

Protección radiológica en endoscopia

Radiation protection in endoscopy

Asadur J. Tchekmedyan¹ , Jean-Marc Dumonceau² , Francisco Javier Rosales Espizua³ , Luciano Andrey Ferreira Bicalho⁴ , Eliseo Vaño⁵ 

¹ Servicio de Endoscopia Digestiva, Asociación Española. Montevideo, Uruguay.

² Gastroenterology Department, Charleroi University Hospitals. Charleroi, Belgium.

³ Hospital Universitario Basurto, Osakidetza, Servicio Vasco de Salud. Bilbao, España.

⁴ Serviendos, Servicio de Endoscopia. Minas Gerais, Brasil.

⁵ Departamento de Radiología. Universidad Complutense de Madrid. Madrid, España.

Recibido: 27/07/2023 - Aprobado: 01/12/2023

RESUMEN

La endoscopia digestiva ha evolucionado de una técnica puramente diagnóstica a un procedimiento terapéutico. Esto es posible en muchos casos gracias al uso de fluoroscopia, lo cual conlleva la exposición a radiaciones ionizantes tanto de los pacientes como del personal actuante. La colangiopancreatografía retrógrada endoscópica (CPRE), que requiere necesariamente de fluoroscopia, es catalogada por la *Food and Drug Administration* como un examen con potencial riesgo de desencadenar lesiones inducidas por radiación. El presente artículo de revisión repasa los efectos biológicos de las radiaciones, los tipos de equipos radiológicos utilizados en CPRE, así como las magnitudes y unidades dosimétricas, para finalmente abordar los elementos de radio protección en la sala de endoscopia. El objetivo es brindar al lector la información para poder realizar estos procedimientos con la mayor seguridad radiológica tanto para los pacientes como para el personal ocupacionalmente expuesto.

Palabras clave: Radioprotección; Endoscopia; Traumatismos por radiación (fuente: DeCS-Bireme).

ABSTRACT

Endoscopy has evolved from a purely diagnostic technique to a therapeutic procedure. This is possible in many cases thanks to the use of fluoroscopy, which entails exposure to ionizing radiation for both patients and the personnel involved. Endoscopic retrograde cholangiopancreatography (ERCP), which necessarily requires fluoroscopy, is classified by the Food and Drug Administration as an examination with a potential risk of triggering radiation induced injuries. This article reviews the biological effects of radiation, the types of radiological equipment used in ERCP, as well as the magnitudes and dosimetric units, to finally address the radio protection elements in the endoscopy room. The objective is to provide the reader with the information to be able to perform these procedures with the greatest radiological safety for both patients and occupationally exposed personnel.

Keywords: Radiation protection; Endoscopy; Radiation injuries (source: MeSH NLM).

INTRODUCCIÓN

La endoscopia digestiva evolucionó de una técnica puramente diagnóstica a un procedimiento terapéutico, con maniobras cada vez más complejas ⁽¹⁾. Estas maniobras a menudo requieren el uso de fluoroscopia con la consiguiente exposición a radiación ionizante (RI) tanto para los pacientes como para el personal ⁽²⁾.

Las RI son aquellas radiaciones con energía suficiente para ionizar la materia, pudiendo generar daños celulares y siendo estas un carcinógeno comprobado ⁽³⁾. Los rayos X forman parte de las RI, no así los ultrasonidos, la radiofrecuencia y otras ondas electromagnéticas relacionadas con el uso de

los campos magnéticos en medicina, que son radiaciones no ionizantes.

Los efectos adversos de las RI, denominados "radiolesiones", se dividen en dos categorías: efectos tisulares (también llamados "efectos deterministas") y efectos probabilísticos (también llamados "estocásticos").

Los efectos tisulares son aquéllos en donde la gravedad del efecto y su frecuencia varían en función de la dosis. La relación dosis-efecto tiene umbral. Ejemplos de éstas son: cataratas, infertilidad, lesión de la piel y pérdida de cabello.

Los efectos probabilísticos son aquellos en los cuales la probabilidad de que se produzca el efecto es función

Citar como: Tchekmedyan AJ, Dumonceau JM, Rosales Espizua FJ, Ferreira Bicalho LA, Vaño E. Protección radiológica en endoscopia. *Rev Gastroenterol Peru.* 2023;43(4):348-57. doi: 10.47892/rgp.2023.434.1628

de la dosis, mientras que la severidad del mismo es independiente de la dosis, y no tienen umbral. Ejemplos de éstos son los efectos carcinogénicos y los efectos hereditarios de las radiaciones ionizantes.

La Food and Drug Administration (FDA) clasifica a la colangiopancreatografía retrógrada endoscópica (CPRE) entre los exámenes con potencial riesgo de desencadenar lesiones por RI ⁽⁴⁾.

Es importante tener presente que de no seguirse adecuadamente los protocolos de trabajo, tanto los pacientes como el personal pueden recibir altos niveles de RI durante procedimientos bajo fluoroscopia ⁽⁵⁾. Por todo esto y tal como se desprende de las recomendaciones de los organismos internacionales, tenemos que conocer y adoptar las medidas de radioprotección (RP) en nuestra disciplina ^(6,7).

Entrenamiento en radioprotección

Es fundamental que todos los profesionales de la salud que participan de procedimientos que utilizan fluoroscopia estén no solo familiarizados con las RI sino debidamente entrenados en los principios de RP, con el fin de minimizar tanto su propia exposición como la de otros involucrados ⁽⁸⁾.

A pesar de esta evidencia, existe una falta de entrenamiento en RP entre los endoscopistas que realizan procedimientos bajo fluoroscopia como es el caso de la CPRE ⁽⁹⁾.

En América Latina, una encuesta realizada a través de la Sociedad Interamericana de Endoscopia Digestiva (SIED) reveló que sólo el 22% de los médicos y el 17% del equipo de enfermería (asistentes) han hecho cursos de entrenamiento en RP. Esta misma encuesta evidenció que a excepción del delantal plomado, hay una subutilización de las medidas de RP (físicas y dosimetría personal) ⁽¹⁰⁾.

En cuanto a los pacientes, los mismos no siempre son advertidos de los riesgos de posibles lesiones por RI y no existe un seguimiento rutinario luego de haber recibido dosis elevadas de RI, sobre todo después de procedimientos complejos y reiterados.

Por todo ello, es de gran importancia la existencia de programas de capacitación para todo el personal involucrado, con la adecuada y regular actualización. Es importante que los congresos y demás actividades académicas incluyan módulos de actualización sobre RP, atendiendo a lo que podría ser un requisito para el desarrollo profesional continuo.

Los organismos internacionales, tales como el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) han publicado recomendaciones sugiriendo acciones de RP fuera del departamento de radiología que incluyen los procedimientos de CPRE ^(6,11,12).

Desde la SIED hemos venido desarrollando acciones de capacitación de forma regular. En este proceso, es de destacar la cooperación con el OIEA ⁽¹³⁾.

Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes

La radiación ionizante es un tipo de energía liberada por los átomos en forma de ondas electromagnéticas (rayos gamma o rayos X) o partículas (partículas alfa y beta o neutrones).

Los efectos biológicos de las RI pueden ocurrir de forma directa en la molécula de ADN, ocasionando la reorganización de las bases nitrogenadas o incluso la ruptura cromosómica o de forma indirecta, con ruptura de las moléculas de agua liberando radicales libres de oxígeno. Cuando estos cambios en el nivel de ADN no se reparan adecuadamente, pueden ocurrir daños o muerte celular.

El daño que causa la radiación en los órganos y tejidos depende de la dosis recibida, o dosis absorbida, que se expresa en una unidad llamada gray (Gy). El daño que puede producir una dosis absorbida depende del tipo de radiación y de la sensibilidad de los diferentes órganos y tejidos.

Para medir la radiación ionizante en términos de su potencial para causar daños se utiliza la dosis efectiva. La unidad para medirla es el sievert (Sv), que toma en consideración el tipo de radiación y la sensibilidad de los órganos y tejidos. En la Tabla 1 ^(14,15) se ejemplifican las dosis efectivas para diferentes procedimientos radiológicos.

Efectos tisulares (también denominados "efectos deterministas")

Los efectos tisulares, anteriormente conocidos como efectos deterministas, son consecuencia de la muerte de un número significativo de células en una determinada región del organismo.

Tabla 1. Dosis efectiva media (mSv) en exámenes y procedimientos habituales, citando especialmente la CPRE en 2 estudios.

	Dosis efectiva media (mSv) para el paciente	Número equivalente de radiografías de tórax
Radiografía de tórax	0,02	1
TC de abdomen	10	500
Stent vascular	10	500
Colonoscopia virtual	10	500
CPRE – Larkin 2001 ⁽¹⁴⁾ (diagnóstica/terapéutica)	3,5/17	175/850
CPRE – Tchekmedyian 2014 ⁽¹⁵⁾	6,2	312

TC, tomografía computarizada; CPRE, colangiopancreatografía retrógrada endoscópica.

Tabla 2. Umbrales para la aparición de efectos tisulares en la piel.

Efecto	Umbral aproximado de dosis [Gy]	Tiempo aproximado de aparición del efecto
Eritema transitorio	2	2-24 horas
Alopecia temporal	3	3 semanas
Descamación seca	14	4 semanas
Descamación húmeda	18	4 semanas
Ulceración secundaria	24	> 6 semanas

Adaptado de *International Commission on Radiological Protection* (2000).⁽¹⁷⁾

Por debajo de un cierto umbral de dosis (que es variable según el tejido u órgano afectado), el efecto no ocurre. A su vez, la gravedad del daño aumenta con el aumento de la dosis recibida.

La ICRP ha publicado algunos de los umbrales de efectos tisulares como las opacidades en cristalino (cataratas)⁽¹⁶⁾. Otros umbrales, como para los efectos tisulares en la piel se ejemplifican en la Tabla 2⁽¹⁷⁾.

Los umbrales de dosis para este tipo de efectos son relativamente altos y el daño se expresa en el corto o mediano plazo. Esto es importante para el seguimiento del paciente y el correcto diagnóstico^(18,19).

Por otro lado, los efectos tisulares pueden también aparecer entre los trabajadores profesionalmente expuestos, como es el caso de la aparición de lesiones en el cristalino del ojo entre los profesionales que llevan a cabo procedimientos intervencionistas sin la RP adecuada; esta situación fue objeto de una publicación de la ICRP⁽¹⁶⁾ y la posterior disminución del límite de dosis para el cristalino del ojo durante las exposiciones ocupacionales como verá más adelante en el ítem "Límites de dosis ocupacionales".

Efectos probabilísticos (también denominados "efectos estocásticos")

Los efectos probabilísticos están relacionados con el hecho de que la RI puede producir daños capaces de inducir mutación celular.

El riesgo varía con la edad y el sexo, afectando en mayor medida a los niños en relación a los adultos y a las mujeres en relación a los hombres. También existe una variación entre los tejidos expuestos y ciertos cambios cromosómicos individuales.

La probabilidad de la ocurrencia de estos efectos es proporcional a la dosis de RI, sin existir un umbral seguro por debajo del cual no exista riesgo.

El exceso de riesgo de cáncer a dosis inferiores a 100 mSv es un tema discutible ya que hay escasez de datos que demuestren este efecto en estudios epidemiológicos. Dado que la dosis de una sola CPRE es menor a dicho valor, el riesgo potencial solo puede estimarse suponiendo una relación dosis-respuesta. La ICRP ha estimado que el riesgo de cáncer fatal radioinducido para una población adulta es de alrededor del 5 %/Sv, lo que, utilizando la hipótesis lineal de dosis-respuesta sin umbral, equivale a 0,005 %/mSv. De acuerdo a las dosis de CPRE mencionadas anteriormente y tomando el valor del estudio MIREU_Uy, una CPRE conlleva una dosis efectiva de unos 6 mSv, lo cual da un riesgo aproximado de cáncer radioinducido fatal de 0,03% o 1:3300. Esto debe tomarse en el contexto de un riesgo espontáneo de incidencia de cáncer (40%) y mortalidad de alrededor del 20%.

Tipos de equipos de rayos X: equipos con tubo arriba ("over-couch") o tubo debajo ("under-couch"), móviles o fijos

Los exámenes endoscópicos que requieren una visualización radiológica utilizan fluoroscopios que están compuestos por una unidad emisora de rayos X (tubo), y un detector plano o un intensificador de imagen que recibe la radiación transmitida y forma las imágenes.

En estos sistemas el tubo emisor de rayos X puede estar ubicado por encima o por debajo de la mesa de examen, denominándose sistemas over-couch o under-couch, respectivamente. Para la CPRE, se utilizan ambos tipos de equipos, tanto fijos como móviles. Las unidades de rayos X móviles, también llamadas "unidades de brazos C móviles" o "arco en C", deben ser utilizadas con el tubo posicionado debajo de la mesa.

La diferencia entre los sistemas con el tubo arriba o abajo es más relevante para el personal que realiza el procedimiento que para el paciente, dado que las tasas de radiación son mayores en el lado del tubo que en el sector del detector de imágenes.

Magnitudes y unidades dosimétricas

El efecto de la RI sobre el tejido vivo puede cuantificarse teniendo en cuenta la energía absorbida por unidad de masa (dosis absorbida) y su interacción con aquél. Esta interacción va a depender del tipo de radiación, en ocasiones de su energía, y del tejido u órgano en cuestión

La dosis absorbida es una magnitud física, esto es, no se define necesariamente para tejido vivo, sino para cualquier material, mientras que las dosis equivalente y efectiva son magnitudes de RP que recogen en su definición el efecto de la radiación sobre el tejido vivo.

El kerma y el producto kerma-área son magnitudes físicas operacionales, de sencilla medición en campo.

Las unidades de medida utilizadas en RP se resumen en la Tabla 3⁽²⁰⁾.

Tabla 3. Magnitudes y unidades de medida utilizadas en radioprotección.

Magnitud	Símbolo	Unidad	Definición
Dosis absorbida	D	Gray (Gy)	Energía absorbida por unidad de masa. El Gray equivale a 1 Joule por kilogramo.
Dosis equivalente	HT	Sievert (Sv)	Magnitud que se obtiene multiplicando la dosis absorbida por un factor de ponderación según el tipo de radiación para estimar el grado del efecto biológico producido (wR). Se aplica a un órgano o tejido.
Dosis efectiva	E	Sievert (Sv)	Suma ponderada de las dosis equivalentes de los diferentes órganos y tejidos; el factor de ponderación, wT, tiene en cuenta la contribución de cada órgano o tejido al riesgo total a cuerpo completo
Kerma	K	Gray (Gy)	El cociente de la suma de todas las energías cinéticas iniciales de las partículas cargadas puestas en movimiento por la radiación ionizante en una masa de un material y el valor de esa masa.
Producto kerma – área	PKA	Gray (Gy). cm ²	Kerma en el aire multiplicado por el área de la sección transversal del haz de rayos X en el punto de medición (esta magnitud suele ser indicada por el equipo de rayos X, como producto dosis-área o DAP).

Adaptada de Dumonceau *et al.* (2012).⁽²⁰⁾

Radioprotección en la sala de procedimientos

Aspectos generales

La mejora del conocimiento relativo a los riesgos de la exposición a las RI y los esfuerzos para un mejor equilibrio entre la calidad de imagen y la necesaria exposición a dicha RI aumentan continuamente y permiten mejorar la aplicación del principio ALARA.

Este principio, "As Low As Reasonably Achievable" (ALARA), es una norma básica de seguridad radiológica que significa "tan bajo como sea razonablemente alcanzable", esto es, que la práctica radiológica se lleve a cabo con la menor dosis posible a las personas y al menor número de personas.

Para lograrlo, se deben tener en cuenta los tres criterios básicos: tiempo, distancia y blindaje.

- **Tiempo:** reducir el tiempo de exposición a la RI, por ejemplo utilizando fluoroscopia pulsada en vez de continua. Siempre que sea posible, conviene guardar en el monitor "la última imagen retenida" de forma a continuar el examen viendo esta imagen, evitando exposiciones prolongadas.
- **Distancia:** la dosis de RI es (aproximadamente) inversamente proporcional al cuadrado entre la distancia de la fuente de RI y el órgano expuesto. Por lo tanto, aumentar la distancia, "dar un paso atrás", permite reducir significativamente la radiación

recibida por el personal. Esto es especialmente importante para anestesiólogos y asistentes que pueden desplazarse por la sala.

- **Blindaje:** está absolutamente probada la utilidad de la RP tales como delantales plomados, gafas plomadas y protectores de tiroides. Siempre que sea posible, utilizar mamparas o cortinas plomadas entre la fuente de RI y el operador. Ver más adelante los "accesorios de radioprotección personal".

Otras recomendaciones útiles incluyen utilizar el modo de magnificación ("lupa") sólo si es estrictamente necesario y "colimar" el campo de radiación al tamaño mínimo que permita visualizar la zona de interés.

Justificación del procedimiento

La justificación es la práctica de evaluar los exámenes radiológicos solicitados para determinar el beneficio clínico y contrastarlo con el riesgo de exposición a la RI. Esto implica que la justificación en las pruebas de imagen con RI requiere la evaluación de los exámenes solicitados, la evaluación de las exposiciones aplicadas y la determinación por parte del médico de si los pacientes cumplen los criterios recomendados para el procedimiento⁽²¹⁾.

Para exámenes de alta dosis, como procedimientos terapéuticos complejos, o para exámenes en pacientes particulares (niños, mujer embarazada), la justificación individual, ajustada a cada caso particular, es de suma importancia. Esto debe llevar en consideración detalles del procedimiento propuesto, procedimientos alternativos, características individuales del paciente, dosis que se espera impartir al paciente y disponibilidad de información de estudios o tratamientos previos.

Optimización de la radioprotección

El objetivo de la imagenología médica no es obtener la imagen perfecta, sino una que sea adecuada para su correcta interpretación. Esa es la esencia de la optimización: hallar el equilibrio entre la calidad de la imagen y la dosis de RI.

Hay que recordar que durante los procedimientos bajo fluoroscopia el resultado clínico es la prioridad. Las restricciones individuales en la dosis del paciente podrían conducir a trabajar con imágenes de calidad insuficiente que pongan en riesgo la consecución del objetivo clínico buscado.

En ocasiones, el acrónimo 'ALARA' ('tan bajo como sea razonablemente posible') se emplea como equivalente al término "optimización de la RP" pero se debe tener en cuenta que ALARA es sólo una parte del concepto de optimización. En el procedimiento guiado por fluoroscopia, optimizar significa que el número y la calidad de las imágenes son suficientes para obtener la información necesaria para el procedimiento.

Hay que tener en cuenta que las estrategias para reducir las dosis de RI recibidas por los pacientes pueden aumentar las dosis de RI recibidas por el personal, como el uso de alta filtración en el haz de rayos X para reducir las dosis en la piel, lo que aumenta simultáneamente el nivel de RI dispersa. Esto último es particularmente importante durante la CPRE dado que el endoscopista permanece muy cerca del paciente.

La optimización en técnicas intervencionistas y especialmente para los nuevos sistemas de rayos X, puede ser una tarea bastante compleja y requiere la cooperación entre intervencionistas, físicos médicos y tecnólogos. La dosimetría personal electrónica es de gran ayuda en la optimización de la RP ocupacional. La visualización de dosis ocupacionales en tiempo real permite reducir las dosis ocupacionales.

Límites de dosis ocupacionales

Los límites de dosis ocupacionales se aplican a los profesionales de la salud (endoscopistas, asistentes, anestésistas, etc.), no a los pacientes. Para los pacientes se utilizan los "niveles de referencia para diagnóstico" (diagnostic reference levels, DRLs), que son valores indicativos de una "buena práctica" y los analizaremos más adelante ⁽²²⁾.

Los límites de dosis para los trabajadores se expresan en términos de dosis equivalente en un órgano o tejido (H_T) y son medidos en Sv, para exposición de parte del cuerpo y dosis efectiva (E) para la exposición total del cuerpo, también medida en Sv.

Los límites de dosis recomendados por la ICRP para los profesionales de la salud son los siguientes:

- Una dosis efectiva de 20 mSv por año, en promedio en períodos de cinco años (100 mSv en 5 años), con la provisión adicional de que la dosis efectiva no debe exceder 50 mSv en un solo año.
- Un límite de dosis equivalente para el cristalino del ojo de 20 mSv al año, en promedio, en períodos de cinco años, sin que en un único año el valor sea superior a 50 mSv. En casos con alta exposición a cristalino, como puede suceder al utilizar equipos con tubo arriba (*over-couch*) y sin una adecuada RP, pueden generarse daños en el cristalino del ojo (opacidades

y cataratas), como se ha detectado en estudios realizados a cardiólogos intervencionistas ⁽²³⁾.

- Las condiciones de trabajo de una trabajadora embarazada, después de la declaración de embarazo, deben ser tales que garanticen que la dosis para el embrión / feto no exceda de 1 mSv durante el resto del embarazo.

Es de destacar aquí que en trabajos más antiguos se constataron dosis a cuerpo entero y a cristalino significativamente más elevadas ^(24,25), lo que pone de relevancia la importancia de las adecuadas medidas de RP.

En la Tabla 4 ⁽²⁶⁾ se presenta un resumen del texto anterior y se compara con los datos obtenidos en un estudio de medición de dosis realizado por nuestro equipo (estudio MIRED_Uy) ⁽¹⁵⁾.

Dosimetría del personal

En la sala de procedimientos el personal está integrado por endoscopistas, asistentes y anestésistas.

El OIEA recomienda el registro de las dosis al personal expuesto durante los procedimientos de intervencionismo bajo fluoroscopia ^(7,27). Para ello, se recomienda utilizar dos dosímetros, uno debajo del delantal plomado (para estimar las dosis de los órganos y tejidos protegidos por el delantal) y otro por encima del delantal o protector de la tiroides para estimar las dosis recibidas por órganos y tejidos no protegidos (como puede ser el caso de los ojos). Además, es posible combinar las dos lecturas del dosímetro para proporcionar una estimación mejorada de la dosis efectiva.

El dosímetro también proporciona confirmación de que el delantal realmente se ha usado y que su protección es apropiada. Este proceso tiene como objetivo garantizar la mínima exposición posible a los trabajadores y garantizar que no se superan los límites de dosis.

Ante la imposibilidad de disponer de dos dosímetros se recomienda seguir las pautas establecidas por la Autoridad Reuladora de su centro de trabajo.

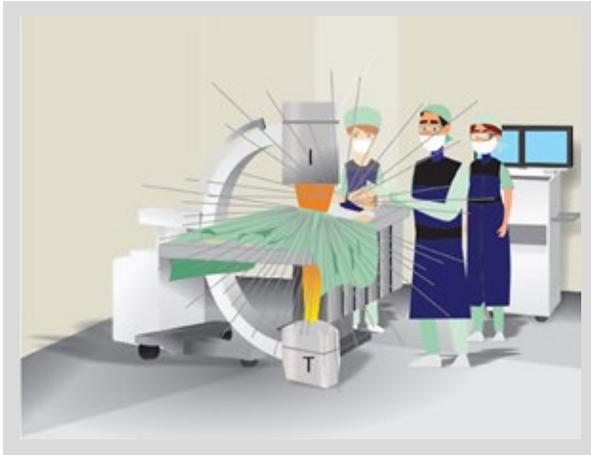
Aspectos específicos

Posicionamiento del personal

La exposición a la RI de los miembros del equipo puede ser significativa. El personal debe estar posicionado lo más lejos

Tabla 4. Límites de dosis anuales para los trabajadores expuestos según las recomendaciones (ICRP y OIEA) y dosis anuales acumuladas registradas en el estudio MIRED_Uy.

	Límite de dosis anual (mSv) para los trabajadores expuestos ^(16,26)	Dosis anual acumulada para 200 procedimientos en el estudio MIRED_Uy ⁽¹⁵⁾
Cuerpo entero (E)	20	0,8
Cristalino del ojo	20	1,6
Extremidades	500	3,9



I: Intensificador de imagen o panel plano
T: Tubo de rayos-x

Figura 1. Disposición del personal en la sala de endoscopia y elementos principales del arco en C.

que sea posible del tubo de rayos X y del paciente, siendo este último la principal fuente de RI dispersa, Figura 1.

Una cortina de plomo es muy eficiente, especialmente en aparatos fijos "over-couch" para proteger al personal de la RI dispersa producida por el paciente. Conviene conocer los porcentajes de atenuación de los elementos de RP. El nivel de RP que supone este tipo de cortinas plomadas (que suele ser mayor del 95%) depende de su espesor equivalente en plomo y del tipo (calidad) de RI dispersa. Los valores altos de kV y los haces de rayos X con alta filtración, suelen provocar mayor RI dispersa por unidad de dosis impartida al paciente.

En posiciones oblicuas, la radicación recibida por el personal es mayor cuando se está cerca del tubo de rayos X y menor cuando se está lejos de este y por ende cerca del intensificador de imagen, tal como se muestra en la Figura 2.



I: Intensificador de imagen o panel plano
T: Tubo de rayos-x

Figura 2. Exposición del personal a la radiación durante posiciones oblicuas del arco en C. (A) Operador cerca del tubo de rayos X. Exposición a mayor dosis de radiación. (B) Operador lejos del tubo de rayos X. Exposición a menor dosis de radiación.

Accesorios de radioprotección personal

La exposición a RI por parte del personal durante la CPRE puede ser significativa, en particular cuando se trabaja con sistemas con el tubo de rayos X sobre la mesa (over-couch) y con escasa RP. Todo el personal en la sala de procedimiento debe utilizar delantal de RP de envoltura completa (no solamente para la parte delantera del operador) y protector tiroideo.

Hay diversos elementos disponibles para su uso por parte del personal expuesto a RI durante procedimientos bajo fluoroscopia, tales como:

- **Cortinas o mamparas de radioprotección:** Las cortinas plomadas pueden ir colgadas de la cama (para equipos con tubo abajo) o del tubo mismo (para equipos con tubo arriba). Las mamparas en general están suspendidas mediante un brazo articulado. Estos accesorios pueden reducir más del 95% de la RI al personal.
- **Delantales:** Los delantales con espesor $\geq 0,35$ mm de equivalencia en plomo reducen el 90% de la RI dispersa que los alcanza.

Hay que recordar en este ítem que las molestias musculoesqueléticas son frecuentes entre los endoscopistas que realizan CPRE y pueden ser aumentadas por los delantales plomados debido a su peso. Para disminuir este problema, están disponibles delantales compuestos por materiales no plomados o aleaciones, que logran mantener una RP similar con un peso sensiblemente menor. Los delantales de dos piezas o de una pieza con un cinturón central distribuyen mejor el peso.

Los delantales de RP se deben guardar fuera de la sala de rayos X (de forma que al ingresar a la sala se haga con los mismos correctamente colocados, evitando ingresar sin RP durante el uso de fluoroscopia),



siendo almacenados en forma vertical, sin doblarlos para evitar grietas en el material protector. Además, deben evaluarse por personal entrenado anualmente para detectar posibles defectos.

A modo informativo, se incluye al final del documento enlaces a recursos multimedia relativos al uso, revisión y mantenimiento de este material.

- **Protectores de la tiroides:** Su uso rutinario en cualquier procedimiento es muy importante, dado que la glándula tiroidea es un tejido radiosensible. Estos protectores son cómodos de usar, livianos y de amplia disponibilidad. Pueden ser atados a los delantales para favorecer su uso.
- **Lentes de radioprotección:** son fundamentales cuando se trabaja con equipos over-couch y recomendables en equipos under-couch en función del número de procedimientos realizados anualmente. La posición adecuada de los lentes es fundamental para cumplir su papel de RP.
- **Guantes:** son incómodos, ofrecen atenuación limitada de las RI y no se recomienda su uso en la CPRE. Ha de procurarse mantener las manos fuera del haz; para ello, puede ser útil colimar lo más posible el campo de rayos X.

Aspectos específicos de radioprotección a los pacientes

A continuación mencionamos algunos puntos específicos de RP a los pacientes.

En cuanto a la masa corporal, se debe recordar que la misma influye en la dosis. Es así que cuanto mayor sea el espesor de la zona expuesta se requerirán dosis más altas para obtener imágenes de calidad adecuada.

Hay que tener presente que la exposición a la radiación repetida sobre una misma zona de la piel puede aumentar el riesgo de daño, así como la existencia de ciertas patologías como la ataxia-telangiectasia, enfermedades del tejido conectivo (lupus) y diabetes.

La posición más segura para el paciente es que éste debe situarse lo más lejos posible del tubo de rayos X y lo más cerca posible del intensificador de imágenes (o del panel plano en los equipos más modernos), tal como se muestra en la Figura 3.

Radioprotección durante el embarazo y en niños

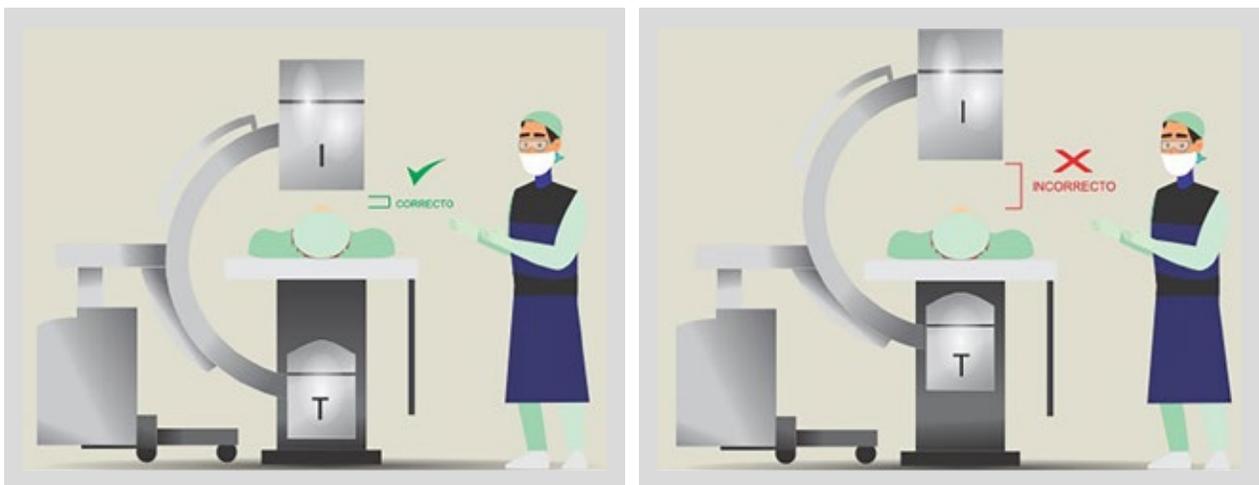
• Embarazo

Antes de cualquier exposición con RI, es importante determinar si una mujer está o puede estar embarazada. La RI puede causar daño al feto, estando dicho riesgo directamente relacionado con el momento de la gestación.

En la etapa de pre-implantación (hasta el día 10), existe un efecto "todo o nada", lo que significa que dicho efecto será letal (aborto) si cierto número de células se ve afectado. Por otro parte, si sólo algunas células se ven afectadas, las células pluripotentes restantes pueden sustituirlas, sin la ocurrencia de efectos secundarios.

Los mayores riesgos se presentan durante la organogénesis y las primeras semanas de vida del feto. Hasta las 25 semanas que siguen a la concepción, el sistema nervioso central es especialmente sensible a la RI.

En el tercer trimestre del embarazo no ocurren malformaciones por la RI. Dosis muy altas pueden



I: Intensificador de imagen o panel plano
T: Tubo de rayos-x

Figura 3. Posición correcta del paciente con relación al intensificador de imagen y al tubo de rayos X.



Figura 4. Poster de la serie +DATA y TIPS de la SIED con "10 consejos en protección radiológica".

ocasionar la muerte fetal y las dosis más bajas aumentan la probabilidad de cáncer, incluido leucemia, en el futuro.

En cuanto a los elementos de RP al feto es útil tener presente que lo fundamental es realizar los procedimientos únicamente cuando exista una real justificación y estos no se puedan diferir. En

dicho caso, deben ser realizados por endoscopistas experimentados. Por otra parte es importante colimar al máximo posible y optimizar de manera que se exponga al embrión/feto a la mínima dosis posible.

• Niños

En comparación con los adultos, los niños son más sensibles a la exposición a la RI, especialmente en edades precoces. Por lo que es imperativo contar con una fuerte indicación clínica para la realización de procedimientos bajo fluoroscopia. El procedimiento debe ser realizado solamente por endoscopistas experimentados y las medidas de RP (similares a las utilizadas en los adultos) deben ser rigurosamente respetadas, incluido el ajuste de la colimación a su menor volumen corporal.

Niveles de referencia para diagnóstico

Como se mencionó, en los pacientes no hay límite de dosis, porque los mismos pueden llevar a reducir la eficacia del diagnóstico, provocando más perjuicio que beneficio.

Para prevenir dosis innecesariamente altas durante las exposiciones a los pacientes, la ICRP recomienda la utilización de los "niveles de referencia para diagnóstico" (Diagnostic Reference Levels, DRL), como una herramienta efectiva de ayuda a la optimización de la protección radiológica en la exposición médica de pacientes para diagnóstico y procedimientos de intervención (22,28).

Enlaces a recursos web con información adicional		
10 Recomendaciones del OIEA para la protección de los pacientes en fluoroscopia	10 Recomendaciones del OIEA para la protección del equipo en fluoroscopia	Videos educativos con práctica de protección radiológica a pie de tubo
		
https://www.iaea.org/sites/default/files/documents/rpop/poster-patient-radiation-protection-es.pdf	https://www.iaea.org/sites/default/files/documents/rpop/poster-staff-radiation-protection-es.pdf	https://youtu.be/SJmZL07rTaw
Uso del equipamiento de protección personal frente a rayos X	Revisión del equipamiento de protección personal frente a rayos X	Mantenimiento del equipamiento de protección personal frente a rayos X
		
https://youtu.be/zSFcARkTYD	https://youtu.be/vW64MwvG8Vc	https://youtu.be/RRO2tVWHXUc

Figura 5. Enlaces a recursos web con información adicional.

La DRL se define como el valor correspondiente al tercer cuartil de producto kerma-área (PKA), o sea, el valor debajo del cual se encuentran las tres cuartas partes de los valores de producto kerma-área (PKA) (ordenados de menor a mayor valor) medidos en una amplia serie de procedimientos para un determinado examen radiológico. Ese examen debe corresponder a una determinada indicación clínica en un país o una región.

Para la CPRE, hay escasas publicaciones que comuniquen los DRL. Un trabajo reciente realizado en Japón presentó valores de PKA para el tercer cuartil de 32 Gy·cm² (29).

Los DRL representan entonces una guía, no siendo un límite en sí mismos. Es decir, son valores de referencia para saber si estamos trabajando con dosis de RI muy altas o por el contrario estamos dentro de parámetros "razonables".

En nuestra publicación sobre medición de dosis se puede encontrar más datos al respecto e información detallada sobre el impacto de las dosis tanto al personal como a los pacientes (15).

Información y seguimiento al paciente

Se recomienda proporcionar información al paciente sobre los riesgos de las RI, con información específica de los efectos tisulares.

Luego de procedimientos complejos y prolongados y sobre todo en forma repetida (18), cuando la dosis de entrada en la piel (ESD por sus siglas en inglés) alcance o excede de 2 a 3 Gy; y/o se exceden los 60 minutos de fluoroscopia se recomienda el control evolutivo, sistemático de los pacientes. El seguimiento se realiza a las 2-4 semanas tras el procedimiento con el fin de detectar potenciales daños por RI. Dado que los valores de ESD reportados durante la CPRE están por debajo de 2 Gy, las situaciones que requieren de seguimiento son excepcionales.

Pruebas de control de calidad

Las pruebas de control de calidad son una parte importante y deben realizarse de acuerdo con los intervalos establecidos por los organismos reguladores.

Se recomienda que cada institución establezca sus propios protocolos, de acuerdo con la antigüedad, la tasa de uso y las condiciones de mantenimiento de los equipos. Teniendo en cuenta los sistemas de estimación o medida de los indicadores de dosis de cada equipo.

Estos protocolos permiten definir la uniformidad de los patrones de imagen para una determinada técnica y colaboran en la preservación del equipo.

Consideraciones finales

Los objetivos de la RP son evitar lesiones causadas por la RI y reducir el riesgo de inducción de cáncer tanto para el paciente como para el equipo de profesionales

implicados. El conocimiento del equipo de fluoroscopia, el entrenamiento continuo del personal involucrado, la observancia de los métodos individuales y colectivos de RP, sumados a la experiencia del endoscopista contribuirá a que se cumplan estos objetivos.

La aplicación continuada de los tres pilares de la RP (justificación, optimización y limitación de dosis), así como del principio ALARA como parte de la optimización, permite ofrecer la mejor atención a los pacientes con la máxima seguridad posible.

En la Figura 4 se presenta el poster de la serie +DATA y TIPS de la SIED con "10 consejos en protección radiológica" y en la Figura 5 pueden encontrarse enlaces a diversos recursos web con información adicional en la temática abordada.

Fuentes de financiamiento: Ninguno.

Conflicto de intereses: Ninguno.

Agradecimientos: Los autores agradecen al Dr. Alejandro Nader y a la diseñadora gráfica Jessica Bitencourt Ribeiro por sus contribuciones al presente capítulo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Artifon ELA, Tchekmedyian AJ, Aguirre PA. Colangiopancreatografía retrógrada endoscópica: una técnica en permanente evolución. *Rev Gastroenterol Peru.* 2013;33(4):321-7.
2. Adam A. The definition of interventional radiology (or, "When is a barium enema an interventional procedure?"). *Eur Radiol.* 1998;8(6):1014-5. doi: 10.1007/s003300050507.
3. Duran A, Vaño E. Chapter 79. Radiation protection in Interventional Cardiology. *Textbook of interventional cardiology.* In: Kapadia S, Chew D, Cura F, L'Allier P, Roffi M, Tuzcu EM. (Ed.). Jaypee Brothers Medical Publishers, 2017.
4. Food and Drug Administration. Avoidance of serious x-ray-induced skin injuries to patients during fluoroscopically-guided procedures [Internet]. FDA; 1994 [citado el 2 de marzo de 2023]. Disponible en: <https://www.fda.gov/downloads/Radiation-EmittingProducts/RadiationEmittingProductsandProcedures/MedicalImaging/MedicalX-Rays/ucm116677.pdf>
5. CRP Publication 105. Radiation protection in medicine. *Ann ICRP.* 2007;37(6):1-63. doi: 10.1016/j.icrp.2008.08.001.
6. Rehani MM, Ciraj-Bjelac O, Vaño E, Miller DL, Walsh S, Giordano BD, Persliden J. ICRP Publication 117. Radiological protection in fluoroscopically guided procedures performed outside the imaging department. *Ann ICRP.* 2010;40(6):1-102. doi: 10.1016/j.icrp.2012.03.001.
7. López PO, Dauer LT, Loose R, Martin CJ, Miller DL, Vaño E, et al. ICRP Publication 139: Occupational Radiological Protection in Interventional Procedures. *Ann ICRP.* 2018;47(2):1-118. doi: 10.1177/0146645317750356. Erratum in: *Ann ICRP.* 2019;48(1):99. Erratum in: *Ann ICRP.* 2019 Sep;48(1):98.
8. Heyd RL, Kopecky KK, Sherman S, Lehman GA, Stockberger SM. Radiation exposure to patients and personnel during interventional ERCP at a teaching institution. *Gastrointest Endosc.* 1996;44(3):287-92. doi: 10.1016/s0016-5107(96)70166-9.
9. Son BK, Lee KT, Kim JS, Lee SO. Lack of radiation protection for endoscopists performing endoscopic retrograde cholangiopancreatography. *Korean J Gastroenterol.* 2011;58(2):93-9. doi: 10.4166/kjg.2011.58.2.93.

10. Tchekmedyan A, Trigo T, Rodríguez M, Blanco D, Artifon E. Encuesta latinoamericana de radioprotección en endoscopia digestiva [abstract]. *Rev Gastroenterol Mex.* 2012;77(Supl2):47-48.
11. International Atomic Energy Agency. Radiation protection and safety in medical uses of ionizing radiation. IAEA Safety Standards Series No. SSG-46, IAEA. Vienna: IAEA; 2018.
12. Vaño E, Rosenstein M, Liniecki J, Rehani MM, Martin CJ, Vetter RJ. ICRP Publication 113. Education and training in radiological protection for diagnostic and interventional procedures. *Ann ICRP.* 2009;39(5):7-68. doi: 10.1016/j.icrp.2011.01.002.
13. Vassileva J, Tchekmedyan AJ. Radiation protection in endoscopy suites: guidance and tools from the International Atomic Energy Agency. *Dig Endosc.* 2023;35(1):157-159.
14. Larkin CJ, Workman A, Wright RE, Tham TC. Radiation doses to patients during ERCP. *Gastrointest Endosc.* 2001;53(2):161-4. doi: 10.1067/mge.2001.111389.
15. Tchekmedyan AJ, Blanco D, Gutiérrez JP, Nader A, Gutiérrez Galiana H. Evaluación de la radiación recibida por personal y pacientes durante la CPRE en El Uruguay. *Acta Gastroenterol Latinoam.* 2014;44:100-107.
16. Authors on behalf of ICRP; Stewart FA, Akleyev AV, Hauer-Jensen M, Hendry JH, Kleiman NJ, et al. ICRP publication 118: ICRP statement on tissue reactions and early and late effects of radiation in normal tissues and organs--threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. *Ann ICRP.* 2012;41(1-2):1-322. doi: 10.1016/j.icrp.2012.02.001.
17. Valentin J. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures. *Ann ICRP.* 2000;30(2):7-67. doi: 10.1016/S0146-6453(01)00004-5.
18. Li X, Hirsch JA, Rehani MM, Yang K, Marschall TA, Liu B. Patient follow-up for possible radiation injury from fluoroscopically-guided interventions: Need to consider high cumulative exposure from multiple procedures. *Phys Med.* 2023;106:102521. doi: 10.1016/j.ejmp.2022.102521.
19. Cousins C, Miller DL, Bernardi G, Rehani MM, Schofield P, Vaño E, Einstein AJ, Geiger B, Heintz P, Padovani R, Sim KH; International Commission on Radiological Protection. ICRP PUBLICATION 120: Radiological protection in cardiology. *Ann ICRP.* 2013;42(1):1-125. doi: 10.1016/j.icrp.2012.09.001.
20. Dumonceau JM, Garcia-Fernandez FJ, Verdun FR, Carinou E, Donadille L, Damilakis J, et al. Radiation protection in digestive endoscopy: European Society of Digestive Endoscopy (ESGE) guideline. *Endoscopy.* 2012;44(4):408-21. doi: 10.1055/s-0031-1291791.
21. Vom J, Williams I. Justification of radiographic examinations: What are the key issues? *J Med Radiat Sci.* 2017;64(3):212-219. doi: 10.1002/jmrs.211.
22. Vaño E, Miller DL, Martin CJ, Rehani MM, Kang K, Rosenstein M, et al. ICRP Publication 135: Diagnostic Reference Levels in Medical Imaging. *Ann ICRP.* 2017;46(1):1-144. doi: 10.1177/0146645317717209.
23. Vano E, Kleiman NJ, Duran A, Rehani MM, Echeverri D, Cabrera M. Radiation cataract risk in interventional cardiology personnel. *Radiat Res.* 2010;174(4):490-5.
24. Naidu LS, Singhal S, Preece DE, Vohrah A, Loft DE. Radiation exposure to personnel performing endoscopic retrograde cholangiopancreatography. *Postgrad Med J.* 2005;81(960):660-2. doi: 10.1136/pgmj.2004.031526.
25. Germanaud J, Legoux J, Sabattier R, Causse X, Trinh DH. Radioprotection des opérateurs lors des cholango-pancréatographies rétrogrades endoscopiques. *Gastroenterol Clin Biol.* 1993;17(4):259-63.
26. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103. *Ann ICRP.* 2007;37(2-4):1-332. doi: 10.1016/j.icrp.2007.10.003.
27. Faulkner K, Vaño E, Padovani R, Zoetelief J. Radiation risk evaluation and reference doses in interventional radiology. In: *The International Conference on Radiological Protection of Patients in Diagnostic and Interventional Radiology, Nuclear Medicine and Radiotherapy.* Malaga. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2001. p. 26-30.
28. Ubeda de la C C, Vaño E, Ruiz Cruces R, Pablo S, Daniella F. Niveles de referencia para diagnóstico: Una herramienta efectiva para la protección radiológica de pacientes. *Rev Chil Radiol.* 2019;25(1):19-25. doi: 10.4067/S0717-93082019000100019.
29. Hayashi S, Takenaka M, Hosono M, Kogure H, Hasatani K, Suda T, et al. Diagnostic Reference Levels for Fluoroscopy-guided Gastrointestinal Procedures in Japan from the REX-GI Study: A Nationwide Multicentre Prospective Observational Study. *Lancet Reg Health West Pac.* 2022;20:100376. doi: 10.1016/j.lanwpc.2021.100376.

Correspondencia:

Asadur J. Tchekmedyan

Dirección: Asociación Española.

E-mail: asadurjorge@gmail.com