Scientific & Education Medical Journal

Scientific & Education Medical Journal / Vol. 3, N° 1, 2021

Efectos de la radiación ionizante en equipos quirúrgicos

Juan Esteban Barrios Villegas[1], Johan Sebastián Zambrano Salamanca[2], Alexi Fernando Argota Robles [3], Lizeth Lorena Dávila Maya[4], Luisa Fernanda Salazar Marín[5]

1 Juan Esteban Barrios Villegas, Universidad Nacional de Colombia, juanesbarrios@hotmail.com
2 Johan Sebastián Zambrano Salamanca, Universidad de los Andes, js.zambrano1450@gmail.com
3 Alexi Fernando Argota Robles, Universidad del Cauca, fargota@unicauca.edu.co
4 Lizeth Lorena Dávila Maya, Universidad Cooperativa de Colombia, loren15_ap@hotmail.com
5 Luisa Fernanda Salazar Marín , Universidad Surcolombiana, luisa.f1@hotmail.com

Historia del Artículo:
Recibido el 15 de enero de 2021
Aceptado el 13 de julio de 2021
On-line el 27 de julio de 2021

Palabras Clave: Radiación, Protección Radiación, Exposición radiación, Exposición Ocupacional, Equipo Quirúrgico

Keywords:
Radiation, radiation safety, radiation exposure, occupational exposure, surgery equipment.

Resumen

La radiación ionizante (RI) asociada a equipos médicos (EQ), se encuentra como uno de los riesgos laborales de mayor importancia actualmente, dado el incremento de procedimientos quirúrgicos apoyados por radiación ionizante, por ende es necesario comprender los efectos biológicos que se desprenden de dicha exposición en el personal de salud de distintas áreas médicas, para ello en esta revisión sistemática se propone entender conceptos básicos y novedosos sobre: RI, exposición del personal médico en diferentes tipos de procedimientos, conocimientos sobre el tema en diferentes grupos quirúrgicos, aplicación de estos conocimientos en su práctica quirúrgica, evaluación de nuevas tecnologías en equipos de protección, y complicaciones asociadas al uso de equipo de protección en el personal de salud. Siendo esta información útil para sensibilizar sobre el uso de RI en ambientes médico quirúrgicos y mejorar la práctica clínica asociado con el uso de estas.

Abstract

Ionizing radiation (IR) associated to medical equipment (ME), it's found as one of labor risk of more importance now a days, due to surgical procedures increments supported on ionizing radiation. Therefore, it needs an understanding on the biological effects that can fall from such exposure on health personnel from different areas to this end a system review is proposed to understand basic and new concepts about the IR, the health personnel exposure in diverse procedures, knowledge on unlike surgical groups, knowledge implementation in surgical practices, new technologies impact evaluation on safety equipment, and drawbacks associated to the safety equipment on health personnel. Being this information usable to educate on the IR application in surgical environment and improve the clinic practice associated with its usage.

*** Autor para correspondencia:**
Juan Esteban Barrios Villegas, Universidad Nacional de Colombia, e-mail:juanesbarrios@hotmail.com

Cómo citar:
Barrios et al. Efectos de la radiación ionizante en equipos quirúrgicos. S&EMJ. Año 2021; Vol. 3: 64-77.

Introducción

Desde el descubrimiento de los rayos X por Röntgen en 1895, el uso de la radiación ionizante ha sido cada vez más extendido dentro de los procedimientos quirúrgicos como métodos diagnósticos y terapéuticos, caso tal es el uso de fluoroscopio en arco en C en cirugía ortopédica, procedimientos de urología con requerimientos de fluoroscopia, cateterismos cardíacos, manejo de lesiones en columna, manejo de radiología intervencionista o valoración de vía biliar mediante Colangiopancreatografia. (1)

Siendo por ende el uso de RI uno de los principales riesgos laborales a los que se enfrentan los equipos médicos quirúrgicos, dado que el uso de tecnologías que aplican la RI, tienen a corto y largo plazo efectos biológicos tales como: lesiones de la piel, cataratas, esterilidad, hipotiroidismo, síndrome de radiación aguda, aumento del riesgo de tumores malignos sólidos y sanguíneos. Y que dado la multiplicidad de procedimientos que cada especialidad realiza, se considera que el conocimiento sobre exposición a RI en los equipos de salud, la aplicación de políticas por parte de las instituciones sobre reducción de riesgo, la investigación en nuevas tecnologías de radioprotección (RP) y el uso adecuado de los equipos de RP, son importantes para mitigar los efectos biológicos de RI en estos grupos. (1,2,3)

Teniendo en cuenta lo anterior, las sociedades médicas y las organizaciones de protección radiológica han propuesto límites ocupacionales anuales de 50 milisieverts (mSV) para todo el cuerpo y 500 mSV para órganos individuales. Además, principios guía como el de (ALARA) que propone la realización de procedimientos con RI con la menor dosis posible (1-5).

Objetivo

Se propone por medio de este artículo, una revisión sistemática que evalué en la literatura que sobre las consecuencias y la exposición de RI en los EQ, que permitan aclarar dudas sobre el tema y fomentar la capacitación y organización sobre el mismo.

Método

Se recopiló en bases de datos (PubMed, LILACS, Google Scholar, Cochrane) desde enero de 2018 una totalidad de 400 artículos, de los cuales se escogieron 50 que contenían información actualizada y relevante para el desarrollo del tema a revisar, entre sus tópicos se encontró información sobre estudios experimentales, revisiones sistemáticas, estudios prospectivos y estudios observacionales, que contenían los siguientes tópicos: dosis de radiación en diferentes procedimientos quirúrgicos, medidas para mitigar en estos procedimientos la exposición a radiación, conocimiento y aplicabilidad del mismo del personal de salud e implicaciones de la radiación y el uso de equipos de protección personal.

Conclusiones

La RI es uno de los riesgos laborales más importantes a los que se enfrentan los EQ durante diferentes procedimientos en salas de cirugía, con consecuencias deletéreas hacia los trabajadores de la salud si no se toman las medidas necesarias para su manejo. Por eso se logra identificar, que es indispensable comprender los riesgos asociados a esta exposición, medidas de radioprotección adecuadas, y el desarrollo de métodos de prevención que permitan cumplir con los principios fundamentales sobre el uso de tecnologías con RI. Por ende, se considera que a pesar de los múltiples estudios que se presentan en diferentes áreas médicas sobre el tema, se hace imperativo la continua mejora hacia este, que evite las complicaciones biológicas que se presentan.

Introduction

Since the X Ray breakthrough by Röntgen in 1895, ionizing radiation usage has extended in surgical procedures with assessment and therapeutic methods, thereupon fluoroscopy in arc C for orthopedic surgery, heart catheterization, spinal injuries management, interventional radiology management or bile duct assessment through Cholangiopancreatography (ERCP). (1)

Being through the IR usage one of the principal labor risks for health surgeons' groups, since using IR technology has in the short- and long-term biological effects such as: skin injury, cataracts, infertility, hypothyroidism, acute radiation syndrome, risk increment in solid and sanguineous malignant tumors. Given that the multiple procedures each specialty realizes, its consider that knowledge on IR exposure in health personnel groups, the policy implementation by the health institutions about reducing risks, research on new radiation protection (RP) technologies, and the proper usage on RP equipment are important to mitigate the IR biological effects on these groups. (1,2,3)

Knowing the above, doctor´s communities and the radiology security organizations proposed yearly occupational limits (safety-critical) up to 50 millisieverts (mSv) for the human body and 500 mSv for individual organs. In addition, leading guides such as the regulation and management of safety-critical and safety involved system (ALARA) which proposes to perform procedures with IR safety-critical doses (1-5).

Objective

The article proposal is a systemic literary review about the consequences and exposure on IR in the ME, which allows to clarify doubts about the subject and encourage training and internal organization.

Methodology

Search was done on data bases (PubMed, LILACS, Google Scholar, Cochrane) from January 2018 to March 2021, with a total of 400 articles, amongst which were chosen 50 that has recent information about experimental studies, systemic reviews, prospective studies and observational studies, which include the following topics: safety-critical doses in radiation surgical procedures, measures to mitigate in these procedures radiation exposure, knowledge and applicability on it to health personnel and radiation implications on equipment usage for personal safety.

Conclusions

IR is one the most important Laboral risk facing the ME during the different surgery procedures, with harmful consequences for health personnel if adequate measure is not appropriate handled. For this reason, it is identified that it is essential to comprehend the risk associated to this exposure, appropriate radiation protection measures, and the development of preventive methods that allow to fulfill the fundamental principles on technology usage with IR. Therefore, it is considered despite the multiple studies present in different health areas about the subject, that it is imperative to continue with improvement and avoid biological complications that might occurred.

Principios básicos

La radiación ionizante es toda aquella radiación que permite eliminar electrones de los átomos o romper los enlaces entre átomos y moléculas. Se conoce que el 85% de la radiación a la que se exponen los humanos proviene de fuentes naturales, siendo en general exposición a luz solar y gas radón, el resto se asocia a exposición por imágenes diagnósticas. (2)

La exposición a la radiación depende de dos categorías: Radiación absorbida que se mide en una unidad de masa de material con una unidad estándar internacional (unidad SI) como Gray (Gy) y 1 Gray es equivalente a 100 rad. Esta a su vez, depende del tipo de tejido que absorbe la radiación, dado que la atenuación es mayor en el tejido óseo, debido a su mayor densidad de electrones y de masa, que en órganos sólidos equivalentes al agua. (2, 6).

Además, La radiación absorbida también depende de las clases de ella, de la cual, se conocen dos tipos: Penetrante que va desde la piel a tejidos profundos, como los de rayos X (formados por paquetes de energía llamada fotones) o No Penetrante que solo llega a piel que son las partículas alfa y beta. (2,6-8).

Otros conceptos a tener en cuenta son la dosis equivalente que es una medida de los efectos biológicos de la radiación en un tejido u órgano específico expuesto a un tipo específico de radiación. Y la dosis efectiva que es una medida de dosis para todo el cuerpo basada en la dosis equivalente total recibida por todos los órganos. Cada órgano contribuye a un factor de ponderación del tejido. Tiene las mismas unidades de medida que la dosis equivalente, la cual se denomina Sivert (Sv) que es el factor de ponderación de radiación para rayos X. (2, 6-8)

Hay que tener en cuenta además, que la medida del *kerma* en aire es la suma de la energía cinética de todas las partículas cargadas liberadas por unidad de masa. La unidad con que se mide es el Julio por kilogramo (J kg-1) y su nombre especial es el *gray* (Gy).(8).

Por su parte a nivel del quirófano se definen tres fuentes principales de radiación: Radiación directa, radiación dispersa y radiación de fuga. La radiación directa se emite desde la fuente del haz hacia el objetivo para producir la radiografía. La radiación dispersa es el fenómeno de los fotones desviados del haz de rayos X que han interactuado con el paciente. Este fenómeno se conoce como dispersión de *Compton* y ocurre cuando un rayo X interactúa con la materia y se desvía en lugar de ser absorbido. La mayoría de estos rayos X dispersos se encuentran a lo largo de la trayectoria inicial del haz, pero también pueden dispersarse en cualquier dirección. La magnitud de la exposición a la radiación dispersa depende de la fuerza de la fuente de rayos X, la distancia desde el objetivo que se está fotografiando y la masa del objetivo. La radiación de fuga es cualquier radiación que escapa de la carcasa del tubo de rayos X y que no se origina en la trayectoria del haz. La magnitud de la radiación de una fuente, ya sea directa, dispersa o filtrada, es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia desde la fuente al cirujano o al paciente. Por ejemplo, considerando una fuente puntual de radiación que emite en todas las direcciones, es comprensible que, a mayores distancias de la fuente, la radiación se distribuya sobre una superficie esférica cada vez mayor. (6)

Efectos biológicos de la Radiación Ionizante

Para comprender los efectos biológicos de la radiación ionizante, debemos entender que estos se clasifican en deterministas o estocásticos. Los efectos deterministas son los cambios inmediatos en los tejidos es decir todos aquellos que se presentan al corto tiempo de presentar la exposición como las lesiones en piel. Por su parte, los efectos deterministas son el resultado de una gran cantidad de células en un órgano o tejido que mueren como resultado de grandes dosis de radiación. Los efectos deterministas solo se observan una vez que se ha alcanzado un umbral de dosis alta. (6)

Dentro de los principales daños de la radiación ionizante se conocen los efectos directos por un impacto directo de una radiografía (fotón) e indirectos en el ADN a través de la ionización de oxígeno o agua. Las moléculas dadas por la radiación generan radicales

Tabla 1. Dosis de Radiación Ionizante dependiendo de la fuente en Milisieverts (mSv)

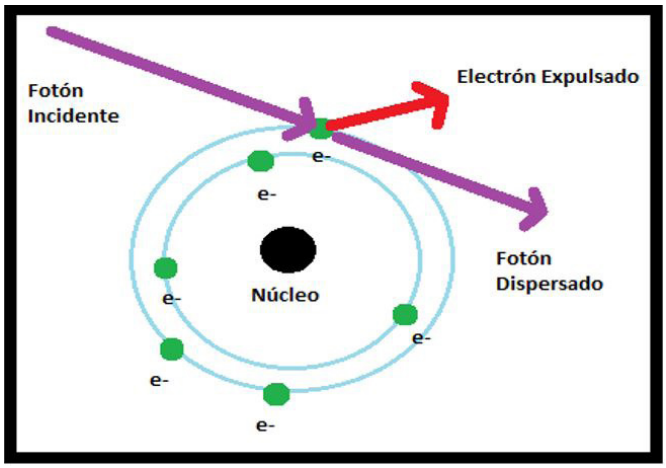
Dosis de Radiación Ionizante dependiendo de la fuente		
Tipo de Fuente	**Origen de la fuente**	**Promedio dosis en Milisiverts (mSv)**
Natural	Inhalación	1,26
	Ingestión	0,29
	Terrestre	0,48
	Cósmico	0,39
Artificial	Radiografía	0,1
	Tomografía Computarizada	1 a 20
	PET/TC	25
	Ceniza radiactiva	0,007
	Otros	0,0052

Fuente: Tomado y Modificado con fines académicos de Sources and Effects of Ionizing Radiation. United Nations Publication; 2008.

libres, que afecta diversas estructuras celulares que a su vez interrumpe diferentes procesos como la reparación del ADN, los efectos pueden ser tanto de un solo nucleótido, como de lesiones intra o intercadena, conexiones cruzadas, roturas de hebras simples o roturas de hebras dobles. Finalmente estos daños se verán reflejadas junto con otros factores como el envejecimiento en la producción de tumores. (1, 6)

Por otro lado se conocen los efectos no cancerígenos asociados a la radiación, sus efectos a nivel cardiovascular, dado que está demostrado una asociación entre la mortalidad por enfermedades circulatorias y dosis bajas y moderadas de radiación ionizante, donde se observan cambios de temprano envejecimiento y ateroesclerosis a nivel vascular; A nivel ocular, se conoce el riesgo de producción de cataratas, que principalmente se da por dispersión del paciente, que llega por debajo de las gafas o la mandíbula, se conocen casos en cardiólogos intervencionistas que la opacidad de cristalino es tres veces mayor a comparación de cardiólogos que

Figura 1: Efecto Compton.



Fuente: Elaboración propia de los autores para fines académicos.

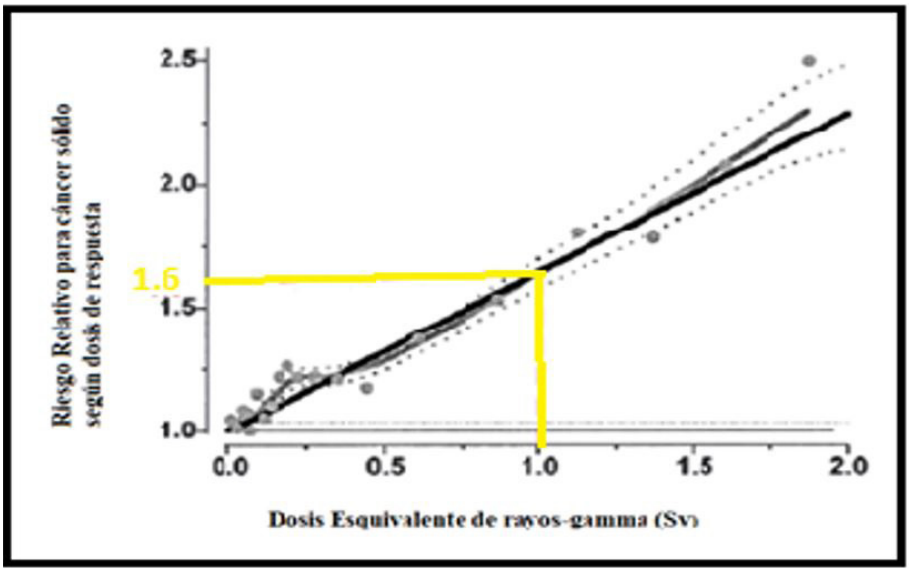
no realizan procedimientos con requerimientos de radiación. En el cerebro la irradiación puede afectar la glándula pituitaria, producir cambios epigenéticos, daño neurovascular y neurodegenerativo, en especial estos se generan a nivel mitocondrial dado que se aumenta la producción de radicales libres, asociado a estrés oxidativo, dando alteraciones morfológicas de las mitocondrias, defectos a nivel del ADN mitocondrial, lesiones a nivel homeostático, que se traduce desde aumentos de lesiones cancerígenas hasta disminución de los profesionales en pruebas cognitivas. (1). Otra zona de especial cuidado son las extremidades siendo importante la exposición en las manos que puede variar hasta 100 veces la dosis si se coloca está directamente en el fluoroscpia o a 15 cm, a nivel clínico dicha exposición no presenta efectos tan importantes como en los anteriores órganos mencionados. (10).

Regulaciones y normas sobre radiación ionizante

A partir del 2012 la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP 118) plantea nuevas recomendaciones sobre la reducción de dosis de radiación ionizante para actividades ocupacionales planificadas, plantea una exposición ocupacional a la radiación máxima en todo el cuerpo de 20 milisievert (mSv) por año, mientras que la agencia de EE. UU. Consejo Nacional de Protección y Medidas Radiológicas (NCRP) recomienda un empleo exposición a la radiación máximo de 50 mSv / año. (38)

Las medidas se han ido modificando como en el 2011, en respuesta a datos más recientes, la CIPR disminuyó el límite de exposición a la radiación ocular de 150 mSv / año a 20 mSv / año, o 100 mSv en cinco años consecutivos sujeto a una dosis máxima de 50 mSv en un solo año. (38, 40)

Gráfico No 1: Gráfico de dosis-respuesta muestra el riesgo relativo de cáncer sólido asociado con exposición a la radiación.



Fuente: Tomado y modificado con fines académicos de Hayda et. al. (38)

Con respecto a la radiación prenatal la ICRP y NCRP recomienda una exposición máxima de 1 mSv durante embarazo y la NCRP recomienda una radiación prenatal exposición máxima de 0,5 mSv / mes durante el embarazo. (38)

Otros principios como el de ALARA, que evocan la mínima dosis posible de radiación hacen un llamado a que el cirujano sea responsable de la supervisión de protección radiológica del equipo dentro de la operación. Y por tanto antes del inicio del procedimiento, la colocación cuidadosa del equipo fluoroscopia para evitar exposición excesiva e innecesaria, el correcto marcado del arco en C, la comunicación clara con el técnico de radiología, la valoración por parte del cirujano y el asistente de moverse en el momento de la proyección. (39).

Equipos de protección personal y principios de radioprotección

La exposición a la radiación depende de la tríada "tiempo, distancia y blindaje". Que se refiere con respecto al tiempo al tiempo de exposición, y la frecuencia de este. La técnica óptima incluye uso en modo KV alto y más bajo, donde la corriente del tubo o mA determina la cantidad de fotones y KV determina la energía de fotones; colectivamente, ambos contribuyen a la dosis del paciente y el personal quirúrgico. Por su parte es obligatorio que la consola tenga un recordatorio establecido con alarma audible, que advierte cuando una dosis de radiación significativa (a las 5 minutos de tiempo acumulativo), más allá del cual los efectos nocivos locales, como quemaduras por radiación, pueden aumentar. (2)

Cuando hablamos de distancia la exposición a la radiación es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia. Es decir que cuando se duplica la distancia, la exposición se reduce en un factor de cuatro. Se recomienda por la ICPR que la distancia de seguridad debe ser de 2 metros de la fuente de radiación (intensificador de imagen), por lo que el cable de exposición debería estar al menos a 2 metros de longitud o se debe usar un interruptor de control remoto para la exposición. (2).

Con respecto al blindaje o uso de equipo de protección personal, se considera el uso de delantales de plomo que son efectivos para atenuar dado sus propiedades fisicoquímicas los rayos x y la radiación gamma este debe tener al menos 0,5 mm de plomo o barreras estructurales equivalentes que reducirán un 90-99% la exposición, además de medidas especificadas para la protección de órganos internos. Este tipo de protección debería acompañare con

Tabla 2: Consecuencias asociadas en el cuerpo según dosis de radiación y tiempo

Consecuencias asociadas en el cuerpo según dosis de radiación y tiempo					
Efecto	**No medible**	**Carcinogénico**	**Insuficiencia Medular**	**Daño Intestinal**	**Daño SNC**
Tiempo		Años	Pocas semanas	Pocos días	Pocas Horas
Dosis	10 mSV	100 mSv	1 Sv	10 Sv	100 Sv

Fuente: Elaboración propia de los autores para fines académicos

escudos tiroideos que disminuyen hasta un 50% la exposición radiación ionizante. (2,10)

Los niveles de exposición a la radiación de los ojos y la cabeza variarán dependiendo de la configuración del paciente y de la habitación, angulación del arco en C, anatomía del paciente y posiciones de la cabeza del operador (1). La eficacia de los gorros y anteojos protectores contra la radiación varían, pero en general la mayoría de estos equipos (incluyendo gafas y visores) generan al menos una reducción del 50% de la dosis de radiación en ojos, variando este porcentaje en la forma que se incide el rayo, la distancia, y el ojo más cercano al equipo de fluoroscopia. (47)

Por su parte también se recomienda el uso de dosímetros que detecta y mide la dosis de radiación a las personas que están expuestos a la radiación durante el curso de su trabajo durante un período de tiempo. Es usual medido aproximadamente a los 3 meses. Hay de dos tipos de placa de película y dosímetro termoluminiscente (TLD), Se recomienda que, idealmente, se utilicen dos dosímetros, uno a la altura del cuello. fuera del delantal de plomo y otro al nivel del tronco debajo del delantal de plomo, para medir la exposición a la radiación en el personal. (2)

Complicaciones asociadas a los equipos de protección personal

En algunos casos el uso de equipos de protección personal, se ve disminuido por las complicaciones de tipo ortopédico que puede generar el uso de estos, generando que en algunos casos el equipo quirúrgico no utilice estos por las dificultades asociadas. Es así como un estudio determinó que el uso de equipos de protección personal aceleraba la tasa de desarrollo de la fatiga del músculo extensor del tronco y del trapecio mientras se realizaba un procedimiento quirúrgico simulado a pesar de ser equipos denominados de "plomo ligero"; Observando asimetría en el cansancio muscular ya que los participantes generalmente tenían un ligero giro en el torso durante la tarea de rendimiento. Esto se correlaciona con hallazgos en equipos quirúrgicos que han debido parar dado la fatiga muscular asociada (hasta un 6%) y un 44% presentaba lumbagos.

Lo que deja claro que a pesar de su importancia, también el uso de equipos de protección personal genera complicaciones. (46)

Tabla 3: Recomendaciones para protección del personal a la radiación ionizante (RI)

Recomendaciones para protección de la RI
• Educación constant sobre RI.
• Avisos de riesgo de RI afuera de la sala de cirugía.
• Evitar movimientos innecesarios del personal de salud cuand se usa el fluoroscopio
• Tener a mano equipo de protección personal.
• Dar al personal, equipo de protección básico.
• Valoración annual del equipo de protección.
• Uso de dosímetros personales.

Fuente: Elaboración propia de los autores para fines académicos.

Dosis de radiación en diversos procedimientos quirúrgicos

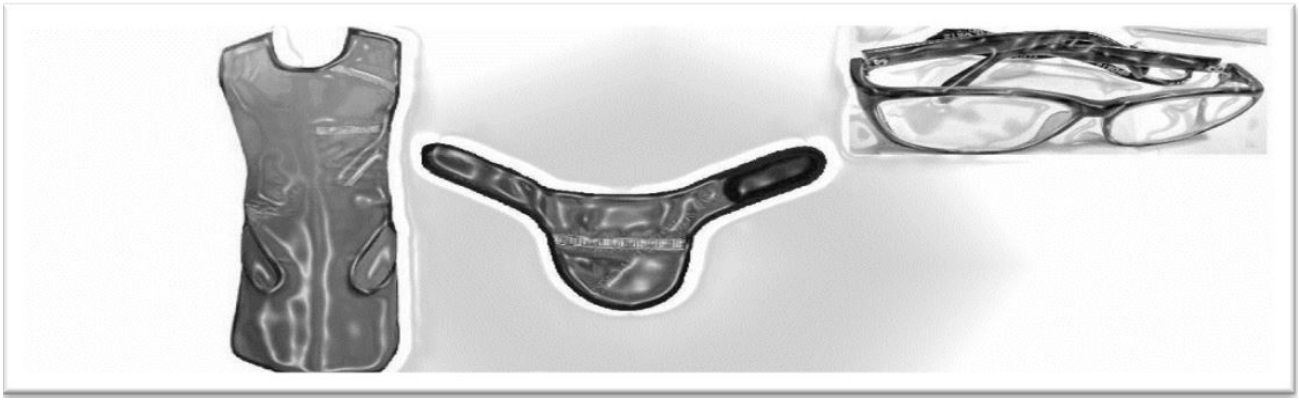
Cada procedimiento que requiere uso de radiación ionizante para su realización, varía la dosis que se emite al equipo quirúrgico y este depende de múltiples factores como tiempo, área de radiación, tipo de procedimiento quirúrgico, por lo cual se hace importante conocer que dosis se da dependiendo del tipo de procedimiento, a continuación se expondrán diferentes procedimientos de diferentes especialidades médicas y su dosis de radiación.

Radiación Ionizante en Ortopedia: Siendo esta una de las especialidades con mayores requerimientos de exposición a radiación ionizante, dado el requerimiento constante de esta tecnología para diversas fijaciones, alineaciones y manejos quirúrgicos. La literatura sobre el tema de RI ha sido de gran interés, donde por ejemplo se ha observado que a nivel de cerebro con el uso de fluroscopio de arco en C, en procedimientos de fijación de clavos endomedulares, la exposición puede variar en un año desde 63.72 µGy sin ningún equipo de protección personal a 43.93 µGy con el uso de equipo de protección personal (gafas, gorro y escudo tiroideo), llamando la atención en el estudio en el equipo que la mayor protección que se da al cerebro es por medio del collar tiroideo, siendo pobre la protección a nivel en el cerebro por parte del gorro plomado, además se observó que la mayor se da a nivel del lado derecho del cerebro dado la posición del ortopedista con el paciente y el fluoroscopio, entre1.3 a 1.7 veces más frente al lado izquierdo. (9).

Por su parte el uso de una técnica diferente a nivel de fracturas de la diáfisis tibial (clavos intramedulares infrapatelares vs suprapatelares) se observó, que en el grupo infrapatelar tuvo un tiempo medio de radiación de 129,7 segundos frente a 94,4 segundos para el grupo suprapatelar, además, el grupo infrapatelar tenía una media dosis de radiación (dosis-área) 53,6 cGY cm2 versus 38,2 cGY cm2 del grupo suprapatelar. (11). Resultados observables en otro estudio que reporto que para estos procedimientos el tiempo operatorio y la exposición a la radiación fueron significativamente menores en el grupo suprapatelar en comparación con el grupo infrapatelar (115 minutos vs 139 minutos ± 12,5 minutos) con un Kerma de (36 cGY / cm2 vs 76,33 cGY / cm2 +/- 20,1). (14)

Al evaluarse la dosis de radiación a nivel ocular, en cirujanos de trauma, cirujano de mano y asistentes de cirugía se encontraron valores netos muy bajos

Figura 2: Equipo básico de protección personal, delantal de plomo, escudo tiroideo y gafas de protección a radiación.



Fuente: Tomado y modificado con fines académicos de Ebay, 2021. New X-Ray Protective Blue New Lead Apron Thyroid Collar Lead Goggles 0.5mmpb. [imagen] Disponible en: <https://www.ebay.com/itm/313347661764> [Acceso 6 Junio 2021].

a insignificantes con respecto a la exposición a la radiación del cristalino, con la carga más alta de 0.1 mSV ± 0.03 en los asistentes quirúrgicos. El dosímetro de referencia de los cirujanos de mano mostró un valor de 0.266 ± 0.065 mSv durante el período de medición de tres meses, por lo que se asumen 1.065 mSv cuando se extrapola para el año. El dosímetro de referencia de los cirujanos de trauma mostró un valor de 0.323 ± 0.02 mSv durante el período de medición de tres meses, por lo que se asumen 1.292 mSv cuando se extrapolan para el año. El dosímetro de referencia de los asistentes quirúrgicos mostró un valor de 0,209 ± 0,011 mSv durante el período de medición de tres meses, por lo que se asumen 0,836 mSv cuando se extrapola para el año. (12).

Para otros procedimientos se valoró la dosis en área de radiación (kerma), donde para la fijación dinámica de tornillos de cadera se estableció en 0,52 Gycm2; para la inserción del clavo femoral proximal a 0,53 Gycm2 y para la inserción del clavo humeral proximal a 0,26 Gycm2. Para la implantación de endoprotesis parciales, el valor de Kerma típico utilizando la tecnología de panel plano se estableció en 0,08 Gycm2 y en 0,21 Gycm2 cuando se utilizó la tecnología intensificadora de imágenes. El valor típico de Kerma para la fijación percutánea de la columna posterior se estableció en 1,26 Gycm2, utilizando tecnología de panel plano y en 3,98 Gycm2 utilizando tecnología de intensificador de imágenes. (13) Un artículo evaluando la dosis de distintos procedimientos ortopédicos en un solo cirujano encontró que en general la aplicación de infiltración en cadera genera 0.23 Gycm2, fijación de radio 0.049 Gycm2 y fijación de patela 0.093 Gycm2. (16) Con respecto artroscopia de cadera para el tratamiento de pinzamiento femoroacetabular, se observó en pacientes que las dosis estimadas para esta población fueron una DAP de 0,138 Gy / cm, es decir 0.026 mSV de exposición en cada procedimiento. (17)

Al valorarse los daños asociados en piel en ortopedistas se diagnosticó que estos suelen presentar lesiones cutáneas en el 31,4% de los casos, en este estudio el análisis ROC demostró que un período ocupacional> 21 años y un tiempo de exposición acumulado> 6696 min se consideraron factores de riesgo, con OR de 4,07 y 5,99, respectivamente. (15)

En un estudio sobre los efectos a nivel de cercanía del teatro quirúrgicos de ortopedia se encontró que en 104 días se tenía una dosis de 0.00098 Sv al pie de la mesa, 0.0006817 S en la cabecera de la mesa, 7.5E-5 Sv a 200 cm del pie de la mesa y 5,1E-5 Sv a 200 cm de distancia a la cabecera de la mesa. Concluyéndose que la dosis varía según la distancia a la fuente de radiación.(18)

Radiación Ionizante en Cardiología

Al valorar estudios sobre dosis de radiación en procedimientos quirúrgicos nos encontramos que la dosis de área tuvo una mediana de 49,3 Gycm2 para intervenciones percutáneas coronarias (PCI), por su parte la mediana para la categoría de PCI compleja en el estudio fue de 80,8 Gycm2, la dosis de área más alto en el estudio fue para procedimientos de oclusión crónica total (CTO), con un valor mediano de 124,9 Gycm2 Por su parte se encontró que las dosis efectivas del operador por procedimiento varió de 0.02 a 38 µSv para procedimientos de diagnóstico y 0,17 a 31 µSv para procedimientos PCI. Esto se compara con una mediana de 0,3 µSv para procedimientos de diagnóstico y 0,6 µSv para PCI procedimientos en este estudio. (19)

Al evaluarse en otro estudio la dosis anual de lentes oculares para cardiólogos durante procedimientos de intervención cardiológica, se encontró valores de dosis de radiación de 2,204 y 1,802 mSv / año para el ojo izquierdo y ojo derecho respectivamente, siendo la tasa de dosis más alta los cristalinos de 20,21 ± 0,015 mSv / h sin equipos de protección en el modo de cine para la proyección *spider*. (20) Otro estudio estimo que la dosis por procedimiento para cardiólogos intervencionistas a nivel del cristalino fue de una media 10.8 mSv, con una desviación estándar de 4,9–27,3, 5,6 mSv. (32)

Tabla 4: Dosis de Radiación Ionizante en Ortopedia

Dosis Radiación Ionizante en Ortopedia		
Tipo de procedimiento	**Tiempo Exposición (min)**	**Dosis de Radiación cGycm2**
Fijación Abierta de fractura radio distal	0.17	2.69
Fijación Abierta de fractura patelar	0.17	9.13
Fijación Abierta Fractura escafoidea	0.55	6.8
Fijación Intramedula Tibia	2.12	16.2
Fijación Intramedular Húmero	1.18	42.1
Infiltración Articulación Pulgar	0.02	0.08
Infiltración Articulación de la Cadera	0.09	23

Fuente: Tomado y modificado con fines académicos de Abosala A.

Sobre la exposición en los procedimientos asociados a implantes cardíacos, se encontró que en marcapasos o desfibriladores, que la resincronización presento los tiempos de fluoroscopia más altos, además de la dosis en área más alta que fueron recibidos por los médicos y el personal quirúrgico siendo el tiempo de 837 segundos y la dosis de área de 1,41 Gy.cm2, 0.09 µSv (médicos) y 0.08 µSv (resto equipo quirúrgico). (21) Además otro estudio complementa la información previa refiriendo que los operadores y los pacientes la dosis de área difirió significativamente entre las implantaciones con o sin resincronización, cuando se realizó resincronización la exposición de los médicos fue 9 veces mayor a no realizarla, con una dosis mediana del operador de 56 µSv, frente a 6 µSv de procedimientos sin resincronización, mientras que la mediana de la dosis de área fue 14 veces mayor durante los implantes de CRT. (22)

Al valorarse reemplazos valvulares se encontró que el acceso transfemoral contra accesos alternativos, se requirieron mayores cantidades de fluoroscopia en los transfemorales en comparación con los procedimientos alternativos (19,8 7,0 min vs 11,3 3,1 min, p <0,001) Pero que pesar de la mayor cantidad de fluoroscopia utilizada para los transfemorales el acceso alternativo se asoció con una mayor exposición a la radiación (hasta 3 veces más). Por su parte este estudio también demostró a su vez que el uso de un laboratorio de cateterismo disminuye el tiempo y la dosis de radiación dado la facilidad y la disposición de los equipos frente a un quirófano híbrido. (23)

Radiación Ionizante en Urología

Actualmente con el uso de la radiación ionizante se ha aumentado rápidamente el uso de esta tecnología en diversos procesos urológicos observándose, en un modelo de referencia para dosis de área y tiempo de fluroscopia en Reino Unido, que para inserción de Stents se espera una dosis de área media de 2.3 Gy/ cm2 y 49 segundos de media como tiempo de fluoroscopia, por su parte ureteroscopia se espera una media de 2.8 Gy/ cm2 y 57 segundos de media como tiempo de fluoroscopia y la nefrolitotomía percutánea se espera una media de 24.1 Gy/ cm2 y 431 segundos de media como tiempo de fluoroscopia. (24)

En un estudio que evaluó 6 centros europeos de endourología se encontró que la dosis de lente ocular de 17 de 44 personas (14 urólogos y 3 asistentes) estuvo por encima de la detección del dosímetro de los niveles permitidos, las dosis por procedimiento varió de menos de 10 µSv a 63 µSv, donde además se conoció que trabajando más cerca de un paciente sin protección adecuada dio como resultado una dosis en cristalino 6 veces mayor por dosis de área a comparación de otro con las medidas adecuadas en el mismo centro. (5)

Al valorar procedimientos como la embolización arterial prostática para el manejo de hiperplasia prostática benigna se encontró que el valor acumulado

Tabla 5. Dosis Radiación Ionizante en Cardiología

Dosis Radiación Ionizante en Cardiología		
Tipo de procedimiento	**Tiempo Exposición (min)**	**Dosis de Radiación cGycm2**
Procedimientos percutáneos Coronarios		49.3
Procedimientos percutáneos Coronarios (Complejos)		80.8
Oclusión Coronaria total		124,9
Resincronización	13.95	1,41

Fuente: Elaboración propia de loas autores para fines académicos.

medio de área Kerma con el protocolo estándar de este procedimiento fue (456,0 ± 171 Gy cm2). (25) Por su parte otro estudio multicéntrico de la exposición de los pacientes a la radiación en diferentes procedimientos como nefrolitotomía percutánea estándar, mini nefrolitotomía, cirugía intrarrenal retrógrada, la ureterorrenoscopia semirrígida y flexible. Donde para la cirugía intrarrenal el Kerma se situó en dos centros entre (0,80–1,79 Gy cm2), 7,1 veces para mini-nefrolitotomía (1,39–9,90 Gy cm2), 7,3 veces para estándar (2,40–17,50 Gy cm2), 19 veces (0,13– 2,51 Gy cm2) ureterorrenoscopia semirrígida y 29 veces para flexible (0,10–2,90 Gy cm2). (26)

Un estudio que valoro dentro del escenario quirúrgico el uso de dispositivos médicos encontró que comparado con el control (18.5 mGy) la exposición a la radiación aumentó significativamente con la presencia de una cámara recta y cables de luz (19,3 mGy), pinza Kelly (19,4 mGy), cámara enrollada y cables de luz (20,2 mGy), un ureteroscopio flexible (21,0 mGy), un cistoscopio rígido (21,2 mGy), y cuando la viga lateral de soporte de la mesa estaba en el camino de la radiografía (25,0 mGy; un aumento del 35%; p <0,007 para todos). (36)

Radiación Ionizante en Gastroenterología

La mayor adopción de procedimientos endoscópicos intervencionistas, que incluyen Colangiopancreatografia retrógrada endoscópica (CPRE) y intervención guiada por ecografía endoscópica (USE) se da por un aumento en la prevalencia de enfermedades como el carcinoma de vías biliares y el carcinoma de páncreas, donde se observa que las dosis de radiación dispersa a 100 cm sobre el suelo (gónada). En la ubicación del endoscopista, las dosis 356,0 ± 2,4 mSv. Por su parte en la ubicación del asistente, las dosis fueron 222,0 ± 2,0 mSv , en la ubicación del enfermero, las dosis fueron 260,0 mSv / h, en el ingeniero clínico las dosis fueron 120,0 mSv /h (27). Estos datos se comparan con otro estudio que valora CPRE (60% para coledocolitiasis) y consideran que durante el período de estudio el tiempo medio de fluroscopia por procedimiento fue de 244,9 ± 257,0 segundos y la media del número de radiografías digitales por procedimiento fue de 3,7 ± 1,0. Siendo la dosis en área de 26,85 ± 3,47 mSv (28).

Radiación Ionizante en Neurocirugía

Otra especialidad que a nivel quirúrgico de columna suele presentar una exposición importante a la radiación, Donde un estudio que simulo la radiación dispersa recibida por el cirujano durante las cirugías de columna, con puntos de medición que están a 50 cm de la piel del paciente y a 50 cm, 100 cm y 150 cm del suelo, que representa la rodilla, el pecho y la tiroides, respectivamente, se encontró. que la radiación natural de fondo en la sala de operaciones es de 0,06 µSv / min., donde el área de dosis promedio es 343 µGym2, y que depende de que tan cerca o lejos se encuentre el cirujano para recibir esta dosis de radiación (29). Conclusión que concuerda con otro estudio que explorando la radiación con el uso de arco en C en el quirófano durante procedimientos de columna la dosis está relacionada con la posición del personal con respecto al emisor y su distancia de él.

Por lo tanto, la mayor exposición ocurre a lo largo de la línea más paralela a la dirección de los rayos X, y se considera que la distancia que es segura para las partes desprotegidas del cuerpo parece estar a 14 pies delante y 8 pies detrás del emisor, donde a 4 pies, el uso de batas protectoras y vidrio de plomo parece ser bastante eficaz, con el riesgo de exposición para el personal de quirófano, como técnicos de limpieza, enfermeras circulantes, equipo de anestesia, personal de neuromonitoreo, representantes de la industria. (30)

Por su parte otro estudio donde se valoraron quince estudios que comparo la discectomía lumbar endoscópica percutánea (PELD / PETD) contra la fusión intersomática lumbar transforaminal de columna mínimamente invasiva (MIS-TLIF), registró un tiempo de operación más corto (en 126,3 min, p <0,001) y un tiempo fluoroscópico (en 22,9 s, p = 0,3) que la MIS-TLIF. La mayor dosis de radiación / caso (µSV) para ambas técnicas se registró en el cirujano: dedo, tórax,

Tabla 6: Dosis Radiación Ionizante en Urología

Dosis Radiación Ionizante en Urología		
Tipo de procedimiento	**Tiempo Exposición (min)**	**Dosis de Radiación cGycm2**
Colocación de Stent	0.81	2.3
Ureteroscopia	0.95	2.8
Nefrolitotomía Percutánea	7.1	24.1
Embolización Arterial Prostática		456-171
Cirugía Intrarrenal		0,80–1,79
Mini nefrolitotomía		1,39–9,90

Fuente: Elaboración propia de los autores para fines académicos.

Tabla 7: Dosis Radiación Ionizante en Gastroenterología

Dosis Radiación Ionizante en Gastroenterología		
Tipo de procedimiento	**Posición del Personal**	**Dosis de Radiación mSv/h**
Colangiopancreatografia retrógrada endoscópica (CPRE)	Endoscopista	356
	Asistente	222
	Enfermero	260

Fuente: Elaboración propia de los autores para fines académicos.

Tabla 8: Dosis Radiación Ionizante en Neurocirugía

Dosis Radiación Ionizante en Neurocirugía	
Tipo de procedimiento	**Dosis de Radiación µGym2**
Procedimiento Columna	343

Fuente: Tabla realizada por autor.

cuello y ojo. Donde la dosis efectiva de MIS-TLIF fue 30µSV más alta que PELD. (31)

Radiación Ionizante en Radiología Intervencionista

Un estudio que cuantifica la dosis del cristalino en radiología intervencionista y evaluar si el dosímetro de cuello es un buen sustituto de evaluar la dosimetría del cristalino considero en 9 radiólogos intervencionistas que la dosis del cristalino sin protección ocular fue 0,18 + 0,11 (media + estándar desviación; 0,08-0,41) mSv por día laborable y 35,3 + 6,6 mSv (16,3-82,9) anualmente (200 días laborables / año), donde cinco (56%) radiólogos superó el límite de dosis anual del cristalino de 20 mSv. (33) En otro estudio se observó que la dosis de radiación ocupacional al cristalino de los radiólogos durante su práctica diaria tuvo una mediana fue de 8,02 mSv / año con el uso de gafas de plomo y la mediana de los dosímetros a nivel de los ojos fue de 18,6 mSv / año sin protección, además que los datos se vieron influidos dado que a mayor altura (170 cm vs 150 cm) se observó una menor dosis de radiación. (34).

Cuando se valoró la dosis de radiación en procedimientos como terapia de infiltración perirradicular, colocación de drenaje y biopsias, se muestra que solo existe una mínima exposición a la radiación de los radiólogos intervencionistas durante los diferentes tipos de intervenciones guiadas por TC. Esto se puede explicar dado que los autores de este estudio refieren utilizar configuraciones menores a las propuestas por otros autores dando para la biopsia pulmonar, dosis de 54 mGy / cm2 vs 34,5 mGy / cm2 del estudio. En terapia de infiltración perirradicular, durante la fluoroscopia intermitente se obtuvo una mediana de 6.60 mGy / cm2 (15) y para los segmentos lumbares de 3,71 mGy / cm2.

En un estudio que valora la biopsia del ganglio centinela (BNS) guiada por radioisótopos mastectomías se analiza la exposición a la radiación durante la BNS para el cáncer de mama durante un período de tiempo significativo, donde se observa que la exposición anual del cirujano fue de 0,125 mSv (rango 0,01-0,03 mSv) y para el asistente fue de 0,265 (rango 0,01-0,13 mSv). Siendo el asistente la persona con mayor dosis dado la mayor proximidad a la inyección durante el procedimiento. (37)

Finalmente un punto que enmarca todo las especialidades comentadas es la experiencia del cirujano al momento de realizar procedimientos quirúrgicos, donde los resultados de una revisión sistemática en ortopedistas muestran que cuanto más experimentado sea el cirujano, tendrá menor tendencia a usar el arco en C y, por lo tanto, menor tiempo de fluoroscopia y dosis de radiación, que se respalda en un reciente estudio en un centro de trauma pediátrico donde hubo un tiempo de fluoroscopia significativamente mayor en segundos (56,9 frente a 42,1 s, P = 0,001), Kerma (179,9 frente a 110,3 mGy-cm2, P = 0,001), uso de aumento del fluroscopio (39,5 frente a 31,9 s, P = 0,043), y número total de imágenes obtenidas (74,5 frente a 57,6, p = 0,008) en los cirujanos asistentes con <1 año de experiencia en comparación con los de mayor experiencia que tenían una mediana de 8.94 años (42).. Las explicaciones en el artículo van desde que en un nivel de enseñanza, la mayoría de los aprendices no tienen confianza en su reducción y fijación y, por lo tanto, están bajo la presión de los compañeros, que para evitar la decepción de los cirujanos supervisores, recurren a una detección excesiva o la obtención de múltiples imágenes para asegurar la reducción y fijación adecuadas de la fractura. Otra razón detallada fue que encontraron que los aprendices realizaban procedimientos menos comunes o más complejos, lo que explicaba la gran diferencia en los tiempos de exposición / detección, medida que disminuirá con supervisión (valorado en otros estudios). (41, 46)

¿Qué conocimientos tiene el personal de salud sobre la radiación ionizante?

Con respecto a estudios que hayan evaluado los conocimientos del personal quirúrgico sobre radiación ionizante y uso de los equipos de protección personal, se logra observar que en regiones como Brazil por parte de los ortopedistas de diferentes subespecialidades presentan dado un estudio realizado por medio de encuesta un conocimiento inadecuado sobre exposición a radiación ionizante, y que solo una minoría usa adecuadamente el equipo de protección personal dado por delantal, protector de tiroides y anteojos de protección radiológica (43). Por su parte un estudio que valoraba el uso de equipo de protección personal y conocimientos por parte de cirujano de columna asociados a AOSpine mostró que el 86,5% de los cirujanos no conocen sus propios límites de exposición a la radiación y el 75,7% nunca o rara vez utilizó una placa de dosímetro. Además, el uso de escudos de tiroides fue utilizada por el 64,2% de los cirujanos de columna, anteojos de plomo en un 20,2% y guantes de plomo en un 7% de los cirujanos. Por su parte los cirujanos de Brasil y Colombia informaron usar el protector de tiroides con más frecuencia que los cirujanos de México y Argentina ($p < 0,001$). El modo pulsado de fluoroscopia se usa con más frecuencia en México y Argentina que en Brasil y Colombia ($p < 0,0001$). (44).

En Europa se realizó un estudio con cuestionarios a endourologistas sobre sus conocimientos y acciones con respecto a radiación ionizante en su práctica diaria, donde la mayoría de los que respondieron usando fluoroscopia, creían que a exposición a la radiación aumenta el riesgo de malignidad (88%) y el 72% documentaba el tiempo de la fluoroscopia en el quirófano. Solo el 25% mencionó la existencia de lecciones regulares sobre seguridad radiológica en su entorno. Aproximadamente la mitad de ellos (42%) eran conscientes del principio ALARA, mientras que medidas protectoras como el uso de alarma cada 1 o 5 min de radiación se aplicó en el 39% de los encuestados, el uso de "última retención de imagen" en el 64% y modificación de la configuración de la máquina de fluoroscopia (kVP, mA) solo en el 20% de los que respondieron, además sobre conocimientos los que presentaban mayor acierto eran las personas que se encontraban en ámbitos académicos y los residentes de urología. (3)

En Estados Unidos en una encuesta realizada a endoscopistas donde un 74,9% contaban más de 5 años de experiencia en la realización de CPRE. Se encontró que el 61,6% controlaban personalmente la fluoroscopia durante la CPRE, la mayoría 56,6% no había recibido formación operando su sistema de fluoroscopia, Solo una minoría (18-31%) de todos los encuestados informó que utilizaba constantemente parámetros del sistema de fluoroscopia que minimizan la exposición a la radiación del paciente (fuoroscopia pulsada, modificación de la frecuencia de colimación). Y el estudio considero que los endoscopistas parecen adoptar medidas de protección radiológica personal adecuadas pero que el uso de un dosímetro no fue consistente en la mitad de los encuestados. (45)

Aproximación a nuevos avances en medidas de protección a radiación ionizante

La preocupación asociada a la exposición de radiación ionizante ha llevado a la necesidad de nuevos diseños de los equipos de radiación, ajuste de parámetros, protocolos, y equipos de protección personal, en mira de disminuir la dosis de radiación en los equipos quirúrgicos, un ejemplo de esto, es la disminución de la exposición a la radiación mediante fluoroscopia pulsada y un marcador pedicular desmontable para el manejo de deformidades asociadas a escoliosis, donde su implentación redujo la dosis en un 80%, el procedimiento se realiza con mayor rapidez y la adecuada colocación en un 97% de los tornillos pediculares. (50). Además un estudio que valora el uso de realidad aumentada para realizar procedimientos quirúrgicos no solo mejoró la adecuada colocación de tornillos pediculares, sino que a su vez la exposición media del personal por procedimiento fue de 0,21 ± 0,06 μSv y la proporción promedio de dosis de personal a referencia por procedimiento fue de 0.05%. (52)

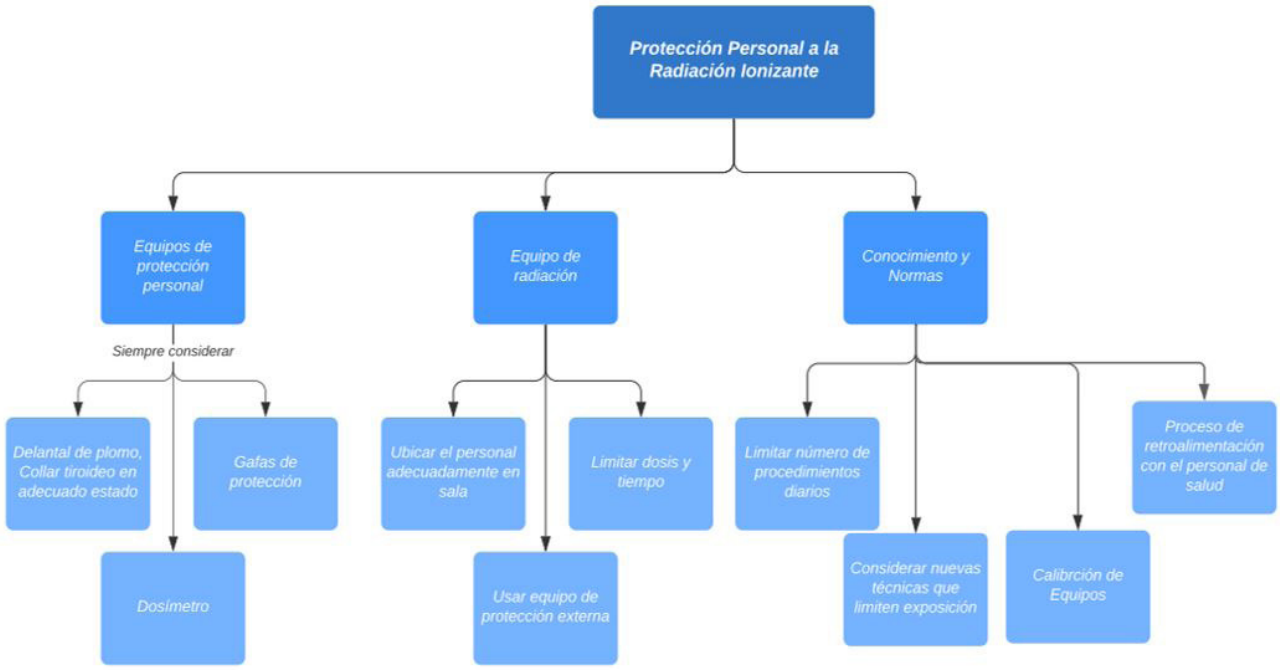
Otro estudio evalúa el uso de tomografía computarizada con un método de exposición parcial para punciones de radiología intervencionista vs escaneos totales, donde se observó que el modelo parcial produjo una dosis de radiación en la mano del operador 84% (0,35 frente a 2,33 mGy) más baja que la total, la dosis en el torso del paciente se redujo en un 68% en relación con el escaneo total, por último las imágenes adquiridas con PEM mostraron una visibilidad equivalente a la de otros métodos de escaneo cuando se ajustaron las condiciones de la ventana (49).

Con respecto a uso de equipos de protección personal, un estudio que valora el uso de un escudo vertical para disminuir la dosis de radiación en procedimiento de cardiología intervencionista, descubrio que dependiendo del ángulo se podrá disminuir la exposición, el uso del escudo colocado entre el operador y el detector, redujo significativamente en casi la mitad la exposición a la radiación del operador. (51).

Responsabilidades morales, éticas y bioéticas Protección de personas y animales

Los autores declaramos que, para este estudio, no se realizó experimentación en seres humanos ni en animales. Este trabajo de investigación no implica riesgos ni dilemas éticos, por cuanto su desarrollo se hizo con temporalidad retrospectiva. El proyecto fue

Figura 6: Medidas de mayor impacto en reducción de exposición a RI.



Fuente: Elaboración propia de los autores para fines académicos.

revisado y aprobado por el comité de investigación del centro hospitalario. En todo momento se cuidó el anonimato y confidencialidad de los datos, así. como la integridad de los pacientes.

Confidencialidad de datos

Los autores declaramos que se han seguido los protocolos de los centros de trabajo en salud, sobre la publicación de los datos presentados de los pacientes.

Derecho a la privacidad y consentimiento informado

Los autores declaramos que en este escrito académico no aparecen datos privados, personales o de juicio de recato propio de los pacientes.

Financiación

No existió financiación para el desarrollo, sustentación académica y difusión pedagógica.

Potencial Conflicto de Interés(es)

Los autores manifiestan que no existe ningún(os) conflicto(s) de interés(es), en lo expuesto en este escrito estrictamente académico.

Bibliografía

1. Yu C. Don't be Caught Half-dressed When Working with Radiation. CardioVascular and Interventional Radiology. 2019;43(3):369-375.
2. Lakhwani O, Dalal V, Jindal M, Nagala A. Radiation protection and standardization. Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma. 2019;10(4):738-743.
3. Tzelves L, Somani B, Knoll T, Kamphuis G, Sarica K, Seitz C et al. Level of knowledge on radiation exposure and compliance to wearing protective equipment: where do endourologists stand? An ESUT/EULIS survey. World Journal of Urology. 2019;38(3):761-768.
4. Ojodu I, Ogunsemoyin A, Hopp S, Pohlemann T, Ige O, Akinola O. C-arm fluoroscopy in orthopaedic surgical practice. European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology. 2018;28(8):1563-1568.
5. Vassileva J, Zagorska A, Karagiannis A, Petkova K, Sabuncu K, Saltirov I et al. Radiation Exposure of Surgical Team During Endourological Procedures: International Atomic Energy Agency–South-Eastern European Group for Urolithiasis Research Study. Journal of Endourology. 2021;35(5):574-582.
6. Jenkins N, Parrish J, Sheha E, Singh K. Intraoperative risks of radiation exposure for the surgeon and patient. Annals of Translational Medicine. 2021;9(1):84-84.
7. Brady Samuel L.,Frush Donald P., Capítulo 736 - Efectos biológicos de la radiación ionizante en niños, Nelson. Tratado de pediatría (21.ª Edición), edited by Kliegman Robert M. MD,Blum Nathan J. MD,Shah Samir S. MD MSCE,St Geme Joseph W. MD,Tasker Robert C. MBBS MD,Wilson Karen M. MD MPH,Behrman Richard E. MD, 2020, Pages 3778-3785, ISBN 978-84-9113-684-2,
8. 3. Magnitudes y unidades de radiación [Internet]. Rpop.iaea.org. 2021 [cited 27 May 2021]. Available from: https://rpop.iaea.org/RPOP/RPoP/Content-es/InformationFor/HealthProfessionals/1_Radiology/QuantitiesUnits.htm
9. Ramoutar D, Thakur Y, Batta V, Chung V, Liu D, Guy P. Orthopaedic Surgeon Brain Radiation During Fluoroscopy. Journal of Bone and Joint Surgery. 2020;102(22):e125.
10. Raza M, Houston J, Geleit R, Williams R, Trompeter A. The use of ionising radiation in orthopaedic surgery: principles, regulations and managing risk to surgeons and patients. European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology. 2021.
11. Williamson M, Iliopoulos E, Williams R, Trompeter A. Intra-operative fluoroscopy time and radiation dose during

suprapatellar tibial nailing versus infrapatellar tibial nailing. Injury. 2018;49(10):1891-1894.
12. Apelmann, Kowald, Weinrich, Dischinger, Nienhaus, Seide et al. Radiation Dose to the Eye Lens Through Radiological Imaging Procedures at the Surgical Workplace During Trauma Surgery. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2019;16(20):3850.
13. Skrk D, Petek K, Pekarovic D, Mekis N. Typical air kerma area product valúes for trauma orthopaedic surgical procedures. Radiology and Oncology. . 2021;55(2):240-246.
14. Al-Azzawi M, Davenport D, Shah Z, Khakha R, Afsharpad A. Suprapatellar versus infrapatellar nailing for tibial shaft fractures: A comparison of surgical and clinical outcomes between two approaches. Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma. 2021;17:1-4.
15. Asari T, Rokunohe D, Sasaki E, Kaneko T, Kumagai G, Wada K et al. Occupational ionizing radiation-induced skin injury among orthopedic surgeons: A clinical survey. Journal of Orthopaedic Science. 2020.
16. Abosala A. A Report on Occupational Ionizing Radiation Exposure by an Orthopedic Surgeon in a National Health-care Setting - Clinical Case Perspective. J Orthop Case Rep. 2018;8(3):81-84.
17. Seijas R, Català J, Cepas M, Sallent A, Ares O, Barastegui D. Radiation Exposure from Fluoroscopy during Hip Arthroscopy. The Surgery Journal. 2019;05(04):e184-e187.
18. Jung G. Simple Way to Reduce Radiation Exposure in the Orthopaedic Operating Theater: An 18-month Prospective Study. Medical Case Reports Journal. 2018;1(2):1-6.
19. Crowhurst J, Whitby M, Aroney N, Dautov R, Walters D, Raffel O. Primary operator radiation dose in the cardiac catheter laboratory. The British Journal of Radiology. 2020;93(1112):20200018.
20. Saeed M. Assessment of the Annual Eye Lens Dose for Cardiologists During Interventional Procedures Using Anthropomorphic Phantoms and mEyeDose_X Tool. Cardiovascular Revascularization Medicine. 2020;21(4):527-531.
21. Bru P, Dompnier A, Amara W, Haddad G, Galuscan G, Sagnol P et al. Radiation exposure during cardiac device implantation: Lessons learned from a multicenter registry. Pacing and Clinical Electrophysiology. 2019;43(1):87-92.
22. Daval C, Faroux L, Lesaffre F, Blanpain T, Chabert J, Martin A et al. Impact of cardiac resynchronisation therapy on cardiologists' exposure to radiation during implantation of pacemakers and implantable cardioverter-defibrillators. Journal of Radiological Protection. 2019;39(2):489-497
23. Aquino A, Khiabani A, Henn M, Zajarias A, Melby S, Sintek M et al. Radiation Exposure During Transcatheter Valve Replacement: What Cardiac Surgeons Need to Know. The Annals of Thoracic Surgery. 2020;109(1):118-122.
24. Simson N, Stonier T, Suleyman N, Hendry J, Salib M, Peacock J et al. Defining a national reference level for intraoperative radiation exposure in urological procedures: FLASH, a retrospective multicentre UK study. BJU International. 2019;125(2):292-298.
25. Andrade G, Garzón W, Khoury H, Savignon J, de Barros V, Fernandes J et al. Reduction of staff radiation dose in prostatic artery embolisation. Radiation Protection Dosimetry. 2019;187(1):1-7.
26. Vassileva J, Zagorska A, Basic D, Karagiannis A, Petkova K, Sabuncu K et al. Radiation exposure of patients during endourological procedures: IAEA-SEGUR study. Journal of Radiological Protection. 2020;40(4):1390-1405
27. Yamada R, Saimyo Y, Tanaka K, Hattori A, Umeda Y, Kuroda N et al. Usefulness of an additional lead shielding device in reducing Occupational radiation exposure during Interventional Endoscopic procedures. Medicine. 2020;99(34):e21831.
28. Chung K, Park Y, Ahn S, Son B. Radiation protection effect of mobile shield barrier for the medical personnel during endoscopic retrograde cholangiopancreatography: a quasi-experimental prospective study. BMJ Open. 2019;9(3):e027729
29. Chiang H, Wu R, Yin T, Li J, Wang Y, Lin L. Occupational radiation exposure of orthopedists at different locations during pedicle screw insertion: An anthropomorphic phantom study. Technology and Health Care. 2021;29:211-219.
30. Urakov T. Practical Assessment of Radiation Exposure in Spine Surgery. World Neurosurgery. 2018;120:e752-e754.
31. Arif S, Brady Z, Enchev Y, Peev N, Encheva E. Minimising radiation exposure to the surgeon in minimally invasive spine surgeries: A systematic review of 15 studies. Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research. 2020;102795.
32. Betti M, Mazzoni L, Belli G, Bernardi L, Bicchi S, Busoni S et al. Surgeon eye lens dose monitoring in catheterization lab: A multi-center survey. Physica Medica. 2019;60:127-131.
33. Merrachi N, Bouchard-Bellavance R, Perreault P, Gilbert P, Soulez G, Bouchard L et al. Eye Lens Dosimetry in Interventional Radiology: Assessment With Dedicated Hp(3) Dosimeters. Canadian Association of Radiologists Journal. 2020;72(2):317-323
34. Tanaka T, Matsubara K, Fukuda A, Kobayashi S. Estimation of hp(3) to the eye lens of interventional radiologists—relation between the eye lens dose and radiologist's height. Radiation Protection Dosimetry. 2019;187(4):409-417.
35. Elsholtz F, Vahldiek J, Wyschkon S, Bucourt M, Koletzko G, Hamm B et al. Radiation exposure of radiologists during different types of CT-guided interventions: an evaluation using dosimeters placed above and under lead protection. Acta Radiologica. 2019;61(1):110-116.
36. Hajiha M, Smith J, Amasyali A, Groegler J, Shah M, Alsyouf M et al. The Effect of Operative Field Instrument Clutter During Intraoperative Fluoroscopy on Radiation Exposure. Journal of Endourology. 2019;33(8):626-633.
37. Burrah R, James K, Poonawala S. Evaluation of Radiation Exposure During Sentinel Lymph Node Biopsy in Breast Cancer: A Retrospective Study. World Journal of Surgery. 2019;43(9):2250-2253.
38. Hayda R, Hsu R, DePasse J, Gil J. Radiation Exposure and Health Risks for Orthopaedic Surgeons. Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons. 2018;26(8):268-27.
39. Gowda S, Mitchell C, Abouel-Enin S, Lewis C. Radiation risk amongst orthopaedic surgeons – Do we know the risk? Journal of Perioperative Practice. 2018;29(5):115-121. 13. Seguridad
40. Cornacchia S, Errico R, La Tegola L, Maldera A, Simeone G, Fusco V et al. The new lens dose limit: implication for occupational radiation protection. La radiologia médica. 2019;124(8):728-735.
41. Malik A, Rai H, Lakdawala R, Noordin S. Does surgeon experience influence the amount of radiation exposure during orthopedic procedures? A systematic review. Orthopedic Reviews. 2019;11(1).
42. Magee L, Karkenny A, Nguyen J, Fazal F, Talwar D, Zhu X et al. Does Surgical Experience Decrease Radiation Exposure in the Operating Room? Journal of Pediatric Orthopaedics. 2021;Publish Ahead of Print.
43. Pires R, Reis I, de Faria Â, Giordano V, Labronici P, Belangero W. The hidden risk of ionizing radiation in the operating room: a survey among 258 orthopaedic surgeons in Brazil. Patient Safety in Surgery. 2020;14

44. Falavigna A, Ramos M, Iutaka A, Menezes C, Emmerich J, Taboada N et al. Knowledge and Attitude Regarding Radiation Exposure Among Spine Surgeons in Latin America. World Neurosurgery. 2018;112:e823-e829
45. Sethi S, Barakat M, Friedland S, Banerjee S. Radiation Training, Radiation Protection, and Fluoroscopy Utilization Practices Among US Therapeutic Endoscopists. Digestive Diseases and Sciences. 2019;64(9):2455-2466.
46. Patra S, Shetty A, Jayaramaraju D, Rajasekaran S. Radiation Exposure to the Surgeon, Surgical Assistant, and Scrub Nurse During Closed Intramedullary Nailing of Long Bones—Does It Vary Depending on the Experience of the Surgeon?. Journal of Orthopaedic Trauma. 2019;33(2):e52-e57.
47. Koenig A, Etzel R, Greger W, Viniol S, Fiebich M, Thomas R et al. Protective Efficacy of Different Ocular Radiation Protection Devices: A Phantom Study. CardioVascular and Interventional Radiology. 2019;43(1):127-134.
48. Tetteh E, Sarker P, Radley C, Hallbeck M, Mirka G. Effect of surgical radiation personal protective equipment on EMG-based measures of back and shoulder muscle fatigue: A laboratory study of novices. Applied Ergonomics. 2020;84:103029.
49. . Takiguchi K, Urikura A, Yoshida T, Nakaya Y, Endo M, Aramaki T. Radiation dose and image quality of CT fluoroscopy with partial exposure mode. Diagnostic and Interventional Radiology. 2020;26(4):333-338.
50. Marco R, Curry M, Mujezinovic F, Linton J. Decreased radiation exposure using pulsed fluoroscopy and a detachable pedicle marker and probe to place pedicle screws: a comparison to current fluoroscopy techniques and CT navigation. Spine Deformity. 2020;8(3):405-411. Nuevas tecnologías.
51. Panetta C, Galbraith E, Yanavitski M, Koller P, Shah B, Iqbal S et al. Reduced radiation exposure in the cardiac catheterization laboratory with a novel vertical radiation shield. Catheterization and Cardiovascular Interventions. 2019;95(1):7-12.
52. Edström E, Burström G, Omar A, Nachabe R, Söderman M, Persson O et al. Augmented Reality Surgical Navigation in Spine Surgery to Minimize Staff Radiation Exposure. Spine. 2020;45(1):E45-E53. Nuevas tecnologias.