient radiation management. J Vase nter Radiol. 2009;20(7 Suppl:S263-73.
61. Canevaro L. Aspectos físicos e técnicos da radiologia inter-vencionista. Rev Bras Física Méd. 2009;3(1):101-1 5.
62. International Atomic Energy Agency. 10 Recomendaciones para protección de pacientes en fluoroscopía [Internet], [citado 2013 Jul. 2]. Disponible en: http://rpop.iaea.org/RPOP/RPoP/ Co ntent/Documents/Whitepapers/poster-patient-radiat ion-protection-es.pdf
63. International Atomic Energy Agency. 10 Recomendaciones para la protección del staff en fluoroscopía [Internet], [citado 2013 Jul. 2]. Disponible en: http://rpop.iaea.org/RPOP/RPoP/Content/Documents/Whitepapers/poster-staff-radiation-protection-es.pdf
64. McVey S, Sandison A, Sutton DG. An assessment of lead eyewear in interventional radiology. J Radiol Prot. 2013;33(3): 647-59.