



UNIVERSITAS
Miguel Hernández

Exposición ocupacional a radiaciones ionizantes en médicos intervencionistas que emplean fluoroscopia: riesgos, medidas de protección y marco legal. Una revisión narrativa.



Autor: Francisco José Cárceles Moreno

Tutor: Jonatan García Campos

Máster Universitario en Prevención de Riesgos Laborales

Universidad Miguel Hernández

Curso 2020 - 2021



INFORME DEL DIRECTOR DEL TRABAJO FIN MASTER DEL MASTER UNIVERSITARIO EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

D. Jonatan García Campos, Tutor del Trabajo Fin de Máster, titulado *'Exposición ocupacional a radiaciones ionizantes en médicos intervencionistas que emplean fluoroscopia: riesgos, medidas de protección y marco legal. Una revisión narrativa.'* y realizado por el/la estudiante Francisco José Cárceles Moreno.

Hace constar que el TFM ha sido realizado bajo mi supervisión y reúne los requisitos para ser evaluado.

Fecha de la autorización: 23 de julio de 2021

Fdo.: -  Jonatan García Campos
Tutor TFM

Resumen

Introducción: El uso de la radiación ionizante con fines médicos es cada vez más frecuente. Numerosos médicos intervencionistas realizan procedimientos con fluoroscopia para diagnosticar y tratar enfermedades, con la consiguiente serie de riesgos para el personal ocupacionalmente expuesto. Existen normas básicas de protección, como el aumento de la distancia con la fuente de radiación y, además, equipos específicos de protección individual.

Objetivos: Realizar una actualización de los riesgos a los que se exponen los médicos que trabajan con fluoroscopia, así como de las medidas de protección y del marco legal. Identificar las mejores estrategias de prevención y detectar los aspectos mejorables de la normativa y las medidas de prevención.

Material y métodos: Se ha realizado una revisión narrativa de artículos seleccionados de las bases de datos MEDLINE y COCHRANE, publicados en los últimos 15 años y con información relevante de acuerdo a los objetivos planteados.

Resultados y Discusión: Se ha revisado un número total de 33 artículos, exponiendo los principales riesgos de la exposición ocupacional a las radiaciones ionizantes y las medidas de protección disponibles. Se propone una clasificación de las medidas de protección en indispensables y secundarias. También se ha analizado la normativa aplicable, realizando un análisis de la misma, con propuestas de mejora.

Conclusiones: La exposición ocupacional a radiaciones ionizantes conlleva una serie de riesgos, la mayor parte de los cuales son evitables con las medidas de protección actuales. Existen unos elementos de protección que creemos indispensables (vestimenta, protector tiroideo, gafas, mamparas y cortinillas plomadas), y otros secundarios como los gorros. La normativa debería tipificar el equipo de protección imprescindible que se tiene que emplear durante los procedimientos de fluoroscopia.

Palabras clave

Radiación ionizante, fluoroscopia, exposición ocupacional, prevención, equipos de protección individual.

Índice

1. Introducción	1
2. Justificación	8
3. Objetivos	9
4. Material y Métodos	10
5. Resultados y Discusión	12
5.1 Riesgos de los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes.....	12
5.2 Medidas de protección	18
5.3 Valoración de las medidas de protección	29
5.4 Normativa	35
5.5 Análisis, Reflexión y Propuestas de la Normativa Vigente	39
5.6 Consideración Final.....	41
6. Conclusiones	43
7. Bibliografía	44



Índice de tablas y figuras

Tabla I. Estrategias de búsqueda y resultados	11
Tabla II. Propuesta de medidas de protección de primer y segundo nivel	32
Figura I. Chaleco plomado de protección radiológica	19
Figura II. Falda plomada de protección radiológica	19
Figura III. Protector tiroideo plomado.....	20
Figura IV. Gafas con protectores laterales	22
Figura V. Pantalla facial protectora.....	22
Figura VI. Gorro de protección.....	23
Figura VII. Cortinilla plomada.....	24
Figura VIII. Mampara suspendida del techo	25
Figura IX. Protector portátil	26
Figura X. Dosímetro pasivo, empaquetado.....	28
Figura XI. Dosímetro de muñeca	34

1. Introducción.

1.1 Historia de los rayos X.

La radiación ionizante lleva mucho tiempo siendo indispensable en la industria y la medicina. La radiología médica existe desde hace más de 120 años, desde que Röntgen enviara su primera publicación anunciando el descubrimiento de los rayos X en diciembre de 1895 (1). Röntgen levantó mucho interés en la comunidad científica con la publicación de la radiografía de su mano y la de su mujer (2). No en vano, este descubrimiento le llevó a ganar el premio Nobel de Física en el año 1901 (3). Rápidamente, los físicos comenzaron a reproducir su experimento y a desarrollar nuevas técnicas con menos radiación, que fueron empleadas fundamentalmente para el diagnóstico de fracturas óseas, así como la planificación del tratamiento de estas. De este modo, el manejo del traumatismo óseo cambió para siempre. Las radiografías llegaron a formar parte de la medicina militar durante la Primera Guerra Mundial. Las placas de tórax comenzaron a emplearse para la detección de la tuberculosis y, en poco tiempo, aparecieron los tránsitos baritados para el estudio del tracto gastrointestinal.

Los rayos X se pusieron de moda en los últimos años de la primera mitad del siglo XX, llegando a ser empleados en las zapaterías para demostrar los huesos del pie dentro del zapato.

Por su parte, los procedimientos intervencionistas endovasculares tiene sus inicios con la primera angiografía en humanos, que se realizó en 1923 (4). En 1953 se desarrolló la técnica de Seldinger, pilar fundamental de los procedimientos vasculares intervencionistas, que permite un abordaje percutáneo muy poco agresivo. Desde entonces, los servicios de radiología vascular no han hecho más que crecer (5). El número de procedimientos intervencionistas guiados por fluoroscopia ha aumentado hasta reemplazar a multitud de procedimientos invasivos en todo el mundo (6).

En la medicina occidental moderna, raro es el procedimiento diagnóstico que no lleva asociada una prueba de imagen. Ya sea para la identificación de un punto de sangrado activo a través de la cateterización selectiva de la arteria mesentérica o para la quimioembolización de un hepatocarcinoma (7), el volumen de pacientes de los servicios de radiología vascular es inmenso (5). Muchos de los pacientes oncológicos tendrán que pasar por los servicios de radiología intervencionista para la colocación de reservorios por los que administrar la quimioterapia. Los pacientes que sufran un ictus o la rotura de un aneurisma intracraneal

también deberán ser sometidos a procedimientos intervencionistas, a cargo del neurorradiólogo intervencionista (8). La terapia de reperfusión del infarto agudo de miocardio lleva asociada de manera casi indefectible la realización de un cateterismo cardíaco, llevado a cabo por un cardiólogo intervencionista. El tratamiento de las fracturas en quirófano, o la reducción de las mismas en la sala de urgencias, se realizan de manera casi inevitable con control asistido por fluoroscopia (9). El intervencionismo es, pues, una parte esencial de la medicina actual.

1.2 Radiaciones ionizantes

Las radiaciones ionizantes consisten en partículas subatómicas de ondas electromagnéticas que tienen la suficiente energía para ionizar átomos o moléculas, provocando la liberación de electrones de las mismas. Esta parte del espectro electromagnético recoge a los rayos gamma, la radiación ultravioleta y, por supuesto, a los rayos X. Es importante comprender las bases físicas de los efectos nocivos de la radiación, de cara a entender las diferentes estrategias de protección para los profesionales médicos y los pacientes. Al romperse estos enlaces e ionizar los átomos, se producen radicales libres, que son compuestos químicamente activos que pueden dañar el ADN de forma indirecta (9). Los profesionales sanitarios y los pacientes pueden verse expuestos a dichas radiaciones ya sea por la radiación dispersa o por exposición directa al haz de rayos X. La radiación dispersa cede parte de su energía durante el proceso de dispersión por lo que la energía depositada en los órganos y tejidos es menor que la que proviene directamente de la fuente de radiación.

Las dosis de radiación se pueden expresar de varios modos diferentes:

- La **dosis absorbida** es la radiación que se deposita en un objeto dado (cualquiera), y se mide en miligrays (mGy).
- La **dosis equivalente**, por su parte, se calcula para órganos específicos. Toma como base la dosis absorbida, pero se ajusta para tener en cuenta cada tipo de radiación y se expresa en milisieverts (mSv)(10).
- La **dosis efectiva**. Se calcula para todo el cuerpo. Resulta de la suma de la dosis equivalente para todos los órganos, ajustada por un factor de corrección que tiene en cuenta la sensibilidad de cada órgano a la radiación. También se expresa en mSv. Se emplea para estimar el riesgo de cáncer en los pacientes, y también para valorar la

dosis equivalente de todo el cuerpo en el personal ocupacionalmente expuesto en las salas de fluoroscopia (11).

Es importante entender estas definiciones de cara a interpretar las recomendaciones de dosis que establecen los organismos reguladores y la legislación.

Como ya hemos comentado, con el tiempo, el uso de las radiaciones ionizantes en el campo médico ha evolucionado hasta alcanzar nuevas indicaciones. Paralelamente, también ha aumentado la dosis acumulativa de radiación que reciben tanto la población general como el equipo médico (12). La mayor parte de la exposición a la radiación en el contexto médico procede de la fluoroscopia, que emplea rayos X para obtener imágenes dinámicas y cinemáticas, en tiempo real, que aportan información funcional (13).

Por otra parte, cabe destacar que el uso tan ampliamente extendido de las radiaciones ionizantes en el campo médico no está exento de efectos negativos en la salud de los sanitarios y pacientes. El primer caso de dermatitis radio-inducida fue comunicado en 1896. Al final de los años 40, los riesgos a largo plazo de la exposición a la radiación ionizante comenzaron a ser cuantificados (2). Históricamente, la mayor parte de los datos sobre los efectos biológicos de la radiación proceden de estudios epidemiológicos en poblaciones expuestas a altos niveles de radiación de forma aguda (14). Estos incluyen a supervivientes de las bombas atómicas y de accidentes nucleares, así como pacientes que han recibido altas dosis de radiación para el tratamiento de diferentes enfermedades. Los efectos deletéreos de la radiación son muy amplios, e incluyen desde la dermatitis hasta el desarrollo de tumores.

1.3 Protección radiológica.

La protección radiológica pretende reducir la exposición innecesaria a la radiación, con la intención de disminuir los efectos nocivos de la misma (12). Diferentes estudios demuestran que la formación reglada de los trabajadores en materia de protección radiológica ayuda a reducir la exposición a radiación en el equipo médico y los pacientes (15,16). Sin embargo, asegurar el cumplimiento de las guías de seguridad puede ser un proceso tedioso, dado que muchos especialistas no reciben formación reglada sobre la reducción de la dosis de radiación durante su periodo de aprendizaje (17). Esto es especialmente cierto para aquellos especialistas que emplean fluoroscopia fuera del ámbito de los servicios intervencionistas (18). La fluoroscopia se emplea en muchas especialidades: traumatología, urología, radiología

intervencionista, cardiología intervencionista, cirugía vascular y medicina digestiva. Conforme la exposición a la radiación se vuelve más prevalente, es importante un entendimiento completo de los riesgos que esta entraña, así como de las técnicas para su reducción.

Existen tres principios básicos en la protección contra la radiación: justificación, optimización y limitación de dosis (10).

En primer lugar, la **justificación** supone una valoración de los riesgos y beneficios de emplear radiación en procedimientos diagnósticos o terapéuticos. Los diferentes médicos especialistas tienen un papel esencial en informar a los pacientes de los efectos adversos potenciales de la exposición a la radiación. Los beneficios de la exposición deben estar claros y aceptados por la comunidad médica. Habitualmente, los procedimientos que exponen al paciente a mayores dosis, como los endovasculares, son necesarios desde el punto de vista médico y están más que justificados, dado que los beneficios sobrepasan con creces a los riesgos.

Con respecto a la **optimización**, tal y como queda recogido en el artículo 6 del Real Decreto 601/2019 (19), se debe buscar mantener las dosis individuales tan bajas como sea razonablemente posible, manteniendo siempre la coherencia con la finalidad médica de la exposición. En este sentido, el principio ALARA (*As Low as Reasonable Achievable*, o tan bajo como sea razonablemente posible o conseguible), se creó para asegurar que se toman todas las medidas para reducir la exposición a la radiación a la vez que se reconocía que la radiación forma ya una parte integral en el diagnóstico y tratamiento de los pacientes. Este principio es una máxima que no debe ser perdida de vista.

Cualquier cantidad de radiación a la que se vean expuestos los humanos incrementará el riesgo de efectos estocásticos, entre los que se encuentra la probabilidad de desarrollar cáncer tras la misma. Se cree que estos efectos ocurren en un modelo lineal, sin que exista un claro umbral que prediga con fiabilidad si se desarrollará o no un cáncer. Por esto mismo es tan importante tener siempre en mente el principio ALARA.

No obstante, dentro de la comunidad científica existe un grupo, con bajo apoyo, que piensa que el modelo ALARA está obsoleto cuando hablamos de bajas dosis de radiación (20). Postulan que el desarrollo de este modelo lineal, según el cual cualquier dosis de radiación es nociva, tiene su origen en razones políticas (21,22) e, incluso, que la evidencia científica es insuficiente en el rango de baja dosis.

La optimización también cuenta con el principio de no restricción de dosis. Los límites de dosis no se aplicarán a las exposiciones médicas. Existen dos excepciones en las que sí que se aplicarán restricciones de dosis, que son la protección de las personas cuidadoras y las personas voluntarias que participen en investigaciones médicas o biomédicas (19).

En tercer lugar, se encuentra la **limitación** de dosis. Se trata de limitar las dosis generadas en la sala de fluoroscopia y las dosis que pueden recibir los trabajadores ocupacionalmente expuestos, de acuerdo a los límites que recomienda la ICRP (*International Commission on Radiologic Protection*) (15), así como los que establezca la legislación vigente.

En particular, dentro de la sala de fluoroscopia, destacan tres métodos efectivos y productivos para reducir la dosis de radiación de los operarios y del resto de trabajadores que se encuentran en la sala. Estos son:

1.3.1 Tiempo.

Evidentemente, es esencial reducir el tiempo que se pasa en un “campo” de radiación. Se trata del primer principio de seguridad radiológica y reducción de la exposición. El tiempo de fluoroscopia se debe reducir para proteger al paciente y al equipo médico, si bien debe mantenerse un equilibrio que siga permitiendo el uso productivo de los rayos X para poder obtener el resultado deseado con la prueba.

Cuando se expone a un paciente a la radiación, el técnico o el médico deben planificar las imágenes necesarias para evitar radiación innecesaria o exposición redundante. Es decir, se debe tratar de producir el menor número de imágenes, sin que esto repercuta negativamente en el diagnóstico o el tratamiento del paciente. La magnificación aumenta la exposición del paciente por lo que debe usarse con prudencia (23). La fluoroscopia continua (en directo) puede ser útil para entender y visualizar mejor la anatomía durante los procedimientos. Esta técnica adquiere unas 35 imágenes por segundo. El uso la fluoroscopia pulsada (que toma 5 imágenes por segundo, sin sacrificar la calidad de imagen) así como poder visualizar la última imagen obtenida en cada serie, sin necesidad de repetir la adquisición, suponen mejoras técnicas que permiten reducir el tiempo total de exposición durante la producción de rayos X (11).

1.3.2 Distancia.

La dosis de radiación se determina por la ley de la inversa del cuadrado, según la cual la dosis es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de la fuente emisora. La principal fuente de exposición a radiación en el equipo que trabaja con fluoroscopia es la radiación dispersa procedente del paciente, y no del tubo de rayos X (24). Entender esta ley ayudaría al personal a reducir su exposición. De este modo, a mayor distancia, menor radiación. Duplicando la distancia con el paciente, el personal queda expuesto a $\frac{1}{4}$ de la radiación. Queda claro que la distribución del personal durante los procedimientos intervencionistas es crítica en su protección. En ocasiones es imprescindible que el médico intervencionista esté cerca del paciente, si bien durante el uso de la fluoroscopia todo el personal no indispensable debería estar fuera de la sala o, en su defecto, lo más lejos posible del paciente.

En la medida de lo posible, se intentará emplear bombas de inyección de contraste controladas automáticamente, que permitan al personal salir de la sala durante la toma de imágenes, evitando así exposiciones innecesarias.

De acuerdo con las medidas básicas propuestas, aumentar la distancia entre el haz de rayos X y la parte del cuerpo que está siendo radiada también es otra forma de reducir la exposición. Así, el intensificador o la placa de rayos X debe permanecer lo más cerca posible del paciente, con el tubo colocado tan lejos como sea posible sin que ello suponga un detrimento en la resolución de la imagen.

1.3.3 Blindaje.

La normativa obliga al equipo de trabajo intervencionista a llevar equipos de protección individual (EPIs) de cara a reducir la dosis de radiación recibida y proteger así al personal (25–28). Se trata de vestimenta especializada que, históricamente, lleva un recubrimiento de plomo. Nos encontramos con delantales de cuerpo completo o en dos piezas (chaleco y falda), que permiten distribuir el peso en dos puntos. También existen protectores tiroideos, gafas y guantes plomados.

Igualmente, existen una serie de “escudos” en las salas de intervencionismo, cortinas que se colocan en la parte lateral de la camilla, entre el paciente y el personal, como protección

adicional, así como mamparas acrílicas suspendidas desde el techo que protegen la parte superior del cuerpo y el cuello (29).

Recientemente se han desarrollado nuevos equipos, más ligeros que los plomados, con materiales como polvos de tungsteno o bismuto (30–32) con caucho de silicona, que evitan las grietas que se pueden producir en los plomados.



2. Justificación.

El uso de las radiaciones ionizantes está a la orden del día en todos los hospitales de los países desarrollados. Además, en los últimos años existe una clara tendencia creciente en el número de procedimientos realizados en los que se emplean dichas radiaciones.

Conforme avanza la medicina, los procedimientos mínimamente invasivos son capaces de obtener los mismos (o incluso mejores) resultados que las cirugías agresivas, con menores efectos adversos para los pacientes. La mayor parte de estos procedimientos se realizan guiados con fluoroscopia.

El creciente aumento de dichos procedimientos guiados por rayos X lleva asociado un aumento concurrente en el número de trabajadores sanitarios que realizan el intervencionismo. Por ello, existe una importante necesidad de implementar una cultura de protección radiológica (33).

Existe una preocupación por parte de la sociedad (pacientes y trabajadores sanitarios) acerca de los riesgos nocivos que supone el empleo de la radiación ionizante. La disponibilidad de imagen, que permita el mejor diagnóstico o tratamiento, no debe serle negada a un paciente solo por miedo a los riesgos que entrañe el empleo de radiaciones ionizantes para el propio paciente o para los trabajadores expuestos.

Multitud de publicaciones recogen los riesgos que implica para el personal sanitario el uso de las radiaciones ionizantes. Consideramos oportuno realizar una revisión de la literatura para aunar los diferentes riesgos a los que se ven expuestos los trabajadores sanitarios e identificar las estrategias de educación y prevención que existen para evitar los efectos deletéreos de las radiaciones ionizantes en base a la normativa disponible.

3. Objetivos.

Los objetivos del presente trabajo son:

Objetivo **general**:

- Realizar una puesta al día de los diferentes riesgos a los que se ven expuestos los profesionales sanitarios que trabajan con radiaciones ionizantes en el ámbito hospitalario, con especial atención a los servicios en los que se emplea fluoroscopia, y una actualización sobre las medidas de protección disponibles y el marco legal.

Objetivos **específicos**:

- Identificar, a través de una revisión de la literatura, cuáles son las mejores estrategias para la prevención de los citados riesgos en los trabajadores ocupacionalmente expuestos.
- Detectar qué aspectos de la normativa y de las medidas de prevención son potencialmente mejorables, y cuya implementación supondría una mejora en las medidas de protección actuales para la reducción de exposición a radiaciones ionizantes.

4. Material y métodos.

Para la realización del presente trabajo, se ha realizado una revisión narrativa de la literatura a través de una extensa búsqueda bibliográfica de artículos científicos con información relevante sobre los riesgos y las medidas de protección frente a la exposición a radiaciones ionizantes entre los médicos intervencionistas ocupacionalmente expuestos. Dicha revisión ha sido realizada mediante búsqueda electrónica de artículos y revisiones publicadas en las bases de datos de MEDLINE (PUBMED) y COCHRANE.

Para ello, se ha empleado una serie de palabras clave extraídas de los descriptores incluidos en el MeSH (Medical Subject Headings). Las palabras clave empleadas, así como las estrategias de búsqueda utilizadas, quedan recogidas en la Tabla 1.

La búsqueda se realizó en las fechas comprendidas entre el 1 de marzo de 2021 hasta el 30 de junio de 2021, y se limitó por año de publicación (últimos 15 años), idioma (inglés y/o español) y tipo de estudios (revisiones, revisiones sistemáticas y metaanálisis).

Finalmente, se han seleccionado solo los artículos para los cuales estaba disponible el texto completo, bien de manera gratuita, o bien mediante el acceso proporcionado por las bibliotecas virtuales de la Universidad Miguel Hernández, la Universidad de Murcia, el Servicio Murciano de Salud y el catálogo para socios de la Sociedad Española de Radiología Médica (SERAM).

Se recuperaron un total de 193 trabajos. Se descartaron aquellos trabajos que no cumplían con los objetivos de nuestra revisión tras la lectura de título y resumen, quedando 51. Se descartaron 18 trabajos por ser duplicados, obteniendo un número final de 33.

Se incluyeron 8 trabajos, tras realizar una búsqueda manual de aquellos artículos que proporcionaban una información adicional especialmente relevante, de entre las referencias recuperadas.

Se ha realizado un análisis crítico extenso de los datos procedentes de los diferentes artículos y revisiones. Los datos han sido divididos en dos grandes apartados: artículos con información sobre los riesgos que implica la exposición a las radiaciones ionizantes, y artículos con información sobre las medidas de protección frente a dichas radiaciones.

El tipo de análisis empleado ha sido la síntesis narrativa, realizando un resumen de la información contenida en las diferentes revisiones y artículos, y agrupándola en los apartados correspondientes.

Número de búsqueda	Base de datos	Estrategia	Resultados
1	MEDLINE	Fluoroscopy [tiab] AND occupational exposure [tiab]	8
2	MEDLINE	ionizing radiation [tiab] AND occupational exposure [tiab]	40
3	MEDLINE	Ionizing radiation AND personal protective equipment (NOT COVID)	67
4	MEDLINE	Fluoroscopy AND personal protective equipment	16
5	MEDLINE	Interventional radiology AND personal protective equipment	24
6	MEDLINE	Fluoroscopy AND radiologic protection AND medical worker	7
7	MEDLINE	Ionizing radiation AND radiologic protection AND medical worker	16
Total artículos MEDLINE:			178
8	COCHRANE	Fluoroscopy	1
9	COCHRANE	Ionizing radiation	6
10	COCHRANE	occupational exposure	5
11	COCHRANE	Personal protective equipment	3
Total artículos COCHRANE:			15
Artículos totales:			193

Tabla I. Estrategias de búsqueda y resultados.

5. Resultados y Discusión.

5.1 Riesgos de los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes.

Resulta más que claro que la exposición a la radiación puede producir efectos biológicos. Los efectos biológicos de la radiación se pueden clasificar en estocásticos y deterministas (reacciones tisulares).

- **Estocásticos:** Aunque la probabilidad de desarrollar efectos estocásticos aumenta con la dosis de radiación, la gravedad de los mismos es dosis-independiente. Se habla, pues, de probabilidad dosis-dependiente, sin que exista un determinado umbral a partir del cual aparezca el efecto (34). Existe la posibilidad de que una exposición determinada produzca un daño específico en el ADN que más adelante lleve al desarrollo de una neoplasia. Así, este tipo de efectos, incluye, entre otros, a las neoplasias radio-inducidas (15). Los estudios epidemiológicos demuestran que la susceptibilidad a los efectos estocásticos de la radiación varía según la edad, el sexo, el órgano expuesto y el tipo de radiación (35). Como norma general, cuanto más joven se produce la exposición, mayor incidencia de cáncer y mayor mortalidad (36–38). Suelen desarrollarse muchos años después de la exposición.
- **Deterministas.** También llamados reacciones tisulares. Son efectos dosis-dependiente, que ocurren indefectiblemente cuando se sobrepasa un determinado umbral. Entre estos, se encuentran la tiroiditis o la dermatitis radioinducida, la depilación permanente, la necrosis de la piel y la infertilidad (13,39). Históricamente, estos efectos se producían por exposición directa al haz de rayos X durante los procedimientos. Si bien ahora son menos frecuentes, todavía se siguen produciendo casos de necrosis en la mano (40). Se dice que los efectos deterministas dependen de la dosis acumulada de exposición a radiación que experimenta un órgano o tejido con el paso del tiempo.

Debemos tener en cuenta que es complicado investigar los efectos a largo plazo de la exposición a radiaciones ionizantes dado que la mayor parte de los estudios publicados se basan en datos epidemiológicos de grandes cantidades de radiación, a dosis mucho más altas que las empleadas en el ámbito médico. La literatura actual, como veremos más adelante,

sugiere que la radiación médica produce un leve incremento en el riesgo de cataratas, cáncer y enfermedades hereditarias (41).

5.1.1 Cánceres radioinducidos.

Uno de los principales riesgos de las radiaciones ionizantes es el desarrollo de mutaciones en el material genético de las células (ADN). Estas mutaciones pueden dar lugar al desarrollo de determinados tumores, hallazgo que ya fue observado en radiólogos durante la primera mitad del siglo XX (42–44) Existe un estudio que determinó que la tasa de mortalidad por cáncer entre radiólogos que trabajaron durante más de 40 años en la primera mitad del siglo XX era un 40% superior a la del resto de médicos (45).

Por otra parte, bien es cierto que la frecuencia de tumores radioinducidos ha disminuido con el desarrollo de medidas de prevención que reducen la exposición a radiaciones ionizantes. Estudios posteriores demuestran que las tasas de mortalidad global y de mortalidad por cáncer son similares entre radiólogos (y otras especialidades expuestas a radiaciones ionizantes) y el resto de médicos (46). Probablemente y como veremos más adelante, esto se deba a las medidas de protección empleadas.

5.1.1.1 Cáncer de piel.

El cáncer de piel fue el primero para el que se demostró una relación causa-efecto con la radiación (47). Estos fueron observados especialmente a principios del siglo pasado, llegando a existir una mortalidad hasta 10 veces mayor entre radiólogos que en el resto de especialistas (48). Podemos distinguir entre el carcinoma escamoso, que están producidos por dosis elevadas acumuladas durante largos periodos de exposición, asociados pues con la complicación tardía de la radiodermatitis o la ulceración (49). Por otra parte se encuentra el carcinoma basocelular, que sí presenta asociación dosis-respuesta (50). Es más dudosa su asociación con el melanoma, aunque parece que aumenta su incidencia con un Hazard Ratio de 1.3 (51).

5.1.1.2 Cáncer de mama.

No existe clara evidencia de cáncer de mama radioinducido posterior a los años 70-80 (46), probablemente por mejoras en la formación del personal y mejoras técnicas en las máquinas empleadas. Previamente, sí se había observado un aumento en su incidencia entre trabajadoras expuestas a altas dosis ocupacionales, llegando a existir hasta un 70% más de

incidencia que entre otras trabajadoras no expuestas (52). Existía incluso relación con los años trabajados y con la edad a la que comenzaba la exposición (53).

5.1.1.3 Leucemia.

Entre 1920 y 1940 se observó un aumento significativo de la incidencia y mortalidad por leucemia entre los radiólogos de Estados Unidos (48). El riesgo era especialmente elevado entre trabajadores que comenzaron su exposición entre los 20 y los 25 años (52), al igual que sucedía entre los supervivientes de los bombardeos atómicos (54).

Por suerte, no existe evidencia de aumento del riesgo de leucemia en trabajadores médicos expuestos a radiaciones ionizantes desde los años 70 (46).

5.1.1.4 Cáncer de tiroides.

La exposición a la radiación es un claro factor de riesgo para el desarrollo de cáncer de tiroides, siendo el más frecuente el carcinoma papilar (14). Sin embargo, el estudio con mayor tamaño muestral llevado hasta la fecha sugiere que no hay mayor riesgo de cáncer de tiroides entre los trabajadores sanitarios (38), aunque probablemente sea debido al uso extendido de protectores. La sensibilidad a la radiación de este órgano disminuye con la edad, por lo que es especialmente importante evitar la exposición antes de los 20 años (55,56).

5.1.1.5 Cáncer cerebral.

El único factor ambiental relacionado de manera inequívoca con los tumores cerebrales es la radiación ionizante (14,57). La mayor parte de la evidencia procede de niños expuestos a radioterapia. Roguin publicó una serie de 31 casos de cáncer cerebral entre médicos que realizaban intervencionismo (58). La mayor parte de los mismos se localizaba en el lado izquierdo que es el más expuesto al haz de rayos X. El tipo de cáncer cerebral más frecuentemente reportado entre los médicos intervencionistas es el glioblastoma multiforme (58,59).

Además, Rajaraman (51) observó que la incidencia de la mortalidad por cáncer cerebral era significativamente mayor entre los técnicos de radiología que realizaban procedimientos guiados por fluoroscopia, comparado con aquellos que no realizaban dichos procedimientos. Estos datos, a priori, parecen extrapolables al resto del personal sanitario que trabaja en la sala.

5.1.2 Lesiones cutáneas no cancerosas.

Las lesiones cutáneas entre los trabajadores médicos expuestos a radiación ionizante se encuentran entre los primeros riesgos descritos del empleo de dichas radiaciones. Entre dichas lesiones se encuentra el eritema, la formación de ampollas, la radiodermatitis y la ulceración (60). La mayor parte de dichas lesiones resultaban del empleo de máquinas de rayos X de baja calidad, así como de la exposición directa del operador al rayo. Con el entendimiento de los riesgos de las altas dosis ocupacionales, estos efectos se han vuelto cada vez menos comunes.

Sin embargo, un efecto todavía observado en médicos intervencionistas es la depilación permanente de las extremidades inferiores (61).

5.1.3 Enfermedad cardiovascular radioinducida.

La enfermedad cardiovascular está claramente relacionada con el uso de radioterapia para el linfoma y el cáncer de mama (62,63). También parece existir esa asociación entre los supervivientes de las bombas atómicas (64,65). En los estudios llevados a cabo en la primera mitad del siglo XX, se encontró un aumento en la mortalidad cardiovascular entre los radiólogos, si bien pueden estar sesgados por factores de confusión. Estudios más recientes (66), reflejan un aumento significativo en la incidencia de ictus entre técnicos que realizan procedimientos intervencionistas guiados por fluoroscopia, con respecto a los técnicos que nunca los han realizado. Sin embargo, no parece existir un aumento en la mortalidad por ictus, en la incidencia de hipertensión o en el infarto de miocardio. Teniendo en cuenta los límites de radiación existentes actualmente, un radiólogo puede recibir una dosis en la arteria carótida tan alta como 167 mGy/año, con lo que se superaría el umbral aceptado para la enfermedad cardiovascular (14). Esto implicaría que los límites actuales de dosis efectiva deberían ser reducidos a la mitad para alcanzar un nivel aceptable de riesgo (46).

Lo que sí queda claro en la literatura es que se produce un aumento del grosor de la capa interna de la arteria carótida (59) (índice íntima-media, un parámetro empleado para valorar el riesgo cardiovascular, marcador precoz de la aterosclerosis (67)). Se ha observado un aumento patológico del mismo en cardiólogos intervencionistas, en el grupo de alta exposición, que parece correlacionar con la dosis adquirida a lo largo de la vida (68).

5.1.4 Cataratas.

La asociación entre cataratas y exposición a la radiación es conocida desde hace mucho tiempo. Desde mitad del siglo pasado hasta hoy, se siguen redefiniendo la relación dosis-respuesta para este riesgo de las radiaciones ionizantes (46). Los primeros estudios parecían apuntar a un límite para la formación de cataratas por debajo de los 2 Gy (60,69). Los organismos internacionales han propuesto, históricamente un límite para la lente de 150 mSv (15,70). En los últimos años el límite parecía situarse en 5Gy (15). No obstante, este límite sigue poniéndose en duda (71,72). Parece existir una relación entre la exposición a largo plazo a radiaciones bajas y la formación de cataratas, si bien existen estudios que proponen, incluso, que no exista umbral a partir del cual se produzcan cataratas (73). Además, el periodo de latencia para el desarrollo de cataratas es controvertido. Los estudios a raíz del accidente de Chernóbil parecen sugerir periodos de hasta 30-45 años (74). Así y en respuesta a esta controversia, la ICRP propuso un umbral de formación de cataratas de 0.5 mGy y recomienda una dosis equivalente de 20 mSv/año en la media de 5 años, no pudiendo ningún año superarse los 50 mSv (75). Estudios con simuladores indican que el teórico umbral para la formación de cataratas radio-inducidas podría sobrepasarse después de solo algunos años (76).

Las cataratas suponen una discapacidad ocupacional significativa, disminuyendo la sensibilidad al contraste visual, lo que supone un riesgo importante en la carrera del médico intervencionista (77). La mayor parte de las cataratas radioinducidas tienen una localización subcapsular posterior, como rasgo distintivo (13).

5.1.5 Riesgos intraútero.

Nuevamente, los estudios de los supervivientes a las bombas atómicas encontraron que los niños que habían sido expuestos a altas dosis de radiación intraútero tenían mayores tasas de microcefalia y retraso mental (60,78). El periodo crítico parece ser entre las 8 y 15 semanas de edad gestacional, en las que el feto es más susceptible a la radiación, debido a los procesos de migración neuronal que acontecen. Parece existir una dosis umbral de 200 mGy a partir de la cual se produce el retraso mental.

Otro de los riesgos fetales es el de las malformaciones, debido a la irradiación durante la formación de los órganos. Guarda importante relación con la edad gestacional y el cáncer

infantil (79). Por suerte, las dosis parecen ser controlables, con riesgo de cáncer a partir de 10 mGy (79) y riesgo de malformaciones con dosis aún mayores.

En Estados Unidos, el límite establecido es de 5 mSv durante todo el embarazo, distribuido de forma homogénea durante el periodo gestacional, no pudiendo sobrepasarse 0.5 mSv por mes (80). En cualquier caso, la Comisión Europea aboga por que las condiciones laborales busquen que el feto no sobrepase el límite de 1 mSv en lo que reste de embarazo desde el momento en el que este es conocido (81).

La esterilidad no debe ser una preocupación para los trabajadores expuestos, ya que se trata de un efecto determinista que requiere dosis mucho más altas que las establecidas como umbral para producir, incluso, esterilidad temporal (46).

En general, no se esperan efectos fetales observables en trabajadoras expuestas cuando estas emplean las medidas adecuadas de protección radiológica (82,83). Un delantal con una equivalencia de plomo de 0.5mm parece adecuado para la protección de las trabajadoras embarazadas (84).

Así, la mayor parte de las trabajadoras no necesitan limitar su tiempo de procedimientos en la sala para permanecer por debajo de la dosis límite (13).

Cabe destacar que es obligatorio declarar el embarazo para las trabajadoras expuestas a radiación, ya que estas trabajadoras serán sujetas a dosis fetales reducidas, y serán monitorizadas con dosímetros ocupacionales especiales, que se colocarán bajo el delantal plomado, en el vientre.

5.1.5 Otros riesgos.

Otro de los riesgos descritos es el de problemas de memoria, observando peores puntuaciones en test estandarizados en un estudio italiano que comparaba a cardiólogos intervencionistas con otros trabajadores médicos no expuestos (85). Estos hallazgos son consistentes con los evidenciados en pacientes pediátricos sometidos a radioterapia (86).

Además, está descrita una aceleración del proceso de envejecimiento (87), debido a la mencionada formación de radicales libres y al daño asociado que implica en el material genético (ADN) (88).

5.2 Medidas de protección.

5.2.1 Equipos de protección individual.

La legislación española, como ya ha sido comentado, establece que el personal de las salas en las que se emplea fluoroscopia debe ir adecuadamente protegido contra los riesgos que entraña el empleo de radiación ionizante.

5.2.1.1 Vestimenta.

Existen diferentes tipos de vestimenta disponibles. La mayor parte de los equipos de protección individual empleados consisten en material plomado. Por desgracia, esta composición no está exenta de riesgos. El plomo es altamente tóxico, sin que ningún nivel de plomo sea considerado seguro. Los estudios demuestran que se forma un polvo de plomo que se queda en la superficie de los delantales (89), lo que entraña riesgo para los trabajadores.

Los materiales de protección no plomados pueden conseguir igual o mejor protección que los plomados, pero sin la toxicidad asociada (32). Los únicos Equipos de Protección Individual (EPIs) no plomados que han aprobado los test de la nueva normativa son los bicapa (87). Están formados por una capa externa constituida por un metal de menor masa atómica como el antimonio, y una capa interna, más próxima a la piel, de un metal más pesado como el bismuto. Este metal más pesado protege contra la fluorescencia que genera el metal más ligero.

Desde Abril de 2019, es obligatorio para los equipos de protección individual radiológica cumplir con la nueva regulación europea 2016/452-EC para obtener el marcado CE y poder ser comercializados en la Unión Europea (90).

Podemos encontrar prendas en una sola pieza (delantales) y prendas de dos piezas (chaleco y falda) (*Figura I y Figura II*, respectivamente). Estas últimas (las de dos piezas), presentan la ventaja de disminuir el riesgo ergonómico al distribuir el peso entre los hombros y las caderas (91).



Figura I. Chaleco plomado de protección radiológica.



Figura II. Falda plomada de protección radiológica.

La vestimenta de protección se suele comercializar delantales con espesores equivalentes de plomo de 0.25, 0.35 y 0.5mm. El empleo de espesor equivalente de 1mm proporciona mínima protección adicional, pero conlleva un incremento considerable del riesgo ergonómico (92). Se estima que un espesor equivalente de plomo de 0.5mm transmite aproximadamente entre un 0.5-4% de la radiación dispersa de un rayo de fluoroscopia, mientras que el espesor de 0.35mm transmite un 2-8.5% (93). Cabe destacar que muchos delantales presentan menor protección en la zona dorsal que en el frente, por lo que todos deben estar claramente etiquetados con su equivalencia de plomo en el frente y en el dorso.

5.2.1.2 Protector tiroideo.

Como ya hemos visto, la glándula tiroidea es un órgano sensible a la radiación, más aún cuanto menor es la edad de la persona expuesta.

Existen protectores tiroideos plomados (*Figura III*) que permiten reducir la dosis equivalente al tiroides por un factor de hasta 12 (94) en el caso de 0.5mm de plomo y por un factor de 7 en el caso de 0.35mm. Sin embargo, los protectores tiroideos resultan incómodos cuando se aprietan adecuadamente, por lo que lo habitual es llevarlos algo más holgados, lo que resulta en una posición inadecuada del mismo exponiendo la porción más superior de la glándula tiroidea (95), por lo que la reducción final de la dosis equivalente acaba siendo menor. Es por ello que se hace especialmente importante combinar los protectores tiroideos con otro tipo de protectores ubicados en la sala de intervencionismo, que serán comentados más adelante.



Figura III. Protector tiroideo plomado.

5.2.1.3 Gafas.

Las gafas plomadas ofrecen protección contra las cataratas radio-inducidas y, además, protegen contra salpicaduras de fluidos corporales potencialmente contaminados, lo que podría suponer un riesgo biológico (95).

El uso de estos protectores ha demostrado reducir sustancialmente la dosis del cristalino, disminuyendo así el riesgo de desarrollo de cataratas (96). La protección debe ser cómoda para el médico intervencionista. Existen diferentes tipos de protectores, que confieren diferentes niveles de protección (97).

Las gafas plomadas están disponibles en diferentes grosores de plomo equivalente. Las más pesadas serían las de 0.75mm, que recuden la dosis aproximadamente un 85% (98,99).

El factor de reducción de dosis proporcionado por las gafas protectoras varía en función del ángulo con el que la radiación dispersa procedente del paciente alcanza la cabeza del médico intervencionista (98). Con relativa frecuencia, los ojos se irradian desde los lados y atrás, con un ángulo de entre 20° y 90° con respecto al plano horizontal. Lo cierto es que la mayor parte del tiempo, con la emisión de rayos X durante el procedimiento, los médicos suelen observar las imágenes en el monitor, en lugar de mirar al paciente, del que procede la radiación. De este modo, la radiación dispersa suele “colarse” por el lateral de las gafas, donde en muchas ocasiones no existe protección (95).

Además, los rayos X no atenuados alcanzan los tejidos próximos a los ojos, desde donde se puede producir radiación dispersa que incida sobre el cristalino (100).

La mayor parte de las gafas presenta una protección equivalente de 0.75mm o 0.5mm de plomo, y muchas incorporan protección en los laterales de 0.5mm o 0.3mm de plomo equivalente. Existen diferentes tipos de diseños, a saber:

- Gafas plomadas especiales con lentes planas gruesas y protectores laterales (*Figura IV*).
- Gafas plomadas con correa de seguridad y lentes frontales anguladas para proteger de la radiación lateral. Proporcionan mejor protección contra la radiación procedente de los lados y de abajo, ya que las franjas que quedan entre la montura y la cabeza suelen ser menores.
- Gafas plomadas adaptadas de gafas convencionales, con protectores plomados laterales adicionales.

- Gafas diseñadas para poner sobre las gafas de corrección visual, que suelen ser más voluminosas y con mayores espacios que permiten el paso de radiación.
- Pantallas faciales con baja equivalencia de plomo (0.1mm), sujetas con una banda a la cabeza (*Figura V*).



Figura IV. Gafas con protectores laterales.



Figura V. Pantalla facial protectora.

Aunque muchos de los estudios existentes con respecto a la formación de cataratas en procedimientos intervencionistas carecen de información dosimétrica precisa, parece claro que sin los equipos de protección individual, la posibilidad de que un médico intervencionista exceda el umbral de dosis recomendado por la ICRP es muy alta (101).

5.2.1.4 Guantes plomados.

Existen guantes protectores, finos, que pueden ser empleados para la protección de las manos del médico intervencionista. La protección ofrecida oscila entre un 15-60%. Sin embargo, si el guante se introduce en el campo del rayo, la dosis se incrementará automáticamente para compensar la atenuación, con lo que incrementará la exposición del paciente y no se logrará gran protección adicional para el médico intervencionista (102).

Existen nuevos materiales protectores, como el bismuto, que se han comercializado en forma de crema de manos. La crema sería aplicada y posteriormente se emplearía un guante quirúrgico para contener la crema (y proporcionar esterilidad al procedimiento) (103). Por desgracia, estas cremas presentan el mismo potencial de incrementar la dosis si la mano se introduce en el campo de radiación. Además, el empleo de material de atenuación de radiación también implica una reducción de la sensibilidad táctil del médico intervencionista, lo que implica un aumento del tiempo de fluoroscopia y, por tanto, de dosis recibida (104).

5.2.1.5 Gorros.

Existen también gorros para la protección de la cabeza, y, por tanto, del cerebro (*Figura VI*). Se trata de gorros quirúrgicos que contienen bismuto o bario, para bloquear la radiación. Deben cubrir tanta frente como sea posible, para conferir la mayor protección. Algunos estudios demuestran que su empleo proporciona atenuación y disminución de la dosis que recibe el cerebro de los médicos intervencionistas (105). No obstante, un estudio más reciente parece indicar que estos gorros no proporcionan protección para el cerebro del intervencionista, dada la geometría con la que la radiación alcanza la cabeza (106).



Figura VI. Gorro de protección

5.2.2 Protectores en la sala.

5.2.2.1 Cortinillas plomadas.

En la mayor parte de los procedimientos, el tubo de rayos X se encuentra posicionado bajo la mesa, por lo una parte importante de la radiación procede de debajo (24). Estas cortinillas (*Figura VII*) habitualmente, cubren solo una porción de un lado de la mesa, aunque lo ideal sería que se encontrasen en ambos lados, y que llegasen hasta el suelo (87). Su uso permite disminuir la radiación secundaria que se genera con la dispersión del haz de radiación en el paciente y en la superficie de la mesa (29).



Figura VII. Cortinilla plomada.

5.2.2.2 Mamparas suspendidas del techo.

Son un tipo de mamparas protectoras transparentes, de cristal o plástico, que se cuelgan del techo de la sala de intervencionismo (*Figura VIII*), y quedan suspendidas entre el paciente y el médico intervencionista (29). Son móviles y articuladas. Deberían emplearse dos mamparas, una a cada lado, siempre que haya gente trabajando a ambos lados del paciente.

Resultan críticos para disminuir la radiación dispersa y proteger la parte superior del cuerpo, tiroides, los ojos y la cabeza, de los riesgos mencionados en el apartado anterior. Deberían ser posicionados cerca del operador (107). Su empleo no exime del uso de gafas plomadas o protectores tiroideos



Figura VIII. Mampara suspendida del techo.

5.2.2.3 Protectores del paciente.

Además de la radiación bajo la mesa, la otra principal fuente de exposición es la radiación secundaria procedente del paciente. Es posible emplear escudos protectores estériles, colocados entre el operador y el paciente, pero fuera del haz primario de radiación. Estos escudos están compuestos de tungsteno/antimonio, pueden ser desechables o reutilizables, y en ocasiones contienen orificios por los que el personal puede introducir los catéteres para trabajar (95). Se ha demostrado una reducción significativa en la dosis de radiación recibida por el operador en el tórax, así como en los ojos y el cerebro (108).

Sería especialmente interesante emplear este tipo de protectores en aquellos procedimientos en los que el personal deba situarse muy cerca de la porción irradiada del paciente.

5.2.2.4 Protectores portátiles.

Se trata de una capa de protección adicional, compuesta por protectores portátiles con ruedas (*Figura IX*), que se colocan en momentos de mayor exposición, como cuando la cortinilla plomada no llegue a proteger la parte inferior del cuerpo (29) . Podrían llegar a situarse detrás del operador para evitar la radiación dispersa procedente de esta zona (109). También permitirían proteger al resto del personal de la sala, al poder moverlos libremente durante todo el procedimiento.



Figura IX. Protector portátil

Así, empleando múltiples protectores y entendiendo cómo estos deben ser colocados, podemos reducir la exposición de todos los presentes en la sala (110). El empleo conjunto de todas estas medidas puede bloquear el 90% o incluso más de la radiación antes de que llegue a alcanzar al operador (111).

Es cierto que el nivel de reducción de dosis depende de si está adecuadamente posicionado. Debe situarse por encima del paciente, de forma que el operador pueda ver el área irradiada a través de la mampara acrílica.

5.2.3 Dosímetros.

Los dosímetros, aunque no son elementos que confieran por sí mismos protección radiológica, sí constituyen un elemento esencial en la protección para los médicos intervencionistas.

Los dosímetros son dispositivos que miden la acumulación de exposición a radiación. Todo el personal del hospital que trabaje con radiaciones ionizantes debe llevar un dosímetro.

La dosis que recibe el operador de fluoroscopia se suele estimar empleando dosímetros, que se colocan habitualmente sobre la clavícula, por encima del protector plomado. Algunas organizaciones, como el *National Council on Radiation Protection and Measurements* de Estados Unidos, recomiendan llevar un segundo dosímetro debajo del protector, en la cintura o el pecho, para estimar mejor la dosis efectiva y valorar la atenuación que proporciona el equipo protector (13).

Habitualmente se emplean dosímetros de cuerpo entero, que estiman la dosis equivalente calibrada para los tejidos blandos más superficiales, que se ven alcanzados por radiación con baja capacidad de penetración; y los tejidos blandos más profundos, afectados por la radiación fuertemente penetrante (112).

Por otra parte, existen dosímetros de extremidades, que pueden emplearse, por ejemplo, en la muñeca. Su función es evaluar la dosis equivalente en extremidades, y tienen su utilidad en procedimientos endovasculares intervencionistas.

En tercer lugar podemos mencionar los dosímetros de anillo, que se colocarían por debajo de los guantes empleados y valorarían la dosis equivalente en las manos (95).

De acuerdo con su funcionamiento existen, esencialmente, dos tipos de dosímetros:

- Dosímetros **pasivos**: se trata de dispositivos pequeños y ligeros, que pueden emplearse sin interferir con la movilidad del médico durante los procedimientos (*Figura X*). Son los más empleados, especialmente para demostrar cumplimiento de los límites de dosis establecidos (95). La lectura de estos dosímetros se produce de forma diferida, al acabar un periodo determinado de tiempo (mensual, por ejemplo), por el servicio de Radiofísica Hospitalaria (19). Los datos deben ser comunicados al servicio de Prevención, de acuerdo con la normativa vigente (113). Existen dos tipos:
 - Dosímetros de placa. Consta de dos partes, la película fotográfica (sensible a la radiación incidente) y un soporte. Tras su uso, la película

- se revela y se examina, determinando así la dosis a la que estuvo expuesto el dosímetro (11).
- Dosímetros termoluminiscentes. Contienen pequeños chips de cristales de fluoruro de litio o de calcio, que al ser calentados liberan fotones de energía, indicando así la dosis a la que han estado expuestos (11).
- Dosímetros **activos o electrónicos**. Se trata de dosímetros en tiempo real, que podrían proporcionar información continua de la dosis recibida, lo que favorecería la concienciación sobre la exposición y permitiría reducir la dosis (114).



Figura X. Dosímetro pasivo., empaquetado.

5.3 Valoración de las medidas de protección.

Las medidas de protección disponibles frente a las radiaciones ionizantes en el ámbito de la fluoroscopia son muy amplias. Existen desde elementos de protección individual (EPIs) hasta elementos que se disponen en diferentes lugares de la sala de intervencionismo, todos ellos con el objetivo común de reducir la dosis que recibe el personal intervencionista.

En este sentido y en base a la evidencia disponible, proponemos como equipos de protección **indispensables**, a los que hemos llamado de primer nivel:

1. Vestimenta de protección.

Se trata del equipo de protección individual más ampliamente utilizado (115) , que proporciona una protección robusta frente a las radiaciones ionizantes, aunque lleva asociado el riesgo de lesiones osteomusculares (116). Consiste en delantal plomado o chaleco (Figura I) y falda (Figura II), con un espesor equivalente de plomo de 0.5mm. Es preferible el empleo de una prenda en dos piezas, por el menor riesgo de lesiones osteomusculares asociadas a su uso, en comparación con las de una pieza (46,95,117).

Asimismo, resulta controvertido decidir si deberían emplearse protectores plomados o con otros elementos más ligeros y menos tóxicos (bicapa). La literatura disponible no es clara, postulándose que son más ligeros simplemente porque confieren menor protección en su conjunto (118). Un protector no plomado de un espesor de 0.5mm equivalentes, proporcionaría una protección similar a la de un protector plomado de 0.35-0.5mm (118). En cualquier caso, parece que los materiales no plomados podrían constituir una buena alternativa (32).

2. Protector tiroideo.

Deben emplearse siempre, cubriendo la mayor parte de la glándula tiroidea (115). Dado que el tiroides es especialmente sensible a la radiación en las personas jóvenes, es interesante generar una concienciación temprana sobre los riesgos de la exposición y la importancia de la protección.

3. Gafas protectoras.

Aunque existe duda en cuanto al umbral a partir del cual se desarrollan las cataratas radioinducidas, la literatura es clara en lo que se refiere al empleo de gafas protectoras. Su uso disminuye el riesgo de cataratas, por lo que deben formar parte del equipo de protección obligatorio, más aún teniendo en cuenta que no asocian ningún tipo de riesgo ergonómico. Por desgracia, su uso no está tan ampliamente extendido como debería. En Estados Unidos, una encuesta a endoscopistas indica que hasta el 80% de los mismos no emplean siempre las gafas protectoras (119). En otro estudio realizado entre cardiólogos intervencionistas europeos, el cumplimiento en el uso de gafas de protección es menor que el de los delantales plomados y los protectores tiroideos (96,120). Existe, pues, una percepción disminuida del riesgo de formación de cataratas. Debería hacerse hincapié en la importancia del empleo de gafas de protección durante la formación de los médicos intervencionistas.

También es interesante recalcar la importancia de las revisiones oftalmológicas periódicas. La recomendación es que las revisiones oftalmológicas (del cristalino) sean realizadas anualmente aunque no especifica que deban llevarse a cabo por un oftalmólogo (113). Es preferible que sea un oftalmólogo con experiencia el que realice estas revisiones, pues podría detectar signos precoces o signos típicos de la formación de cataratas radioinducidas.

En cuanto al uso de pantallas faciales protectoras, estas tienen la ventaja de proteger regiones de la cabeza y la cara desde las que, de otra manera, podría proceder radiación dispersa (99). A pesar de su baja equivalencia de plomo, suponen una buena alternativa frente a las gafas plomadas, aunque la mayor parte de los médicos las rechazan por su gran tamaño y por la posibilidad de empañarse.

Así, existen múltiples gafas disponibles, con distinta atenuación de la radiación dispersa y distinto peso, que deben ser seleccionadas cuidadosamente. Es importante elegir el tipo que mejor se ajuste a unos determinados procedimientos y/o a cada intervencionista en particular. Un ajuste adecuado a los contornos faciales, así como la protección de los laterales de las gafas, resultan más importantes que el grosor de plomo equivalente (95). Eligiendo la mejor protección ocular se podrá mejorar la adherencia a su uso y disminuir el riesgo de cataratas.

4. Equipo en la sala.

En cuanto a los elementos disponibles en la sala, y en base a la evidencia disponible en la literatura, también deberíamos considerar como equipos de protección indispensable:

- **Mamparas protectoras.** Proporcionan una muy importante reducción de la dosis que reciben la cabeza, los cristalinos y el torso del personal intervencionista, y con nulo riesgo ergonómico. Es cierto que su empleo puede suponer un coste adicional, pero queda más que justificado con los beneficios que aportan estas medidas de protección.
- **Cortinillas plomadas.** Sucede lo mismo que en el caso anterior, reducen la dosis que recibe el personal intervencionista, sin implicar riesgo ergonómico.

Como medidas de protección de **segundo nivel** podríamos proponer:

- **Gorros plomados.** La dosis craneal que recibe el médico intervencionista es entre 10 y 20 veces mayor que la registrada en el torso bajo el delantal plomado (59). La cabeza es una zona que generalmente no se suele proteger, y dados los efectos descritos, parece que debería haber legislación que obligase a emplear gorros protectores. Asimismo, sería beneficioso reforzar la educación en este aspecto, para conseguir mayor concienciación entre los trabajadores. No obstante, los estudios disponibles sobre la eficacia y efectividad del empleo de gorros son controvertidos. Es por ello que, finalmente, el uso de los mismos puede quedar sujeto a criterio del personal, especialmente si se recurre al empleo de mamparas protectoras.
- **Protectores portátiles.** Si bien logran disminuir la dosis de radiación recibida por el personal sanitario, su empleo a lo largo del procedimiento resulta engorroso, debiendo ser recolocados en múltiples ocasiones. Durante el empleo de proyecciones oblicuas y laterales, pueden llegar a chocar con el arco vascular. Ello puede llevar a alargar el tiempo en sala, con el consiguiente aumento de riesgo de lesiones osteomusculares.

En la *Tabla II* se recoge nuestra propuesta de medidas de protección indispensables y de segundo nivel.

Medidas de primer nivel	Medidas de segundo nivel
Chaleco y falda protectora	Gorros plomados
Protector tiroideo	Protectores portátiles
Gafas	
Mamparas de techo	
Cortinillas plomadas	

Tabla II. Propuesta de medidas de protección de primer y segundo nivel

El empleo de guantes protectores u otras medidas de protección específicas para las manos, en base a lo recogido en la bibliografía, queda claramente desaconsejado. En caso de entrar en el campo de radiación, implicaría un aumento de la radiación para el paciente y el personal. Además, su uso asocia pérdida de la sensibilidad táctil, con lo que se alargarían los procedimientos y, por tanto, la dosis de radiación sería mayor.

Además y considerando al paciente como la principal fuente de radiación a la que se expone el personal intervencionista (24), no deben perderse de vista el seguimiento de los principios básicos expuestos en la Introducción. Debemos reducir la dosis que recibe el paciente tanto como sea posible, pues así reduciremos proporcionalmente la dosis a la que se expone el personal intervencionista. Siempre que sea factible, aumentaremos la distancia con el paciente, llegando a abandonar la sala durante la realización de angiografías de sustracción digital.

En esencia, debemos tratar de combinar el mayor número de medidas de protección, que tendrán carácter sumatorio, y así lograremos disminuir al mínimo la dosis de radiación recibida por el personal intervencionista.

Con respecto al uso de **dosímetros**, estos dispositivos de control de dosis también juegan un papel muy importante en la protección radiológica. Por desgracia, en muchos de los centros la lectura de los dosímetros se realiza con poca frecuencia, y los datos obtenidos no son del todo fiables. Algunos estudios reportan que hasta el 50% de los facultativos no llevan el dosímetro o lo emplean de forma incorrecta (121).

La concienciación de los trabajadores debe ser un objetivo prioritario de los servicios de prevención de riesgos laborales y de Radiofísica Hospitalaria. Debe existir un *feedback* hacia los trabajadores, comunicándoles las dosis de radiación recibida,

El uso de los dosímetros varía entre los diferentes especialistas, lo que probablemente refleje las diferencias entre formación en protección radiológica, así como en el riesgo percibido en relación con la cantidad de exposición ocupacional a radiación en los diferentes procedimientos. Así, los cardiólogos y radiólogos intervencionistas, que están expuestos a niveles más altos de radiación que los endoscopistas, emplean los dosímetros con más frecuencia que los endoscopistas (122).

En este sentido, el empleo de los dosímetros en tiempo real, que proporcione información inmediatamente tras el procedimiento, podría aumentar la adherencia al uso del dosímetro y reducir la radiación empleada (119). Estos dosímetros serían especialmente útiles para la formación de los especialistas, en los primeros años. Ayudan mucho a la concienciación, por ejemplo, para demostrar la reducción de dosis conseguida con medidas de protección como la mampara. Hasta no hace mucho, presentaban el problema de su alimentación (conexión a la corriente o batería), que los hacía más incómodos, pero actualmente existen opciones sin cable que son más aceptadas entre el personal.

Por tanto, el uso de dosímetros llevados de forma consistente y correcta es lo único que permitiría un *feedback* y valoración adecuados. Los datos de exposición ocupacional no deberían emplearse bajo ningún concepto de manera punitiva. En su lugar deberían facilitar el desarrollo de mejoras de calidad en seguridad y manejo de radiación.

En cuanto al empleo de un segundo dosímetro, este es un punto algo controvertido, ya que el externo tiende a sobreestimar la dosis recibida, mientras que el interno la infraestima (pues hay zonas que no quedan cubiertas por el material de protección (95). Podrían emplearse dos dosímetros (uno por encima del material plomado y otro por debajo), colocados en la clavícula para estimar la dosis en tiroides y cristalinos, y en la cintura o pecho.

Sería interesante combinar siempre los dosímetros de cuerpo entero con los de extremidades, como la muñeca (*Figura XI*), para obtener información más detallada de la dosis equivalente de los distintos tejidos (95).



Figura XI. Dosímetro de muñeca.

En cualquier caso, es importante identificar bien los dosímetros, ya que se trata de elementos personales e intransferibles, que estiman la dosis de un único trabajador. Además, no debe confundirse el dosímetro que se lleva sobre el equipo de protección con el que se lleva bajo el mismo.

Por último, dado que la atenuación de la radiación es exponencial, el uso de equipos de protección es una intervención muy efectiva. Sin embargo, no deben perderse de vista otras estrategias ya mencionadas anteriormente, como la reducción del tiempo y el aumento de la distancia. Separarse de la mesa 4m supone una disminución de la radiación similar a llevar un delantal plomado de 0.5mm Volver a la sala de control durante la realización de angiografía de sustracción reduce significativamente el tiempo en el que el médico se expone a la fase más intensa de radiación dispersa.

5.4 Normativa.

La regulación de las exposiciones a radiaciones ionizantes en los trabajadores sanitarios queda recogida en diferentes textos legales. Entre estos, destacan, por su especial relevancia o aplicabilidad:

5.4.1 Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales.

Merece especial atención el artículo 18, que establece que el empresario debe adoptar todas las medidas necesarias para que los trabajadores reciban la información adecuada sobre los riesgos para la seguridad y salud de su puesto de trabajo, así como las medidas de prevención aplicables (25).

El artículo 19, por su parte, establece la necesidad del empresario en proporcionar a sus empleados la adecuada formación en materia de PRL.

El artículo 22 de la Ley de PRL sobre la vigilancia de la salud de los trabajadores, obliga al empresario a garantizar a estos la vigilancia de su salud en función de los riesgos que sean inherentes a su puesto de trabajo. Dichos reconocimientos se deben realizar con el fin de evaluar los efectos de las condiciones de trabajo y/o para verificar si el estado de salud del trabajador puede suponer un peligro para el mismo, para el resto de trabajadores o para otras personas relacionadas con la empresa.

5.4.2 Real Decreto Legislativo 5/2000.

Con él se aprueba el texto refundido sobre Infracciones y Sanciones en el Orden Social (123). Recoge en su Capítulo II (artículos 11 a 13) las infracciones en materia de prevención de riesgos laborales, sustituyendo así numerosos artículos de la Ley 31/1995.

5.4.3 RD 783/2001 y RD 1439/2010.

Reglamento sobre protección radiológica sanitaria contra radiaciones ionizantes (113,123). Estos textos aprueban el reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes. Establece las normas relativas a la protección de los trabajadores y de los miembros del público contra los riesgos entrañados por las radiaciones ionizantes.

Entre otros aspectos, establece la obligatoriedad del empleo de dosímetros individuales en aquellos trabajadores que se encuentren en zonas controladas con riesgo de irradiación externa.

Especialmente interesante resulta el límite de dosis que establece para los trabajadores expuestos:

- “Dosis efectiva (irradiación homogénea de todo el cuerpo) de 100 mSv en 5 años consecutivos, sin superar 50 mSv en 1 año”.
- “150 mSv de dosis equivalente en cristalino en 1 año”.
- “500 mSv de dosis equivalente en piel, manos, antebrazos, pies y tobillos en un año. Para la piel se toma en cuenta la dosis promediada sobre cualquier superficie de 1cm², con independencia de la zona expuesta”.

Clasificación del personal.

Los trabajadores expuestos, teniendo en cuenta el artículo 20 del RD 783/2001, se clasifican en dos categorías, por motivos de vigilancia y control radiológico.

Categoría A

Se encuentran en esta categoría los profesionales que, “por las condiciones en las que se realiza su trabajo, pueden recibir una dosis efectiva superior a 6 mSv por año oficial, o una dosis equivalente superior a 3/10 de los límites de dosis equivalente para el cristalino, la piel y las extremidades”.

Se clasifican como categoría A, según la “Guía sobre criterios de Protección Radiológica Operacional para trabajadores expuestos en instalaciones radiactivas en el sector sanitario” publicada por la Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR) para la clasificación de los trabajadores expuestos:

- Facultativos que realicen procedimientos de radiología intervencionista: Radiólogos vasculares, cardiólogos en Hemodinámica y Electrofisiología.
- Enfermeros que trabajen en la administración de radiofármacos a pacientes y en Radiología Intervencionista (Radiología vascular Hemodinámica y Electrofisiología).
- Técnicos Superiores en Imagen para Diagnóstico (TSID) destinados a procedimientos intervencionistas (Vascular, Hemodinámica, Electrofisiología) así como los técnicos de Radiofarmacia.
- Otro personal que, por su trabajo y evaluación de riesgos, sean considerados expuestos.

Según el Artículo 40 del RD 783/2001, se debe someter a un examen de salud inicial a toda persona clasificada en la categoría A. Además, se realizarán exámenes de salud

periódicos cada 12 meses o más frecuentemente si fuese necesario por criterio médico, el estado de salud del trabajador, sus condiciones laborales, o por incidentes o superación de los límites de dosis establecidos.

Categoría B

Pertencen a esta categoría aquellas personas que, por las condiciones en las que se realiza su trabajo, es muy improbable que reciban dosis superiores a las mencionadas en la categoría A. De estos, y en relación con el presente trabajo, destacan:

- El resto de facultativos que no estén clasificados en la categoría A.

La vigilancia sanitaria de los trabajadores de Categoría B seguirá los principios y directrices generales de Medicina del Trabajo.

Este texto legal también recoge y clasifica las sanciones en las que se incurriría en caso de no seguir las directrices establecidas. Así, encontramos sanciones muy graves, como no respetar los límites de dosis establecidos, cuando de ellos se derive un riesgo grave para la vida o salud de las personas. Otras sanciones graves, como incumplir los criterios de protección radiológica establecidos, de modo que haya más personas expuestas del mínimo posible y de ello se produzca riesgo grave para la vida o salud de las personas. Entre las sanciones leves encontraríamos la no realización de la vigilancia sanitaria del personal expuesto en los términos previstos Dichas sanciones llevan asociada una multa.

5.4.4 RD 1085/2009.

Recoge el reglamento sobre instalación y utilización de aparatos de rayos X con fines de diagnóstico médico (124).

Destaca el artículo 19 por establecer la obligatoriedad de la implantación de un programa de Protección Radiológica en todas las instalaciones de rayos X. Su objetivo será garantizar que no se superen las dosis establecidas en el RD 783/2001, manteniendo siempre unos niveles tan bajos como sea posible alcanzar. Dicho plan constará de unas medidas de prevención (como el empleo de material plomado de protección, ya comentado y que será desarrollado en la revisión), medidas de control y de vigilancia.

En su artículo 22, además, regula la capacitación del personal que opera las instalaciones de rayos X de diagnóstico médico.

5.4.5 RD 601/2019.

Establece los principios básicos de justificación y optimización en el uso de radiaciones ionizantes para la protección radiológica de las personas (19). Supone una trasposición de la Directiva Europea 2013/59/EURATOM.

Es especialmente importante porque complementa al RD 815/2001, incorporando detalles sobre la optimización de las exposiciones a radiaciones ionizantes. Enfatiza la necesidad de justificar y optimizar la exposición médica, incluyendo también a personas asintomáticas objeto de investigación.

Además, define a los trabajadores expuestos, que son los que, “por las circunstancias en que se desarrolla su trabajo, están sometidos a un riesgo de exposición a las radiaciones ionizantes susceptible de entrañar dosis superiores a algunos de los límites de dosis para miembros del público”. Estos límites son irradiación homogénea del cuerpo en dosis efectivas superiores a 1 mSv al año, dosis equivalente en cristalino de 15 mSv por año, dosis equivalente en piel de 50m Sv por año. Los trabajadores se pueden exponer por irradiación externa (rayos X o gamma) o por contaminación con isótopos radioactivos (en los servicios de Medicina Nuclear Radiofarmacia).

Así, en la práctica, los trabajadores expuestos pueden ser aquellos que desarrollen su actividad en instalaciones donde se emplean radiaciones ionizantes de distinta naturaleza, a saber:

- Equipos radiológicos fijos, portátiles o radio-quirúrgicos.
- Equipos de radioterapia externa, equipos de braquiterapia
- Radioisótopos no encapsulados para diagnóstico y tratamiento con técnicas de Medicina Nuclear, laboratorios de radioinmunoanálisis.

Resulta de especial importancia la incorporación del apartado referente a la formación específica en protección radiológica de los profesionales sanitarios que realizan procedimientos guiados por medios radiológicos, que responde a una imperiosa necesidad ya descrita en la bibliografía (16,17). Se añade una mención especial al segundo nivel de protección radiológica que deben adquirir los especialistas que realicen procedimientos de radiología intervencionista, en los términos que establece la Orden SCO/3276/2007.

5.5 Análisis, Reflexión y Propuestas de la Normativa Vigente.

La normativa vigente aplicable al ámbito de la seguridad y protección radiológica de los trabajadores ocupacionalmente expuestos a radiaciones ionizantes es muy amplia. Se han recogido los textos legales más relevantes, por su especial relación o interés en el campo.

No obstante, y, teniendo en cuenta la evidencia disponible, existen ciertos aspectos de estas leyes que creemos mejorables.

En primer lugar, por ejemplo, observamos que la normativa no especifica qué EPIs son de uso obligado por el personal que trabaja en las salas de fluoroscopia y qué EPIs son opcionales. De este modo, sería interesante que se incorporase una lista con los elementos de protección individual imprescindibles, tal y como proponemos en el apartado 5.3. Los trabajadores tendrían más claro las medidas de protección a emplear y así se conseguirían reducir las dosis a las que se ven expuestos. En el mismo sentido, la legislación podría recoger de forma explícita la necesidad del empleo del resto de protectores dispuestos en la sala (mamparas, cortinillas plomadas...).

Por otra parte, en la normativa vigente queda recogida la obligación del empleo de dosímetro por los trabajadores expuestos. Sin embargo, tampoco se especifica qué tipo de dosímetro se debe emplear (activo o pasivo), ni la obligación de emplear dos dosímetros individuales de cuerpo entero (uno por encima del protector plomado y otro por debajo). Teniendo en cuenta que en determinados procedimientos existe riesgo de sobrepasar las dosis potencialmente peligrosas, superiores a las establecidas, creemos que debería especificarse la obligación del empleo de dos dosímetros y, además, que al menos uno de ellos sea en tiempo real, dado que favorecen una mayor concienciación por parte del personal y podrían permitir una mayor reducción de la dosis.

La radiación es invisible y la mayor parte de los efectos adversos que se producen tienen largo periodo de latencia, por lo que los riesgos se suelen ignorar fácilmente, no se priorizan o directamente se olvidan. Las limitaciones de dosis dan una falsa sensación de seguridad, ya que existen ciertos efectos adversos para los que no existe una dosis mínima segura. El empleo de EPIs también genera una falsa sensación de seguridad. Por todo ello, es importante reforzar la formación de los trabajadores.

Así, en tercer lugar, es necesario la existencia de formación específica en materia de protección radiológica por parte de los especialistas ocupacionalmente expuestos. Este era

un aspecto no cubierto por la normativa española hasta la aprobación del RD 601/2019, que estipula la obligación de una formación mínima que debe recibir este grupo de trabajadores. Aun así, el texto es ambiguo y no deja claro cuáles son los temas a tratar por dichos programas de formación. Existe, por tanto, la posibilidad de mejorar este aspecto mediante la publicación detallada de los temas a tratar por dichos programas formativos. Debe incluirse formación teórico-práctica en la física y biología de la radiación, la seguridad y el manejo de la misma (17,125).

Diferentes estudios de los consultados durante la elaboración de este trabajo insisten en la importancia de los programas formativos de manera temprana para generar concienciación en los trabajadores sobre los aspectos nocivos de la radiación y la importancia del correcto uso de las medidas de protección. El tiroides, por ejemplo, es especialmente sensible a la radiación en personas más jóvenes. Precisamente por todo ello, los programas de formación deben iniciarse de forma temprana durante el periodo de residencia de los especialistas.

Quizás también sería constructivo que la legislación implementase la necesidad de realizar cursos reglados de “actualización” en medidas de protección radiológica de forma periódica durante los años de trabajo de estos especialistas.

La legislación americana estipula una distancia mínima de 6 pies entre el trabajador que no lleve protectores plomados y el paciente (11). En la normativa española no queda recogida una distancia mínima con el paciente dentro de la sala de fluoroscopia, por lo que también sería interesante incorporar algún aspecto similar para concienciar sobre la importancia de la distancia en la reducción de la dosis de radiación recibida.

5.6 Consideración final.

Los riesgos que entraña la exposición a radiaciones ionizantes en el ámbito intervencionista son muy variados. Incluyen desde lesiones cutáneas hasta múltiples cánceres, pasando por cataratas radio-inducidas. Por suerte, gran parte de estos riesgos han quedado como algo anecdótico, con prácticamente ningún caso reportado de muchos cánceres desde los años 70-80. Probablemente, esto sea debido a una mayor concienciación por parte del personal que implica mayor adherencia al empleo de las medidas de protección.

También debemos tener en cuenta las mejoras en la tecnología disponible permiten a los operadores producir imágenes con suficiente calidad diagnóstica empleando menores dosis.

Sin embargo, es cierto que, en los últimos años, el número de estudios que analicen los riesgos de la exposición a las radiaciones ionizantes en el ámbito intervencionista no es demasiado alto. Además, la mayor parte de los mismos son de carácter retrospectivo y presentan numerosos factores de confusión.

Por otra parte, muchos de los estudios se centran en cardiólogos intervencionistas. Es cierto que son el grupo más numeroso y, además, los estudios dosimétricos parecen indicar que son los expuestos a mayores dosis de radiación (126) (entre otras razones, por una posición más próxima a la fuente de radiación durante el procedimiento). No obstante, los resultados no son del todo extrapolables al resto de especialistas, por lo que deberían realizarse más estudios entre el resto de médicos que realicen procedimientos guiados por fluoroscopia. No obstante, los resultados parecen, hasta cierto punto, extrapolables al resto de especialistas, salvo alguna particularidad.

Además, la mayor parte de los estudios se centran en las cataratas. Esto probablemente sea debido a una mayor facilidad para observar este efecto, que puede producirse en periodos de tiempo más cortos, y, por supuesto, a su mayor prevalencia. Es complicado realizar estudios de seguimiento a largo plazo para observar el desarrollo de cáncer y otras enfermedades con mayor periodo de latencia, aunque también deberían realizarse más estudios en este sentido.

En cuanto a los datos obtenidos sobre el cumplimiento de las medidas de protección y del uso del dosímetro, es cierto que suelen obtenerse a través de encuestas al personal, sin alto cumplimiento de las mismas. Por ello debería buscarse realizar más estudios que comprueben fehacientemente el cumplimiento de estas medidas.

Sobre las medidas de protección, es cierto que la legislación (25) obliga al empresario a proporcionar las medidas de protección necesarias para el trabajador. No obstante, en los diferentes textos legales citados, no queda detallado qué medidas son obligatorias y qué medidas no. Lo único que queda claramente limitado son las dosis.

De este modo, sería interesante que en la legislación se especificasen los EPIs indispensables para trabajar en las salas de intervencionismo guiado por fluoroscopia.

Por otra parte, cabe destacar que las instituciones se pueden mostrar reacias a asumir el coste económico que conlleva la adopción de algunas de las medidas descritas en este trabajo, ya que no suelen observar un beneficio inmediato (127). No obstante, los costes económicos no deben emplearse como excusa para descuidar la formación de los trabajadores. Es obligación del empresario proporcionar al trabajador el material de protección adecuado, y en caso de no cumplirlo se estarían cometiendo diferentes tipos de infracciones, desde leves a muy graves (113,128).



6. Conclusiones.

El conjunto de datos disponible apoya el riesgo incrementado de cánceres radioinducidos en la piel, mama y leucemias, para radiólogos que trabajaron antes de 1950, existiendo importante relación con altas dosis ocupacionales, en un contexto histórico en el que aún no se conocían los efectos deletéreos de la radiación y las prácticas de protección aún no eran comunes. Por suerte, con el desarrollo de las medidas de protección y el aumento de la concienciación sobre los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes, muchos de estos efectos adversos ya no se dan hoy en día. El mayor riesgo al que se ven expuestos los médicos intervencionistas que realizan procedimientos guiados por rayos X es el desarrollo de cataratas radio-inducidas. No es esperable encontrar efectos fetales observables en trabajadoras expuestas, siempre y cuando se tomen las medidas de protección oportunas.

En cuanto a las medidas de protección frente a las radiaciones ionizantes, recogemos un listado de elementos que a nuestro criterio resultan imprescindibles, que incluyen EPIs (chaleco y falda, gafas protectoras y protector tiroideo) elementos de protección en la sala (mamparas y cortinillas plomadas, fundamentalmente), así como el empleo de dosímetros individuales (al menos dos, uno por fuera del material de protección y otro por dentro). Además, es altamente recomendable para todos los médicos que realicen procedimientos intervencionistas recibir una formación reglada y práctica en radioprotección y seguridad, prestando especial atención a los buenos hábitos de protección y el manejo de la radiación siguiendo siempre el principio ALARA.

Finalmente y con respecto a la normativa vigente, sería de interés que se regule y tipifique el equipo de protección imprescindible, de uso obligado por parte del personal. Además, debería recogerse la obligatoriedad del empleo de doble dosímetro. Por último, y teniendo en cuenta el RD 601/2019 también sería interesante que se regulase aquella información que se debería incorporar a la formación que deben recibir en materia de radioprotección los médicos especialistas.

7. Bibliografía.

1. Röntgen WK. On a new kind of rays. CA Cancer J Clin. 1972;22(3):153-7.
2. Scatliff JH, Morris PJ. From Roentgen to magnetic resonance imaging: the history of medical imaging. N C Med J. abril de 2014;75(2):111-3.
3. Nüsslin F. Wilhelm Conrad Röntgen: The scientist and his discovery. Phys Medica PM Int J Devoted Appl Phys Med Biol Off J Ital Assoc Biomed Phys AIFB. noviembre de 2020;79:65-8.
4. Tang Z, Jia A, Li L, Li C. [Brief history of interventional radiology]. Zhonghua Yi Shi Za Zhi Beijing China 1980. mayo de 2014;44(3):158-65.
5. Baum RA, Baum S. Interventional Radiology: A Half Century of Innovation. Radiology. 23 de octubre de 2014;273(2S):S75-91.
6. Mahesh, M. Radiation Dose Management for Fluoroscopically Guided Interventional Medical Procedures. Med Phys. 2012;39:5789-90.
7. Wagner JB. Radiation Protection and Safety in Interventional Radiology. Radiol Technol. mayo de 2020;91(5):431-42.
8. Quintana F. Neurorradiología intervencionista en España: pasado, presente y futuro. Radiología. 1 de diciembre de 2010;52:31-5.
9. Hayda RA, Hsu RY, DePasse JM, Gil JA. Radiation Exposure and Health Risks for Orthopaedic Surgeons. J Am Acad Orthop Surg. 15 de abril de 2018;26(8):268-77.
10. Frane N, Bitterman A. Radiation Safety and Protection. En: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2021 [citado 20 de marzo de 2021]. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557499/>
11. Mitchell EL, Furey P. Prevention of radiation injury from medical imaging. J Vasc Surg. enero de 2011;53(1):22S-27S.
12. Tsapaki V, Balter S, Cousins C, Holmberg O, Miller DL, Miranda P, et al. The International Atomic Energy Agency action plan on radiation protection of patients and staff in interventional procedures: Achieving change in practice. Phys Medica PM Int J Devoted Appl Phys Med Biol Off J Ital Assoc Biomed Phys AIFB. agosto de 2018;52:56-64.
13. Stahl CM, Meisinger QC, Andre MP, Kinney TB, Newton IG. Radiation Risk to the Fluoroscopy Operator and Staff. Am J Roentgenol. 22 de septiembre de 2016;207(4):737-44.
14. Council NR, Studies D on E and L, Research B on RE, Radiation C to AHR from E to LL of I. Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: BEIR VII Phase 2. National Academies Press; 2006. 422 p.

15. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103. Ann ICRP [Internet]. 2007 [citado 25 de marzo de 2021];37(2-4). Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18082557/>
16. Pitcher CD, Melanson MA. The impact of peer-based training on reducing radiation doses from x-ray operations in an interventional pain management clinic. US Army Med Dep J. junio de 2010;43-7.
17. Barakat MT, Thosani NC, Huang RJ, Choudhary A, Kochar R, Kothari S, et al. Effects of a Brief Educational Program on Optimization of Fluoroscopy to Minimize Radiation Exposure During Endoscopic Retrograde Cholangiopancreatography. Clin Gastroenterol Hepatol Off Clin Pract J Am Gastroenterol Assoc. abril de 2018;16(4):550-7.
18. Su1615 U.S. Survey Assessing Current ERCP-Related Radiation Protection Practices - Gastrointestinal Endoscopy [Internet]. [citado 22 de mayo de 2021]. Disponible en: [https://www.giejournal.org/article/S0016-5107\(15\)00799-3/fulltext](https://www.giejournal.org/article/S0016-5107(15)00799-3/fulltext)
19. Boletín Oficial del Estado. Real Decreto 601/2019, de 18 de octubre, sobre justificación y optimización del uso de las radiaciones ionizantes para la protección radiológica de las personas con ocasión de exposiciones médicas. BOE nº 262, 31/10/2019.
20. Oakley PA, Harrison DE. Death of the ALARA Radiation Protection Principle as Used in the Medical Sector. Dose-Response [Internet]. 29 de abril de 2020 [citado 3 de abril de 2021];18(2). Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7218317/>
21. Calabrese EJ. On the origins of the linear no-threshold (LNT) dogma by means of untruths, artful dodges and blind faith. Environ Res. octubre de 2015;142:432-42.
22. Calabrese EJ. From Muller to mechanism: How LNT became the default model for cancer risk assessment. Environ Pollut Barking Essex 1987. octubre de 2018;241:289-302.
23. Srinivasan D, Than KD, Wang AC, La Marca F, Wang PI, Schermerhorn TC, et al. Radiation safety and spine surgery: systematic review of exposure limits and methods to minimize radiation exposure. World Neurosurg. diciembre de 2014;82(6):1337-43.
24. Schueler BA, Vrieze TJ, Bjarnason H, Stanson AW. An investigation of operator exposure in interventional radiology. Radiogr Rev Publ Radiol Soc N Am Inc. octubre de 2006;26(5):1533-41; discussion 1541.
25. Boletín Oficial del Estado. Ley 31/1995 de 8 de noviembre de Prevención de Riesgos Laborales. BOE nº 269, 10/11/1995.
26. Boletín Oficial del Estado. Real Decreto 665/1997 de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo. BOE nº 124, 24/5/1997.
27. Boletín Oficial del Estado. Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual. BOE nº 140, 12/6/1997.
28. Boletín Oficial del Estado. Real Decreto 1124/2000, de 16 de junio, por el que se modifica el Real Decreto 665/1997 de 12 de mayo, sobre la protección de los trabajadores contra

los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo. BOE nº 145, 17/6/2000.

29. Poveda B. JF, Plazas MC. Elementos de protección radiológica en salas de intervencionismo. *Rev Colomb Cardiol.* 1 de marzo de 2020;27:82-7.
30. An alternative X-ray shielding material based on coated textiles - Nebahat Aral, F Banu Nergis, Cevza Candan, 2016 [Internet]. [citado 21 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0040517515590409>
31. Zuguchi M, Chida K, Taura M, Inaba Y, Ebata A, Yamada S. Usefulness of non-lead aprons in radiation protection for physicians performing interventional procedures. *Radiat Prot Dosimetry.* 1 de septiembre de 2008;131(4):531-4.
32. McCaffrey JP, Mainegra-Hing E, Shen H. Optimizing non-Pb radiation shielding materials using bilayers. *Med Phys.* diciembre de 2009;36(12):5586-94.
33. Bartal G, Roguin A, Paulo G. Call for Implementing a Radiation Protection Culture in Fluoroscopically Guided Interventional Procedures. *Am J Roentgenol.* 1 de mayo de 2016;206(5):1110-1.
34. López M, Martín M. Medical management of the acute radiation syndrome. *Rep Pract Oncol Radiother.* 13 de julio de 2011;16(4):138-46.
35. Committee to Assess Health Risks From Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation, Board on Radiation Effects Research, Division of Earth and Life Studies, National Research Council of the National Academies. Health risks from exposure to low levels of ionizing radiation: BEIR VII Phase 2. Washington, DC: National Academies Press, 2006.
36. BAKER DG. Radiology, Is There An Occupational Hazard? *Am Ind Hyg Assoc J.* 1 de enero de 1988;49(1):17-20.
37. Sont WN, Zielinski JM, Ashmore JP, Jiang H, Krewski D, Fair ME, et al. First analysis of cancer incidence and occupational radiation exposure based on the National Dose Registry of Canada. *Am J Epidemiol.* 15 de febrero de 2001;153(4):309-18.
38. Pukkala E, Martinsen JI, Lynge E, Gunnarsdottir HK, Sparén P, Tryggvadottir L, et al. Occupation and cancer - follow-up of 15 million people in five Nordic countries. *Acta Oncol Stockh Swed.* 2009;48(5):646-790.
39. Rehani MM, Ciraj-Bjelac O, Vañó E, Miller DL, Walsh S, Giordano BD, et al. ICRP Publication 117. Radiological protection in fluoroscopically guided procedures performed outside the imaging department. *Ann ICRP.* diciembre de 2010;40(6):1-102.
40. Shim DM, Kim YM, Oh SK, Lim CM, Kwon BT. Radiation Induced Hand Necrosis of an Orthopaedic Surgeon Who Had Treated a Patient with Fluoroscopy-Guided Spine Injection. *J Korean Orthop Assoc.* 2014;49(3):250.
41. Matityahu A, Duffy RK, Goldhahn S, Joeris A, Richter PH, Gebhard F. The Great Unknown- A systematic literature review about risk associated with intraoperative imaging during orthopaedic surgeries. *Injury.* agosto de 2017;48(8):1727-34.
42. Ulrich H. The incidence of leukemia in radiologists. *N Engl J Med* 1946; 234:45.

43. Lewis EB. Leukemia and ionizing radiation. *Science*. 17 de mayo de 1957;125(3255):965-72.
44. Henshaw PS, Hawkins JW. Incidence of leukemia in physicians. *J Natl Cancer Inst* 1944; 4:339–346.
45. Berrington A, Darby SC, Weiss HA, Doll R. 100 years of observation on British radiologists: mortality from cancer and other causes 1897-1997. *Br J Radiol*. junio de 2001;74(882):507-19.
46. Parikh JR, Geise RA, Bluth EI, Bender CE, Sze G, Jones AK, et al. Potential Radiation-Related Effects on Radiologists. *AJR Am J Roentgenol*. marzo de 2017;208(3):595-602.
47. Frieben A. Demonstration eines carcinos des rechten handrucksens, das sich nach langdauernder einwirkung von roentgenstrahlen entwickelt hatte. *Fortschr Roentgenstr* 1902; 6:6–11.
48. Matanoski GM, Seltser R, Sartwell PE, Diamond EL, Elliott EA. The current mortality rates of radiologists and other physician specialists: specific causes of death. *Am J Epidemiol*. marzo de 1975;101(3):199-210.
49. Davis MM, Hanke CW, Zollinger TW, Montebello JF, Hornback NB, Norins AL. Skin cancer in patients with chronic radiation dermatitis. *J Am Acad Dermatol*. abril de 1989;20(4):608-16.
50. Ron E, Modan B, Preston D, Alfandary E, Stovall M, Boice JD. Radiation-induced skin carcinomas of the head and neck. *Radiat Res*. marzo de 1991;125(3):318-25.
51. Rajaraman P, Doody MM, Yu CL, Preston DL, Miller JS, Sigurdson AJ, et al. Cancer Risks in U.S. Radiologic Technologists Working With Fluoroscopically Guided Interventional Procedures, 1994-2008. *AJR Am J Roentgenol*. mayo de 2016;206(5):1101-8; quiz 1109.
52. Wang JX, Inskip PD, Boice JD, Li BX, Zhang JY, Fraumeni JF. Cancer incidence among medical diagnostic X-ray workers in China, 1950 to 1985. *Int J Cancer*. 15 de mayo de 1990;45(5):889-95.
53. Doody MM, Freedman DM, Alexander BH, Hauptmann M, Miller JS, Rao RS, et al. Breast cancer incidence in U.S. radiologic technologists. *Cancer*. 15 de junio de 2006;106(12):2707-15.
54. Preston DL, Kusumi S, Tomonaga M, Izumi S, Ron E, Kuramoto A, et al. Cancer incidence in atomic bomb survivors. Part III. Leukemia, lymphoma and multiple myeloma, 1950-1987. *Radiat Res*. febrero de 1994;137(2 Suppl):S68-97.
55. Williams D. Radiation carcinogenesis: lessons from Chernobyl. *Oncogene*. diciembre de 2008;27 Suppl 2:S9-18.
56. Ron E, Lubin JH, Shore RE, Mabuchi K, Modan B, Pottern LM, et al. Thyroid cancer after exposure to external radiation: a pooled analysis of seven studies. *Radiat Res*. marzo de 1995;141(3):259-77.
57. DeAngelis LM. Brain tumors. *N Engl J Med*. 11 de enero de 2001;344(2):114-23.

58. Roguin A, Goldstein J, Bar O, Goldstein JA. Brain and Neck Tumors Among Physicians Performing Interventional Procedures. *Am J Cardiol.* 1 de mayo de 2013;111(9):1368-72.
59. Ko S, Kang S, Ha M, Kim J, Jun JK, Kong KA, et al. Health Effects from Occupational Radiation Exposure among Fluoroscopy-Guided Interventional Medical Workers: A Systematic Review. *J Vasc Interv Radiol JVIR.* marzo de 2018;29(3):353-66.
60. Miller RW. Delayed Effects of External Radiation Exposure: A Brief History. *Radiat Res.* 1 de noviembre de 1995;144(2):160-9.
61. Wiper A, Katira R, Roberts DH. Images in cardiology. Interventional cardiology: it's a hairy business. *Heart Br Card Soc.* noviembre de 2005;91(11):1432.
62. Hancock SL, Tucker MA, Hoppe RT. Factors Affecting Late Mortality From Heart Disease After Treatment of Hodgkin's Disease. *JAMA.* 27 de octubre de 1993;270(16):1949-55.
63. Baker JE, Moulder JE, Hopewell JW. Radiation as a risk factor for cardiovascular disease. *Antioxid Redox Signal.* 1 de octubre de 2011;15(7):1945-56.
64. Shimizu Y, Pierce DA, Preston DL, Mabuchi K. Studies of the mortality of atomic bomb survivors. Report 12, part II. Noncancer mortality: 1950-1990. *Radiat Res.* octubre de 1999;152(4):374-89.
65. Ozasa K, Takahashi I, Grant EJ. Radiation-related risks of non-cancer outcomes in the atomic bomb survivors. *Ann ICRP.* junio de 2016;45(1 Suppl):253-61.
66. Rajaraman P, Doody MM, Yu CL, Preston DL, Miller JS, Sigurdson AJ, et al. Incidence and mortality risks for circulatory diseases in US radiologic technologists who worked with fluoroscopically guided interventional procedures, 1994-2008. *Occup Environ Med.* enero de 2016;73(1):21-7.
67. Lorenz MW, Markus HS, Bots ML, Rosvall M, Sitzer M. Prediction of clinical cardiovascular events with carotid intima-media thickness: a systematic review and meta-analysis. *Circulation.* 30 de enero de 2007;115(4):459-67.
68. Andreassi MG, Piccaluga E, Gargani L, Sabatino L, Borghini A, Faita F, et al. Subclinical Carotid Atherosclerosis and Early Vascular Aging From Long-Term Low-Dose Ionizing Radiation Exposure: A Genetic, Telomere, and Vascular Ultrasound Study in Cardiac Catheterization Laboratory Staff. *JACC Cardiovasc Interv.* 20 de abril de 2015;8(4):616-27.
69. Otake M, Finch SC, Choshi K, Takaku I, Mishima H, Takase T. Radiation-related ophthalmological changes and aging among Hiroshima and Nagasaki A-bomb survivors: a reanalysis. *Radiat Res.* septiembre de 1992;131(3):315-24.
70. International Commission on Radiological Protection. Biological effects after prenatal irradiation (embryo and fetus): ICRP publication 90. *Ann ICRP* 2003; 33:1-2.
71. Wakeford R. Radiation in the workplace-a review of studies of the risks of occupational exposure to ionising radiation. *J Radiol Prot Off J Soc Radiol Prot.* junio de 2009;29(2A):A61-79.

72. Vano E, Kleiman NJ, Duran A, Rehani MM, Echeverri D, Cabrera M. Radiation cataract risk in interventional cardiology personnel. *Radiat Res.* octubre de 2010;174(4):490-5.
73. Electric Power Research Institute (EPRI). Product abstract: epidemiology and mechanistic effects of radiation on the lens of the eye—review and mechanistic effects of radiation on the lens of the eye. EPRI website. www.epri.com/abstracts/Pages/ProductAbstract.aspx?productId=000000003002003162. Publicado noviembre 2015. Consultado el 25 de junio de 2021.
74. Day R, Gorin MB, Eller AW. Prevalence of lens changes in Ukrainian children residing around Chernobyl. *Health Phys.* mayo de 1995;68(5):632-42.
75. International Commission on Radiological Protection (ICRP). Statement on tissue reactions. ICRP website. www.icrp.org/docs/icrp%20statement%20on%20tissue%20reactions.pdf. Publicado en abril de 2011. Consultado el 26 de junio de 2021.
76. Vano E, Gonzalez L, Fernández JM, Haskal ZJ. Eye lens exposure to radiation in interventional suites: caution is warranted. *Radiology.* septiembre de 2008;248(3):945-53.
77. Khan DZ, Lacasse MC, Khan R, Murphy KJ. Radiation Cataractogenesis: The Progression of Our Understanding and Its Clinical Consequences. *J Vasc Interv Radiol.* 1 de marzo de 2017;28(3):412-9.
78. Plummer G. Anomalies occurring in children exposed in utero to the atomic bomb in Hiroshima. *Pediatrics.* diciembre de 1952;10(6):687-93.
79. Doll R, Wakeford R. Risk of childhood cancer from fetal irradiation. *Br J Radiol.* febrero de 1997;70:130-9.
80. NCRP. Limitation of exposure to ionizing radiation. NCRP Report No. 116. Bethesda, MD: National Council on Radiation Protection and Measurements; 1993.
81. European Commission. Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation, and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom and 2003/122/Euratom. *Off J Eur Commun* 2013; L13:1–73.
82. Chandra V, Dorsey C, Reed AB, Shaw P, Banghart D, Zhou W. Monitoring of fetal radiation exposure during pregnancy. *J Vasc Surg.* septiembre de 2013;58(3):710-4.
83. Long MC, Deloney LA, Wiebeck K, Meek M. Radiation exposure in pregnant and non-pregnant female interventional radiology workers. *J Vasc Interv Radiol* 2014; 25(suppl):S100.
84. Brateman L. Radiation safety considerations for diagnostic radiology personnel. *Radiogr Rev Publ Radiol Soc N Am Inc.* agosto de 1999;19(4):1037-55.
85. Marazziti D, Tomaiuolo F, Dell'Osso L, Demi V, Campana S, Piccaluga E, et al. Neuropsychological Testing in Interventional Cardiology Staff after Long-Term Exposure to Ionizing Radiation. *J Int Neuropsychol Soc JINS.* octubre de 2015;21(9):670-6.

86. Hall P, Adami H-O, Trichopoulos D, Pedersen NL, Lagiou P, Ekblom A, et al. Effect of low doses of ionising radiation in infancy on cognitive function in adulthood: Swedish population based cohort study. *BMJ*. 3 de enero de 2004;328(7430):19.
87. Yu C. Don't be Caught Half-dressed When Working with Radiation. *Cardiovasc Intervent Radiol*. marzo de 2020;43(3):369-75.
88. Merrifield M, Kovalchuk O. Epigenetics in radiation biology: a new research frontier. *Front Genet* [Internet]. 2013 [citado 28 de junio de 2021];4. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fgene.2013.00040/full>
89. Burns KM, Shoag JM, Kahlon SS, Parsons PJ, Bijur PE, Taragin BH, et al. Lead Aprons Are a Lead Exposure Hazard. *J Am Coll Radiol*. 1 de mayo de 2017;14(5):641-7.
90. Regulation (EU) 2016/425 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2016 on personal protective equipment and repealing Council Directive 89/686/EEC (Text with EEA relevance). European Agency for Safety and Health at Work.
91. Klein LW, Miller DL, Balter S, Laskey W, Haines D, Norbash A, et al. Occupational health hazards in the interventional laboratory: time for a safer environment. *Radiology*. febrero de 2009;250(2):538-44.
92. Vu CT, Elder DH. Pregnancy and the Working Interventional Radiologist. *Semin Interv Radiol*. diciembre de 2013;30(4):403-7.
93. Jones AK, Wagner LK. On the (f)utility of measuring the lead equivalence of protective garments. *Med Phys*. junio de 2013;40(6):063902.
94. Marshall NW, Faulkner K, Clarke P. An investigation into the effect of protective devices on the dose to radiosensitive organs in the head and neck. *Br J Radiol*. septiembre de 1992;65(777):799-802.
95. López PO, Dauer LT, Loose R, Martin CJ, Miller DL, Vañó E, et al. ICRP Publication 139: Occupational Radiological Protection in Interventional Procedures. *Ann ICRP*. marzo de 2018;47(2):1-118.
96. Jacob S, Boveda S, Bar O, Brézin A, Maccia C, Laurier D, et al. Interventional cardiologists and risk of radiation-induced cataract: Results of a French multicenter observational study. *Int J Cardiol*. 1 de septiembre de 2013;167(5):1843-7.
97. Sturchio GM, Newcomb RD, Molella R, Varkey P, Hagen PT, Schueler BA. Protective eyewear selection for interventional fluoroscopy. *Health Phys*. febrero de 2013;104(2 Suppl 1):S11-16.
98. Magee JS, Martin CJ, Sandblom V, Carter MJ, Almén A, Cederblad Å, et al. Derivation and application of dose reduction factors for protective eyewear worn in interventional radiology and cardiology. *J Radiol Prot Off J Soc Radiol Prot*. diciembre de 2014;34(4):811-23.
99. Martin CJ. EYE LENS DOSIMETRY FOR FLUOROSCOPICALLY GUIDED CLINICAL PROCEDURES: PRACTICAL APPROACHES TO PROTECTION AND DOSE MONITORING. *Radiat Prot Dosimetry*. junio de 2016;169(1-4):286-91.

100. Koukorava C, Farah J, Struelens L, Clairand I, Donadille L, Vanhavere F, et al. Efficiency of radiation protection equipment in interventional radiology: a systematic Monte Carlo study of eye lens and whole body doses. *J Radiol Prot Off J Soc Radiol Prot.* septiembre de 2014;34(3):509-28.
101. Seals KF, Lee EW, Cagnon CH, Al-Hakim RA, Kee ST. Radiation-Induced Cataractogenesis: A Critical Literature Review for the Interventional Radiologist. *Cardiovasc Intervent Radiol.* febrero de 2016;39(2):151-60.
102. Wagner LK, Mulhern OR. Radiation-attenuating surgical gloves: effects of scatter and secondary electron production. *Radiology.* julio de 1996;200(1):45-8.
103. McCaffrey JP, Tessier F, Shen H. Radiation shielding materials and radiation scatter effects for interventional radiology (IR) physicians. *Med Phys.* julio de 2012;39(7):4537-46.
104. NCRP, 2010. Radiation Dose Management for Fluoroscopically Guided Interventional Medical Procedures. NCRP Report No. 168. National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, MD.
105. Alazzoni A, Gordon CL, Syed J, Natarajan MK, Rokoss M, Schwalm J-D, et al. Randomized Controlled Trial of Radiation Protection With a Patient Lead Shield and a Novel, Nonlead Surgical Cap for Operators Performing Coronary Angiography or Intervention. *Circ Cardiovasc Interv.* agosto de 2015;8(8):e002384.
106. Fetterly K, Schueler B, Grams M, Sturchio G, Bell M, Gulati R. Head and Neck Radiation Dose and Radiation Safety for Interventional Physicians. *JACC Cardiovasc Interv.* 13 de marzo de 2017;10(5):520-8.
107. Sukupova L, Hlavacek O, Vedlich D. Impact of the ceiling mounted radiation shielding position on the physicians dose from scatter radiation during interventional procedures. *Radiol Res Pract.* 2018;2018:7. <https://doi.org/10.1155/2018/4287973>.
108. King JN, Champlin AM, Kelsey CA, Tripp DA. Using a sterile disposable protective surgical drape for reduction of radiation exposure to interventionalists. *AJR Am J Roentgenol.* enero de 2002;178(1):153-7.
109. Luçon A, Ghrairi A, Lecoq G, Idali M, Huret B, Richard P, et al. EFFICACY OF AN ADDITIONAL MOBILE LEADED SHIELD ON OPERATOR RADIATION DURING PERCUTANEOUS CORONARY ANGIOGRAPHY. *Radiat Prot Dosimetry.* 15 de abril de 2017;173(4):389-94.
110. 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.* octubre de 2011;4(10):1133-9.
111. Eder H, Seidenbusch MC, Treitl M, Gilligan P. A New Design of a Lead-Acrylic Shield for Staff Dose Reduction in Radial and Femoral Access Coronary Catheterization. *ROFO Fortschr Geb Rontgenstr Nuklearmed.* octubre de 2015;187(10):915-23.
112. König AM, Etzel R, Thomas RP, Mahnken AH. Personal Radiation Protection and Corresponding Dosimetry in Interventional Radiology: An Overview and Future Developments. *ROFO Fortschr Geb Rontgenstr Nuklearmed.* junio de 2019;191(6):512-21.

113. Boletín Oficial del Estado. Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes. BOE nº 178, 26/7/2001.
114. Sanchez R, Vano E, Fernandez JM, Gallego JJ. Staff radiation doses in a real-time display inside the angiography room. Cardiovasc Intervent Radiol. diciembre de 2010;33(6):1210-4.
115. Karatasakis A, Brilakis ES. Shields and garb for decreasing radiation exposure in the cath lab. Expert Rev Med Devices. septiembre de 2018;15(9):683-8.
116. Benjamin JL, Meisinger QC. Ergonomics in the Development and Prevention of Musculoskeletal Injury in Interventional Radiologists. Tech Vasc Interv Radiol. marzo de 2018;21(1):16-20.
117. Monaco MGL, Carta A, Tamhid T, Porru S. Anti-X Apron Wearing and Musculoskeletal Problems Among Healthcare Workers: A Systematic Scoping Review. Int J Environ Res Public Health. agosto de 2020;17(16):5877.
118. Pasciak AS, Jones AK, Wagner LK. Application of the diagnostic radiological index of protection to protective garments. Med Phys. febrero de 2015;42(2):653-62.
119. Sethi S, Barakat MT, Friedland S, Banerjee S. Radiation Training, Radiation Protection, and Fluoroscopy Utilization Practices Among US Therapeutic Endoscopists. Dig Dis Sci. septiembre de 2019;64(9):2455-66.
120. Buchanan GL, Chieffo A, Mehilli J, Mikhail GW, Mauri F, Presbitero P, et al. The occupational effects of interventional cardiology: results from the WIN for Safety survey. EuroIntervention J Eur Collab Work Group Interv Cardiol Eur Soc Cardiol. octubre de 2012;8(6):658-63.
121. Sánchez RM, Vano E, Fernández JM, Rosales F, Sotil J, Carrera F, et al. Staff Doses in Interventional Radiology: A National Survey. J Vasc Interv Radiol. 1 de noviembre de 2012;23(11):1496-501.
122. Bordoli SJ, Carsten CG, Cull DL, Johnson BL, Taylor SM. Radiation safety education in vascular surgery training. J Vasc Surg. marzo de 2014;59(3):860-4.
123. Boletín Oficial del Estado. Real Decreto Legislativo 5/2000, de 4 de agosto, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley sobre Infracciones y Sanciones en el Orden Social. BOE nº 139, 08/08/2000.
124. Boletín Oficial del Estado. Real Decreto 1439/2010, de 5 de noviembre, por el que se modifica el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes, aprobado por Real Decreto 783/2001, de 6 de julio. BOE nº 279, 18/11/2010. En.
125. Boletín Oficial del Estado. Real Decreto 1085/2009, de 3 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre instalación y utilización de aparatos de rayos X con fines de diagnóstico médico. BOE nº 173, 18/07/2009.
126. Hirshfeld JW, Balter 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*. 1 de febrero de 2005;111(4):511-32.

127. Ahmad IM, Temme JB, Abdalla MY, Zimmerman MC. Redox status in workers occupationally exposed to long-term low levels of ionizing radiation: A pilot study. *Redox Rep Commun Free Radic Res*. mayo de 2016;21(3):139-45.
128. Klein LW, Bazavan M. The Economic Imperatives Underlying the Occupational Health Hazards of the Cardiac Catheterization Laboratory. *Circ Cardiovasc Interv*. abril de 2016;9(4):e003742.
129. Hamada N, Fujimichi Y. Classification of radiation effects for dose limitation purposes: history, current situation and future prospects. *J Radiat Res (Tokyo)*. julio de 2014;55(4):629-40.

