

ARTÍCULO DE REVISIÓN

Protección radiológica en cardiología intervencionista



Ariel Durán*

Departamento de Cardiología, Hospital de Clínicas de la Facultad de Medicina de Montevideo-URUGUAY, Montevideo, Uruguay

Recibido el 21 de mayo de 2014; aceptado el 20 de mayo de 2015

PALABRAS CLAVE

Protección
radiológica;
Dosimetría;
Educación;
Entrenamiento;
Uruguay

Resumen La cardiología intervencionista ha logrado un progreso que hace que cada año se haga una mayor cantidad de procedimientos de complejidad progresiva con una muy buena tasa de éxito.

El problema es que ese progreso conlleva mayor dosis de radiación no solo para el paciente sino también para los trabajadores ocupacionalmente expuestos.

Existen métodos simples para minimizar la dosis recibida. Estos incluyen: minimizar el tiempo de radioscopia y la cantidad de imágenes adquiridas, utilizar las tecnologías disponibles de reducción de dosis para pacientes, usar adecuada geometría del equipo, colimar, evitar las zonas de radiación reflejada, utilizar todo el blindaje disponible, realizar controles de calidad del equipo de imagen y utilizar los dosímetros personales y conocer la dosis recibida.

La utilización eficaz de estos métodos requiere no solo educación y entrenamiento para todo el personal ocupacionalmente expuesto sino la disponibilidad y el uso de los elementos radioprotectores de la sala y del equipo.

La revisión regular del equipo y la investigación de las dosis recibidas por el personal acompañadas por los cambios necesarios en la manera en que los procedimientos se realizan asegura una mejor práctica de protección radiológica en la sala de intervencionismo cardiovascular.

© 2014 Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez. Publicado por Masson Doyma México S.A. Todos los derechos reservados.

* Rambla Mahatma Gandhi 105/502, Montevideo, Uruguay. CP: 11.300. Teléfono: +598 94454204; fax: +598 24878666.
Correo electrónico: dr.arielduran@gmail.com

KEYWORDS

Radiation protection;
 Dosimetry;
 Education;
 Training;
 Uruguay

Radiation protection in interventional cardiology**Abstract**

Interventional: cardiology progress makes each year a greater number of procedures and increasing complexity with a very good success rate.

The problem is that this progress brings greater dose of radiation not only for the patient but to occupationally exposed workers as well.

Simple methods for reducing or minimizing occupational radiation dose include: minimizing fluoroscopy time and the number of acquired images; using available patient dose reduction technologies; using good imaging-chain geometry; collimating; avoiding high-scatter areas; using protective shielding; using imaging equipment whose performance is controlled through a quality assurance programme; and wearing personal dosimeters so that you know your dose.

Effective use of these methods requires both appropriate education and training in radiation protection for all interventional cardiology personnel, and the availability and use of appropriate protective tools and equipment.

Regular review and investigation of personnel monitoring results, accompanied as appropriate by changes in how procedures are performed and equipment used, will ensure continual improvement in the practice of radiation protection in the interventional suite.

© 2014 Instituto Nacional de Cardiología Ignacio Chávez. Published by Masson Doyma México S.A. All rights reserved.

Introducción

El desarrollo de la cardiología intervencionista ha hecho que el número de procedimientos de intervención coronaria percutánea y otros métodos de intervención no coronaria aumenten año tras año. A modo de ejemplo, en EE. UU. se pasó de la cifra de 2.45 millones de cateterismos cardíacos en el año 1993 a 4.6 millones en 2006. En Europa se estima que actualmente la cantidad de procedimientos ronda la cifra de 5,000 por millón de habitantes/año (siendo 2,300 de carácter terapéutico)¹.

La radiación posee riesgo carcinogénico comprobado. Se estima en un 5% la posibilidad de sufrir cáncer después de una exposición médica importante. Se estima que en EE. UU. se presentarán 29,000 nuevos casos de cáncer vinculados a las tomografías computarizadas²⁻⁶.

Según cifras de la Comisión científica de las Naciones Unidas sobre los efectos de la radiación atómica (UNSCEAR) las tomografías computarizadas constituyen el 5% de todos los exámenes radiológicos pero aportan el 35% de la dosis colectiva recibida mientras que los procedimientos de intervención coronaria percutánea son el 1% de todos los procedimientos radiológicos, pero conllevan el 10% de la dosis recibida⁷.

Se observa con preocupación el aumento progresivo de la dosis colectiva recibida con fines médicos: en EE. UU. en el año 1987 se estimaba que la dosis vinculada a procedimientos radiológicos era la quinta parte que la recibida como radiación natural mientras que en el año 2006 es igual y esa cifra aumenta promedialmente un 10% por año⁸.

En EE. UU. la contribución sobre la dosis recibida a partir de procedimientos cardiológicos y radiológicos en el mundo es de 0.43 milisieverts (mSv) anuales lo que equivale a 22 radiografías de tórax por persona y por año⁹.

El tema es que los rayos X son esenciales para todos los procedimientos intervencionistas y estos se han ido

perfeccionado de manera muy importante en las últimas décadas, pero curiosamente ese perfeccionamiento no ha sido desarrollado en el campo de la radioprotección. Es decir, cada vez realizamos procedimientos más complejos tales como los implantes percutáneos de válvulas cardíacas, técnicas en cardiología estructural, denervación renal, nuevos métodos en intervencionismo pediátrico, electrofisiológico o implante de dispositivos etc. Estos métodos son cada vez más efectivos, más predecibles y más accesibles. Como resultado se hacen procedimientos cada vez más prolongados y como consecuencia, con mayor radiación¹.

De manera específica en el campo de la cardiopatía isquémica, el progresivo avance del acceso radial para la intervención coronaria percutánea expone a los operadores a mayor dosis que la recibida con el acceso femoral¹⁰.

Todos estos hechos hacen que los cardiólogos intervencionistas sean los profesionales que reciben más radiación dentro de las subespecialidades intervencionistas^{1,11,12}.

Otro problema es que la cantidad de profesionales ocupacionalmente expuestos a la radiación aumenta cada día más: UNSCEAR relata que en el año 2008 existían 22.8 millones de involucrados de los cuales 7.35 millones son médicos y se trata de un fenómeno en ascenso⁷.

Sin lugar a dudas los rayos X han constituido uno de los avances más importantes de la historia de la medicina pero nos enfrentan a un desafío sobre cómo utilizarlos de manera masiva en beneficio del paciente pero a su vez tratando de llevar el riesgo al mínimo para el paciente y para nosotros mismos. No es nuestra intención que se le tenga «miedo» a los rayos X sino que se le tenga miedo al desconocimiento de sus efectos nocivos.

Por todo lo expuesto queda claro que sobran los motivos para entender este tema y motivan a diseminar en la manera de lo posible los probables efectos perjudiciales de la aplicación médica de los rayos X y a entrenar a los trabajadores ocupacionalmente expuestos (TOE) para evitarlos en beneficio de los pacientes y el suyo propio.

Siempre debemos tener presente el criterio ALARA: la dosis debe ser lo más baja razonablemente posible («as low as reasonably achievable»). Queda claro, en nuestra opinión, la necesidad de entrenamiento y educación permanente en este tema.

Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes

La radiación es la energía liberada por parte de un cuerpo. Esta se puede propagar en forma de ondas electromagnéticas (rayos ultravioletas, rayos gamma, rayos X, etc.). Se define una radiación como «ionizante» cuando tiene la posibilidad de impactar y desplazar un electrón de su órbita y «no ionizante» cuando no puede lograrlo. La posibilidad o no de que esto suceda depende exclusivamente de la cantidad de energía que posea esa radiación¹.

Para obtener la imagen radiológica, los fotones de los rayos X interactúan con los tejidos y son absorbidos o dispersados mientras que otros atraviesan completamente al paciente. La imagen se produce gracias a que el haz de rayos X interactúa de manera diferente según cada tipo de tejido. El haz entrante al paciente es de una intensidad del orden de 100 veces mayor que el haz saliente por lo que la imagen se crea con el 1% remanente. Por lo tanto, los tejidos a la entrada del haz (generalmente el dorso del paciente) reciben una dosis mucho más alta, con el subsiguiente mayor riesgo de daño.

La estrategia para la protección radiológica está determinada por el hecho de que las radiolesiones directas como, por ejemplo, las lesiones de piel tienen umbral y los efectos cancerígenos no lo tienen. Es decir, las radiolesiones directas se pueden evitar controlando la dosis de radiación que se recibe de manera que no sobrepase ninguno de los umbrales. En cambio los efectos cancerígenos, al no tener umbral, no se pueden eliminar completamente, pero la probabilidad se puede reducir tanto que el riesgo sea pequeño y en cualquier caso aceptable en comparación con los riesgos de cualquier otra actividad¹³.

El objetivo de la protección radiológica es evitar los efectos deterministas (lesiones de piel, cataratas, etc.) y reducir en lo posible la probabilidad de efectos estocásticos (cancerígenos). Este objetivo se concreta en 3 principios:

1. Justificación: las exposiciones producen un beneficio neto frente a los riesgos que conllevan.
2. Limitación de dosis: tener certeza de que las exposiciones a los profesionales y al público no sobrepasan valores establecidos, por encima de los cuales se encuentran los umbrales de dosis para radiolesiones locales o el riesgo de inducción de cáncer llegaría a ser inaceptable.
3. Optimización: trabajar de manera que las dosis se mantengan tan bajas como sea razonablemente posible haciendo que el beneficio neto sea el mayor posible. Optimizar en cardiología no es otra cosa que dar la dosis que se necesita para la intervención, pero no más.

Estos 3 principios se aplican tanto a los trabajadores como al público. A los pacientes se les aplican también los principios de justificación y optimización, pero no los límites de dosis, ya que una vez justificada la exposición

y optimizada la protección, el riesgo derivado de las dosis de radiación que pueda recibir el paciente siempre se verá compensado con creces por el beneficio médico. En otras palabras, que la imposición de límites de dosis a los pacientes iría en detrimento de la eficacia del procedimiento¹³.

Efectos deterministas y estocásticos

Los rayos X pueden impactar directamente sobre el núcleo celular, induciendo mutaciones sobre el ADN mediante un mecanismo directo de ionización y excitación del mismo o por efecto indirecto sobre el núcleo por la liberación de radicales libres. A partir de aquí existen 3 posibilidades:

- Que esa mutación se repare sin secuelas.
 - Que la célula se muera (efecto determinista que puede dar lugar a radiolesión).
 - Que la célula sobreviva mutada por una reparación deficiente (efecto estocástico, potencialmente cancerígeno o enfermedad hereditaria).
- Por lo tanto, los rayos X producen 2 tipos de efectos deletéreos:
- Los deterministas o radiolesiones (tales como eritema cutáneo, depilación, úlcera de piel, cataratas o esterilidad).
 - Los estocásticos o probabilistas (principalmente cancerígenos o hereditarios).

Los efectos deterministas tienen un umbral de dosis de radiación, por debajo del cual no tienen lugar y por encima del cual su gravedad aumenta con la dosis de radiación; por ejemplo, las radiolesiones de piel o del cristalino. Para cada tipo de radiolesión existe un umbral de dosis diferente. Las células más radiosensibles en la piel son aquellas que se encuentran en el sustrato basal de la epidermis¹³.

Los efectos estocásticos o probabilistas son aquellos cuya probabilidad de ocurrir aumenta con la dosis pero no la gravedad del efecto, por ejemplo la inducción de cáncer, efectos genéticos o algunos de los efectos sobre el embrión/feto descendientes de padre o madre que han trabajado o recibido rayos X. Estos últimos efectos son mucho menos frecuentes que el cáncer. A efectos prácticos de protección radiológica, se asume que no existe un umbral para los efectos estocásticos. Los efectos pueden ocurrir a dosis bajas pero reiteradas y hasta 40 años más tarde. Las células son más radiosensibles cuanto mayor es la tasa mitótica o cuánto más indiferenciadas son. Una vez que la célula es dañada esta es potencialmente carcinogénica pero existen mecanismos biológicos de reparación celular. Del equilibrio entre ambos mecanismos dependerá la aparición o no de un tumor¹³.

La relación directa entre cáncer y radiación surge de los estudios evolutivos sobre las 87,000 personas que sobrevivieron a las explosiones de Hiroshima y Nagasaki y sobre los 407,000 trabajadores de plantas nucleares alrededor del mundo, aceptándose que una dosis efectiva mayor a 100 mSv conlleva un riesgo significativo de cáncer. La Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) promueve el concepto de que no hay una dosis segura. Cuanto mayor es la dosis mayor es el riesgo para cualquier efecto. El riesgo

siempre es mayor en mujeres que en hombres y mayor en niños que en adultos¹.

A su vez, hay un factor desorientador: un cáncer radioinducido es clínicamente indistinguible de un cáncer espontáneo o debido a otros factores de riesgo¹.

Si un trabajador o un paciente recibe 100 mSv lo que equivale a 5,000 radiografías de tórax, el 1% de ellos tendrá un cáncer radioinducido con cierto margen de inseguridad por lo que se puede estimar entre el 0,3-3% siendo que la frecuencia de cáncer espontáneo en un adulto es mucho mayor¹.

Existe una variabilidad interindividual marcada con respecto a la sensibilidad del cáncer radioinducido lo que se puede prever por ciertos cambios cromosómicos por lo que en el futuro se pueden acentuar los cuidados en personas que posean tales cambios¹.

Nuevos dilemas: evaluación sobre cáncer de cerebro

Otro problema son los recientes reportes sobre cáncer de cerebro y de regiones cercanas en cardiólogos intervencionistas. El concepto de que el cerebro no es radiosensible por su naturaleza no mitótica ha sido desafiado. Lo mismo sucede con las opacidades del cristalino. Los cardiólogos intervencionistas tienen más cambios en el ADN que los profesionales no expuestos. Se estima que el cerebro recibe entre 10 y 20 veces más radiación que el cuerpo por debajo del delantal. La dosis anual que recibe el cerebro se encuentra entre 20 y 30 mSv, fundamentalmente si no se usa la mampara plomada suspendida del techo. Se estima entonces que un cardiólogo intervencionista medianamente ocupado durante 25 años de trabajo recibe entre 1 y 3 Sv¹⁴⁻¹⁹.

Las radiaciones ionizantes son causa documentada de cáncer de cerebro. El lado izquierdo del cerebro está mucho más expuesto que el derecho porque de ese lado se encuentra el tubo emisor de rayos X. Recientemente se publicó un registro con 31 casos de cáncer de cerebro siendo 17 del tipo glioblastoma heteromorfo, 5 meningiomas, 2 astrocitomas y 7 de otros tipos. Se destaca que el 86% son del lado izquierdo lo que con una significación estadística con test de Fisher arrojó una $p < 0.01$ ^{14,20}.

Por otro lado, se han reportado registros sobre la mayor prevalencia de opacidades del cristalino en cardiólogos intervencionistas y en personal de enfermería y técnicos que trabajan expuestos a rayos X. Se observa que la utilización de lentes plomados disminuye pero no anula esta enfermedad. Se hace imperioso entonces la necesidad de profundizar los cuidados y acentuar el entrenamiento en la protección radiológica de este aspecto^{15,16}.

Medidas de la exposición ocupacional

El objetivo de la protección radiológica (PR) es prevenir los efectos determinísticos que ocurren en órganos y tejidos y limitar la aparición de efectos estocásticos (fundamentalmente cáncer) hasta un nivel que sea considerado aceptable. Para este fin se ponen los límites de dosis y los organismos reguladores requieren la implementación de los principios de optimización y PR y como resultado se espera que las dosis ocupacionales sean considerablemente

menores que los límites establecidos. Por lo tanto, los TOE a radiaciones ionizantes en una sala de intervencionismo necesitan saber qué dosis están recibiendo. Esta es la verdadera prueba para saber si la práctica de la PR se está cumpliendo satisfactoriamente o si se necesitan mejoras. Las dosis ocupacionales de interés son aquellas dirigidas a órganos o tejidos particulares, específicamente dosis equivalente en piel, cristalino, manos y pies así como la dosis a cuerpo entero o dosis efectiva.

Dosimetría ocupacional en el laboratorio de hemodinamia

Uso del dosímetro

Todos los TOE deben ser monitorizados para determinar su nivel de exposición. Ello permite detectar malos hábitos de trabajo que puedan redundar en dosis demasiado elevadas que puedan ser reducidas con ciertos consejos prácticos. Se aconseja medir mensualmente las dosis ocupacionales. En algunas jurisdicciones esta supervisión mensual es obligatoria⁷.

La ICRP recomienda que los operadores utilicen 2 dosímetros: uno sobre el delantal a la altura de la glándula tiroides y otro por debajo del mismo a la altura del tórax o del abdomen. Una sugerencia similar realiza la OIEA. Se sugiere también en algunos casos como en los procedimientos de EEF la dosimetría de la mano izquierda para los primeros operadores. Los requerimientos y recomendaciones sobre el número y localización de los dosímetros varían de país a país¹².

Para TOE embarazadas que han declarado su embarazo, la dosis fetal puede ser estimada mediante un dosímetro adicional en el abdomen por debajo del delantal. La dosis medida sobreestima en general la dosis recibida por el feto ya que no tiene en cuenta la atenuación producida por los tejidos de la madre. Este dosímetro debería ser evaluado mensualmente. Los dosímetros electrónicos pueden ser usados para obtener una rápida estimación de la dosis en estos casos. En aquellos centros que acostumbran a utilizar 2 dosímetros, a las trabajadoras que pueden llegar a quedar embarazadas se les recomienda que el dosímetro por debajo del delantal lo usen a la altura de la cintura. Los datos de este dosímetro permiten una estimación de la dosis fetal desde la concepción hasta la declaración del embarazo¹².

Límites de dosis

Los límites de dosis para exposición ocupacional son expresados como dosis equivalente para efectos determinísticos para determinados tejidos u órganos y como dosis efectiva para efectos estocásticos para todo el cuerpo^{7,12}.

Para las mujeres embarazadas existen recomendaciones adicionales. Para las mujeres que pueden estar embarazadas, la ICRP recomienda que los criterios de protección al feto sean similares a los de los miembros del público. Esto no debe impedir a una médica intervencionista embarazada que realice procedimientos en la sala si sigue correctamente las normas de PR^{7,12}.

Evaluación de la dosimetría personal

Los cardiólogos intervencionistas están inevitablemente expuestos a radiación durante la realización de sus tareas. Sin embargo, un cardiólogo intervencionista muy ocupado pero que toma todas las medidas adecuadas en PR es raro que sobrepase una dosis efectiva de 10 mSv/año y lo más seguro es que esté en el rango de 1-4 mSv/año.

La sección de seguridad radiológica o de física médica de cada hospital debe revisar las dosis personales de sus TOE de forma regular. Esto permite verificar que las dosis recibidas no excedan los límites así como asegurar que las dosis recibidas se encuentren en concordancia con las esperadas en la sección y tipo de trabajo de cada TOE. También permite comparar la dosis actual con las dosis pasadas de cada TOE de manera individual y con las de otros TOE con la misma función en el mismo o en otros hospitales^{7,12}.

La investigación de las dosis elevadas puede resultar en cambios en las prácticas que permitan mejorar no solo la seguridad de los médicos sino también la de los pacientes y el resto del personal. Cada hospital debe investigar los niveles dosimétricos individuales sobre la base de las dosis que cabría esperar para cada TOE. Se considera apropiada una investigación cuando se sobrepasa el nivel de 2 mSv/mes en el dosímetro exterior a nivel del protector de tiroides^{7,12}.

La Organización Mundial de la Salud recomendaba previamente investigar particularmente a aquel TOE que exceda una dosis mensual de 0.5 mSv para E, 5 mSv para dosis en cristalino o de 15 mSv para manos o extremidades pudiendo ser estos valores promediados. Las investigaciones sobre límites de dosis en cristalino necesitan ser revisadas a la luz de los nuevos límites. Se sugiere un nivel de investigación de 1 mSv/mes para cristalino medido por un dosímetro colocado del lado externo del protector de tiroides. Es importante recordar que los niveles de investigación no son límites de dosis sino gatillos que disparan la práctica de mejoría de la PR. Las dosis ocupacionales inesperadamente bajas también deben ser investigadas ya que pueden significar un mal uso o incluso un desuso de los dosímetros^{7,12}.

En todos estos casos, el encargado de la sección de seguridad radiológica del hospital, el físico médico del mismo, o en su defecto la autoridad reguladora nacional, debería tomar contacto personal con el TOE para determinar la causa de esa dosis inusual y realizar sugerencias sobre cómo mantenerse en niveles de dosis que pudieran ser razonablemente lo más bajos posibles (criterio ALARA).

La reciente disminución del límite de dosis a cristalino de parte de la ICRP puede disparar investigaciones sobre exposición ocupacional con la consiguiente modificación de la práctica en las salas de intervencionismo¹².

Papel de la optimización radiológica en la optimización de los procedimientos cardiovasculares

Herramientas radioprotectoras en el laboratorio de hemodinamia y su eficacia

Las 3 reglas de oro de la protección de los profesionales son: reducir el tiempo o la «cantidad de radiación», aumentar la distancia y poner blindaje.

1. Reducir el tiempo y/o la cantidad de radiación se logra utilizando moderadamente la fluoroscopia, disminuyendo las escenas con dosis altas, utilizando fluoroscopia pulsada, moderando el número de filmaciones y el número de imágenes por escena, utilizando los filtros, la colimación, etc.
2. Aumentar la distancia y «dar un paso atrás» cuando la intervención no requiera mantenerse totalmente cercanos al paciente, fundamentalmente durante la filmación.
3. En cuanto al blindaje, está suficientemente comprobada la utilidad de la protección no solo de los delantales plomados (la dosis es solo del 5% de la que recibiríamos si no los usáramos) sino también de los lentes y otros aditamentos como los protectores de tiroides, las «hombreras» o las «pantorrilleras», pero además las mamparas o vidrios plomados que deben colocarse entre el paciente y el operador así como las barreras o «polleras plomadas» entre la fuente y el operador deben considerarse como elementos imprescindibles para la práctica diaria. Los guantes plomados (que permitan mantener el tacto suficiente) solo consiguen atenuar la radiación entre un 40-50%, siendo además de elevado costo y suponen la disminución de la habilidad y sensibilidad de las manos. Su desecho debe ser controlado para evitar la contaminación del medio ambiente. En virtud de los recientes reportes sobre la mayor incidencia de cáncer de cerebro se han diseñado protectores para la cabeza pero tienen en el inconveniente de su incomodidad y de su peso lo que podría potencialmente aumentar la probabilidad de lesiones cervicales. Por otro lado, aún no está demostrada su eficacia²¹.

Es preciso tener siempre en cuenta que la fuente de mayor radiación dispersa es el propio paciente y no el haz directo de rayos X. A mayor espesor de paciente y tamaño del haz la radiación dispersada o «reflejada» por el mismo se incrementa, y esta es la que afecta a los profesionales expuestos (cuando se duplica el espesor del tórax del paciente se puede multiplicar la radiación dispersa por 5).

La intensidad de la radiación procedente de una fuente puntual decrece con el inverso del cuadrado de la distancia a medida de la fuente (ley del inverso del cuadrado de la distancia o también llamada de «un paso atrás»). Aunque la zona irradiada del paciente no es un «punto» sino un volumen relativamente grande, si el operador se aparta un poco del paciente se produce una reducción drástica de dosis, tal como se ejemplifica en el siguiente mapa de isodosis dentro de una sala de cateterismos: obsérvese en la [figura 1](#) que en un alejamiento de la primera a la segunda isodosis, o a la tercera, la dosis se reduce drásticamente (de 8 a 4 o a 2 unidades relativas).

Efecto del riesgo de la radiación de los diferentes protocolos clínicos y diferentes grados de complejidad de los procedimientos

Acceso femoral vs. radial

La comparación de dosis recibida por el operador y los pacientes según el acceso vascular seleccionado ha sido objeto de numerosas publicaciones recientes. Algunas de

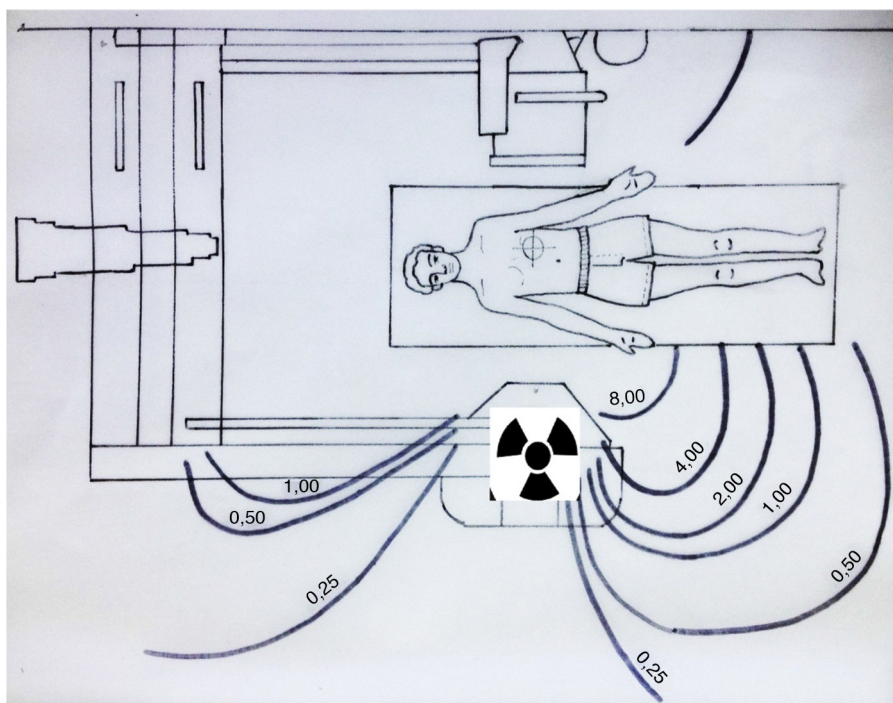


Figura 1 Mapa de isodosis que explica el comportamiento de la radiación siguiendo la ley del «cuadrado de la distancia», es decir, si el operador duplica la distancia a la fuente, la dosis que recibe es la cuarta parte.

ellas arrojan resultado de mayor dosis por vía radial, otras por vía femoral y otras sin diferencias significativas. Un metaanálisis reciente con más de 14,000 pacientes afirma que se observa una significativa mayor dosis cuando el acceso seleccionado para la PCI es la vía radial. Hay que aclarar que este estudio incluye estudios aleatorizados y observacionales. Este hecho es preocupante dado el aumento sostenido de la selección de esta vía en muchos países. Este aumento creemos va a continuar dadas las ventajas que en otro aspecto posee este acceso vascular¹⁰.

Otro aspecto es la comparación entre la vía de acceso radial derecha vs. izquierda. También en este punto la información es controvertida con publicaciones que arrojan menor dosis con la vía izquierda debido a menor tortuosidad subclavia fundamentalmente en pacientes mayores de 70 años y otros estudios que no muestran diferencias significativas. Habrá que esperar estudios con mayor número de pacientes para tener información más definitiva^{22,23}.

No hay, por el momento, información suficiente en relación con la vía de acceso cubital o ulnar con respecto a su dosis comparándola con otros accesos vasculares.

Otro aspecto es el de la protección abdominal con plomo. Hay trabajos que muestran disminución de dosis al primer operador cuando se cubre el abdomen del paciente durante todo el procedimiento bajo el marco teórico de que disminuye la radiación dispersa. Sin embargo hay otros trabajos que no muestran esa eficacia²⁴⁻²⁶.

Niveles de complejidad de diferentes procedimientos y riesgo de la radiación

El avance tecnológico y la experiencia acumulada sumada a los buenos resultados ha hecho que la cantidad de proce-

dimientos cada vez más complejos avance mundialmente. Técnicas como los implantes percutáneos de válvulas cardíacas, reparación de defectos cardíacos estructurales, denervación renal, nuevas técnicas de intervencionismo pediátrico, implante de dispositivos y otros métodos que no podemos imaginar aún se sitúan o se situarán en el escenario cardiológico intervencionista con más frecuencia. Este hecho significa inexorablemente que se trate de procedimientos más prolongados y como consecuencia con mayor dosis de radiación para el paciente y para el/los operadores involucrados. Por lo tanto, deben tomarse precauciones y utilizar todas las herramientas radioprotectoras posibles, la mejor de las cuales es el entrenamiento y conocer la mejor práctica clínica posible para disminuir las dosis.

Recomendaciones para los pacientes

Desde el punto de vista práctico dividiremos las recomendaciones para el paciente y para el personal ocupacionalmente expuesto pero no debemos olvidar una regla básica en la protección radiológica: todo lo que es beneficioso sobre disminución de la dosis para al paciente nos beneficia a nosotros como profesionales. Por lo tanto es una regla «ganar-ganar» y es por ello que algunas recomendaciones se reiterarán. Sugerimos las siguientes recomendaciones para disminuir la dosis al paciente:

1. Trabajar con la mesa en la posición lo más alta posible para aumentar la distancia entre el paciente (generalmente su dorso) y la fuente de rayos X.
2. Evitar al máximo las proyecciones oblicuas o axiales extremas porque aumentan considerablemente la dosis en piel.

3. No trabajar en una sola proyección. Cuanto más roteamos el arco, la zona de piel sobre la que incide el haz de rayos X es más amplia y se acumula menos la radiación en una misma zona de la piel. Esta consideración es tanto más importante cuanto más se prolongue la intervención y más radiación haya que utilizar. Esta medida es más efectiva si al mismo tiempo se colima el haz tanto como lo permita la zona a visualizar, como se explica en el punto siguiente.
4. Usar siempre la colimación ya que cuanto menor es la zona de incidencia menor es el volumen de tejido irradiado y la probabilidad de efecto estocástico es menor. La colimación evitará además el solapamiento de irradiación en la piel en proyecciones con angulaciones próximas. Se recomiendan los equipos con «colimación virtual» que son los que permiten su aplicación así como la de los filtros, sin necesidad de activar la fluoroscopia.
5. El mismo concepto es válido para los filtros en cuña, generalmente hechos en cobre u otros metales, que pueden disminuir la dosis en la piel hasta un 70% y mejorar sustancialmente la calidad de las imágenes.
6. En niños sometidos a procedimientos invasivos, se deben extremar los criterios de protección radiológica. Se sugiere retirar la «rejilla antidifusora».
7. Las mujeres embarazadas deben ser sometidas a procedimientos invasivos solo en casos plenamente justificados. Cuando ese sea el caso hay que envolver su abdomen con un delantal plomado no importando la etapa de la gestación. De todas maneras aclaramos que cuanto más avanzado el embarazo menor es la posibilidad de radiolesiones en el feto.
8. Filmar lo menos posibles porque la dosis en piel aumenta hasta por un factor x 10 dependiendo del equipo. Documente lo estrictamente necesario.
9. Posibilidad de realizar en etapas procedimientos complejos o muy largos si es clínicamente factible.
10. Realizar seguimiento alejado de pacientes que recibieron dosis elevadas para observar su espalda o si se trata de pacientes «sensibles» como por ejemplo los pacientes con lupus cutáneo. En estos últimos se puede colocar un dosímetro en el procedimiento y dejar documentada la dosis en la historia clínica.

Recomendaciones para el personal ocupacionalmente expuesto

1. Trabajar en colaboración con otros profesionales, tales como el físico médico, expertos en protección radiológica en aplicaciones médicas y cumpliendo las condiciones establecidas por la autoridad reguladora de radiaciones ionizantes de su país.
2. Usar dosímetros personales, preferentemente 2: uno sobre el delantal plomado y otro por debajo. Observar sus dosis mensuales y en caso de duda consultar con el responsable de la protección radiológica de su hospital. La dosimetría electrónica adicional puede ayudar a optimizar los procedimientos.
3. Usar siempre delantales plomados, de preferencia de 2 piezas y cruzados al frente (para que en la parte frontal la protección sea equivalente a 0.5 mm de Pb), lo que permite que el peso del mismo se distribuya el 70%

en la cadera y solo el 30% en los hombros. Si su personal usa delantal frontal de una sola pieza cerciñese de que nunca le den la espalda al tubo (práctica muy frecuente). No olvidar usar lentes plomados (equivalentes a 0.5 mm de Pb), protector de tiroides y de ser posible, «hombreira» izquierda y «pantorrilleras».

4. Fomentar el uso de equipos que incorporen elementos de disminución de dosis a los pacientes (fluoroscopia pulsada, filtros de cobre o similar en el haz, colimación virtual, etc.). La tecnología digital de panel plano posee importantes beneficios sobre disminución de dosis si se siguen correctamente las indicaciones.
5. Trabajar con la mesa lo más alta posible y usar el intensificador de imágenes o panel digital plano lo más cercano posible al tórax del paciente. Evitar el uso de proyecciones oblicuas extremas lo más posible.
6. Nunca colocar sus manos en el haz de rayos X.
7. Siempre colimar y colocar los filtros en cuña, trabajar con fluoroscopia pulsada y filmar el mínimo posible. Use imágenes congeladas como referencia o «filmación de radioscopia».
8. Trabajar con vidrio protector y colocar la pollera plomada entre el médico y el tubo emisor de rayos X. Si dispone de dispositivos especiales de protección radiológica para acceso radial utilícelos.
9. Acostumbrarse a registrar la dosis recibida por el paciente en el informe del procedimiento. Los equipos modernos la brindan automáticamente.
10. Dar «un paso atrás» en el momento de la filmación.

Conclusiones

Los objetivos de la protección radiológica son evitar las radiolesiones y reducir los riesgos de inducción de cáncer a niveles aceptablemente bajos. Para alcanzar estos objetivos, se cuenta con 3 principios: justificación, optimización y límites de dosis. Estos principios se aplican a los profesionales y al público, pero los límites de dosis no son aplicables a los pacientes, para quienes basta con que la intervención esté justificada y la protección se haya optimizado²⁷.

Hay una serie de medidas de protección que reducen las dosis de pacientes y de profesionales, pero a grandes rasgos, la mayoría de las medidas para proteger a los pacientes redundan en protección a los profesionales²⁷.

El conocimiento de cómo protegerse y proteger a los pacientes es crucial. Por ello, la formación continuada y el intercambio de información son la herramienta fundamental para los cardiólogos. Existe un Plan de Acción Internacional y una página Web del OIEA que facilita material didáctico e intercambio de información en forma gratuita así como recomendaciones publicadas en revistas de la especialidad^{12,28}.

Financiación

No se recibió patrocinio de ningún tipo para llevar a cabo este artículo.

Conflicto de intereses

El autor declara no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

1. Picano E, Andreassi MG, Rehani M, et al. Radiation protection. En: Eeckhout E, Serruys PW, Wijns W, et al., editores. Percutaneous interventional cardiovascular medicine. The PCR-EAPCI textbook. Paris: Europa Edition; 2013.
2. BEIR VII health risks from exposure to low levels of ionizing radiation, phase 2. Disponible en: http://dels-old.nas.edu/dels/rpt_briefs/beir_vii_final.pdf
3. White paper: Initiative to reduce unnecessary radiation exposure from medical imaging. Food and Drug Administration. Feb. 9, 2010. Disponible en: <http://www.fda.gov/Radiation-EmittingProducts/RadiationSafety/RadiationDoseReduction/ucm199994.htm>
4. Berrington de González A, Darby S. Risk of cancer from diagnostic X-rays: Estimates for the UK and 14 other countries. *Lancet*. 2004;363:345–51.
5. Picano E. Risk of cancer from diagnostic X-rays. *Lancet*. 2004;363:1909–10.
6. Berrington de González A, Mahesh M, Kim KP, et al. Projected cancer risks from computed tomographic scans performed in the United States in 2007. *Arch Intern Med*. 2009;169:2071–7.
7. UNSCEAR 2008 Report Sources and effects of ionizing radiation. Volume I. Annex A; 2008. Disponible en: http://www.unscear.org/docs/reports/2008/09-86753_Report_2008_Annex.A.pdf y Annex B http://www.unscear.org/docs/reports/2008/09-86753_Report_2008_Annex.B.pdf
8. Picano E. Sustainability of medical imaging. *BMJ*. 2004;328:578–80.
9. Mettler FA Jr, Bhargavan M, Faulkner K, et al. Radiologic and nuclear medicine studies in the United States and worldwide: frequency, radiation dose, and comparison with other radiation sources-1950-2007. *Radiology*. 2009;253:520–31.
10. Park E, Adhir BS, Shroff AR, et al. A review of radiation exposures associated with radial cardiac catheterization. *Eurointervention*. 2013;9:745–53.
11. Venneri L, Rossi F, Botto N, et al. Cancer risk from professional exposure in staff working in cardiac catheterization laboratory: Insights from de National Research Council's Biological Effects of Ionizing Radiation VII Report. *Am Heart J*. 2009;157:118–24.
12. OIEA. Disponible en: <http://rpop.iaea.org>
13. Duran A, Vano E, Ortiz Lopez P, et al. Protección radiológica en cardiología intervencionista. En: Sousa A, Abizaid A, Martínez Ríos M, et al., editores. Intervenciones cardiovasculares SOLACI. 2nd ed Bogotá: Atheneu; 2009.
14. Roguin A. Radiation-the double edge sword of interventional procedures. *Eurointervention*. 2013;9:657–63.
15. Vano E, Kleiman NJ, Duran A, et al. Radiation cataract risk in interventional cardiology personnel. *Radiat Res*. 2010;174:490–5.
16. Haskal Z. Get protected:The eyes have it. *J Vasc Interv Radiol*. 2013;24:205–6.
17. Andreassi MG, Cioppa A, Botto N, et al. Somatic DNA damage in interventional cardiologists: A case-control study. *FASEB J*. 2005;19:998–9.
18. Zakeri F, Hirobe T, Akbari Noghabi K. Biological effects of low-dose ionizing radiation exposure on interventional cardiologists. *Occup Med (Lond)*. 2010;60:464–9.
19. Maluf SW, Passos DF, Bacelar A, et al. Assessment of DNA damage in lymphocytes of workers exposed to X-radiation using the micronucleus test and the comet assay. *Environ Mol Mutagen*. 2001;38:311–5.
20. Picano E, Vano E, Domenici L, et al. Cancer and non-cancer brain and eye effects of chronic low-dose ionizing radiation exposure. *BMC Cancer*. 2012;12:157.
21. Karadag B, Ikitimur B, Durmaz E, et al. Effectiveness of lead cap in radiation protection of the head in the cardiac catheterization laboratory. *EuroIntervention*. 2013;9:754–6.
22. Sciahbasi A, Romagnoli E, Burzotta F, et al. Transradial approach (left vs right) and procedural times during percutaneous coronary procedures: TALENT study. *Am Heart J*. 2011;161:172–9.
23. Freixa X, Trilla M, Feldman M, et al. Right versus left transradial approach for coronary catheterization in octogenarian patients. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2012;80:267–72.
24. Lange JH, von Boetticher H. Reduction of operator radiation dose by a pelvic lead shield during cardiac catheterization by radial access comparison with femoral access. *J Am Coll Cardiol Intv*. 2012;5:445–9.
25. Osherov AB, Seidelin P, Wolff R, et al. A novel lead attenuator to reduce operator exposure to scattered radiation in transradial coronary procedures. *EuroIntervention*. 2013;9:757–60.
26. Trujillo P, Vignolo G, Batista I, Mila R, Bachini JP, Duran A, et al. Randomized comparative trial on the effect of patient pelvic protection during coronary intervention procedures. 3P trial. Abstract presented to the European Congress of Cardiology 2014.
27. ICRP 2013. ICRP publication 120. Cousins C, Miller DL, Bernardi G, et al; International Commission on Radiological Protection. Radiological protection in cardiology. *Ann ICRP*. 2013; 42:1-125.
28. Duran A, Kui Hian S, Miller DL, et al. Recommendations for occupational radiation protection in interventional cardiology. Catheterization and cardiovascular interventions. 2013;82:29–42.