



Enero-Marzo 2023
Vol. 1, núm. 1 / pp. 32-37

Recibido: 09 de Mayo de 2023
Aceptado: 09 de Mayo de 2023

doi: 10.35366/111051

Palabras clave: radiación ionizante, rayos X, equipo de protección, radiación ocupacional, columna, cirugía ortopédica.

Keywords: ionizing radiation, X-rays, protective equipment, occupational radiation, spine, orthopedic surgery.

* Unidad de Patología Espinal del Servicio de Ortopedia y Traumatología del HIGA San Martín La Plata, Unidad de Patología Espinal Hospital Italiano La Plata, Instituto del Diagnóstico La Plata-Provincia Buenos Aires, Argentina. ORCID: 0000-0003-0060-6558

† Hospital General de Mexicali, Baja California, México. ORCID: 0000-0002-6106-6228

§ Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México. ORCID: 0000-0002-5532-5318

¶ Centro Hospital Universitario de São João: Porto, Porto, PT. ORCID: 0000-0001-6961-9213

|| Presidente SAPCV (2017-2018). Profesor de Ortopedia y Traumatología, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Maimónides. Director Consultorio Médico de Ortopedia y Traumatología, Cirugía de Columna. CABA, Argentina. ORCID: 0000-0003-2872-8784

** Servicio COT, Complexo Hospitalario Universitario de Santiago de Compostela. ORCID: 0000-0002-0476-1507

Centro de Enfermedades Neurológicas, Universidad Pública de El Alto, Universidad del Valle, Universidad Franz Tamayo, La Paz, Bolivia. ORCID: 0000-0003-4371-2377
Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG Belo Horizonte, Brasil. ORCID: 0000-0001-6670-5159

Principios básicos de rayos X en cirugía de columna. Revisión de la literatura. Equipo Iberolatinoamericano de Investigación SILACO

Basic principles of X-ray in spine surgery. Literature review. SILACO Ibero-Latin American Research Team

Pedro Luis Bazán,* Marlene Vanessa Salcido Reyna,‡
José María Jiménez Ávila,§ Paulo Pereira,¶ Roberto Mario Muscia,||
Máximo Alberto Diez Ulloa,** Luis Miguel Duchén Rodríguez,##
Cristiano Magalhaes Menezes,## Andrea Solorio Guerrero,¶¶
Minerva Gabriela Itriago Gómez,*** Paulina Muleiro Estévez,### Ratko Yurac####

RESUMEN

El uso de rayos X es fundamental para la práctica ortopédica, especialmente para la cirugía de columna con enfoques mínimamente invasivos. La radiación se refiere a la transmisión de energía a través de cualquier medio que puede ser transportada como onda o partícula. Los rayos X y la tomografía computarizada utilizan radiación de tipo ionizante. La radiación ionizante es un riesgo potencial tanto para los pacientes como para los profesionales de la salud debido a que puede producir un aumento de radicales libres que provocan anomalías en el ADN celular, lo cual se correlaciona con diversos tipos de cáncer. Los ortopedistas tienen cinco veces más probabilidades de desarrollar cáncer en el transcurso de su vida en comparación con otras áreas del personal de salud, debido a la constante exposición a la radiación ocupacional. La Comisión Internacional de la Protección Radiológica (ICRP) establece tres principios básicos para cumplir sus objetivos: justificación, optimización y límite de dosis. La finalidad principal de la protección radiológica es proporcionar un nivel apropiado de protección para el ser humano, sin limitar indebidamente las prácticas beneficiosas que dan lugar a la exposición de la radiación ionizante. Es muy importante seguir las recomendaciones de protección y mantenimiento de los equipos para reducir en la medida de lo posible la radiación tanto en el personal de la salud como en los pacientes.

ABSTRACT

The use of X-rays is fundamental in the orthopedic practice, especially for minimally invasive spinal surgery. Radiation refers to the transmission of energy through any medium and can be transported as a wave or a particle. X-rays and computed tomography use ionizing radiation. Ionizing radiation

Citar como: Bazán PL, Salcido RMV, Jiménez ÁJM, Pereira P, Mario MR, Diez UMA et al. Principios básicos de rayos X en cirugía de columna. Revisión de la literatura. Equipo Iberolatinoamericano de Investigación SILACO. Cir Columna. 2023; 1 (1): 32-37. <https://dx.doi.org/10.35366/111051>



^{††} Hospital General de Mexicali, Baja California, México.

ORCID:0009-0009-0272-4583

^{***} Departament of orthopedic and traumatology, School of Medicine, University of Desarrollo, Santiago Chile.

ORCID:0000-0002-0373-4777

^{‡‡} Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México. ORCID:0000-0002-5679-4271

^{§§§} Departament of orthopedic and traumatology, School of Medicine, University of Desarrollo, Santiago Chile.

ORCID: 0000-0003-3603-6294

Comité de investigación de la Sociedad Iberolatinoamericana de Columna (SILACO).

Correspondencia:

Marlene Vanessa Salcido Reyna

E-mail: drasalcidoreyna@gmail.com

is a potential risk for both patients and health professionals because it can produce an increase in free radicals that cause abnormalities in cellular DNA, which is correlated with various types of cancer. Orthopedists are five times more likely to develop cancer in their lifetime compared to other areas of healthcare personnel due to constant exposure to occupational radiation. The International Commission on Radiological Protection (ICRP) establishes three basic principles to meet its objectives: justification, optimization, and dose limit. The main purpose of radiation protection is to provide an appropriate level of protection for humans, without unduly limiting beneficial practices that result in exposure to ionizing radiation. It is very important to follow the recommendations for protection and maintenance of the equipment to reduce radiation to both health personnel and patients as far as possible.

INTRODUCCIÓN

El uso de rayos X es fundamental para la práctica ortopédica y altamente utilizado en la cirugía de columna para los enfoques mínimamente invasivos. Éstos se utilizan cada vez más y requieren control fluoroscópico, por lo tanto hay mayores niveles de radiación que constituyen un riesgo para la salud; sin embargo, se ha documentado que sólo 70% de los cirujanos utiliza chaleco protector plomado y en menos de 30% puede ser asociado al uso conjunto con protección tiroidea, en ocasiones incluso no se utilizó ningún método de protección. Cabe mencionar que 86% de los cirujanos desconoce las condiciones de los chalecos, así como si se les realiza o no mantenimiento, esto evidencia la falta, control y protocolización sobre el uso y la protección de la radiación. La radiación ionizante es un riesgo potencial tanto para los pacientes como para los profesionales de la salud.¹

Los cirujanos ortopedistas expuestos a radiación tienen cinco veces más probabilidades de desarrollar cáncer en el transcurso de su vida, en comparación con otros trabajadores de la salud, debido a la exposición a la radiación ocupacional,² la prevalencia de cáncer de mama es 2.9 veces mayor en las cirujanas ortopédicas comparado con la población general de EE. UU., aunado a que existe una escasez de investigaciones sólidas sobre la seguridad de la radiación para el personal de quirófano.³

La radiación ionizante ha sido clasificada como cancerígena por la Organización Mundial de la Salud,⁴ históricamente los límites recomendados de dosis de

radiación estaban basados en estudios epidemiológicos de sobrevivientes de las bombas atómicas, por ejemplo, las utilizadas en la Segunda Guerra Mundial, el accidente de Chernóbil y en algunas áreas laborales como los astronautas y técnicos radiólogos.⁵

El objetivo del presente artículo fue realizar una búsqueda y análisis de los principios básicos, así como de recomendaciones publicadas sobre el uso de rayos X en la cirugía de columna.

RAYOS X

Los rayos X se producen cuando los electrones se aceleran a través de un alto voltaje (rango, 50,000-150,000 voltios o 50-150 kVp) aplicado a un objetivo de tungsteno en un tubo de rayos X, el flujo de electrones de filamento al objetivo se conoce como la corriente del tubo y se da en miliamperios (mA). Se realiza fluoroscopia usando 2 a 30 mA y un voltaje de aceleración de 75 a 125 kVp, la cantidad de rayos X producidos y la fuente de la lesión por radiación está determinada por la corriente del tubo (mA) y la alta tensión (kVp).⁶

La radiación se refiere a la transmisión de energía a través de cualquier medio, la energía se transporta como onda o partícula.

La energía de la radiación está determinada por la rapidez con la que se repite la longitud de onda, dado que toda la radiación electromagnética viaja a la velocidad de la luz, esto está determinado por cuán pequeña es la longitud de onda; una longitud de onda más corta transportaría mayores cantidades de radiación.¹

RADIACIÓN IONIZANTE

Se denomina así a los rayos X y otras radiaciones electromagnéticas de longitud de onda corta; las modalidades de imagen, como los rayos X y la tomografía computarizada (TC) utilizan radiación ionizante, por lo que, en consecuencia, tienen riesgos asociados; mientras que otras modalidades, como la ecografía y la resonancia magnética, no lo hacen.¹ La radiación ionizante es un carcinógeno humano establecido (*International Agency for Research on Cancer 2012*) con evidencia suficiente en humanos para establecer una relación causal entre la exposición a la radiación X o gamma y el desarrollo de cáncer de mama.⁷

La radiación se produce de dos formas principalmente, de manera directa y como radiación dispersa, esta última es explicada por el efecto de dispersión de Compton, también conocido como el efecto Compton, que hace referencia a un fotón que interactúa con un electrón y pierde parte de su energía al cambiar de dirección, esto hace que el electrón sea expulsado del átomo con una energía significativa, lo que da como resultado un fotón de menor energía (longitud de onda aumentada) y un átomo ionizado, este fotón de menor energía puede dispersarse en todas las direcciones y tiene el potencial de causar más interacciones dentro del tejido, lo que explica por qué la dispersión es un riesgo potencial en los escenarios del quirófano no sólo para el cirujano sino también para otras personas cercanas.¹

A las fuentes de radiación ionizante como los rayos cósmicos, materiales radioactivos presentes en la naturaleza de forma no alterada, se les denomina radiaciones de fondo o naturales, mientras que las generadas por el ser humano se conocen como fuentes artificiales de radiación.⁸

Las fuentes naturales de radiación, como el gas radón y los rayos cósmicos, representan alrededor de 85% de la radiación (2.4 milisieverts por año), las fuentes artificiales derivadas de la producción industrial y militar contribuyen al menos con 1% de la radiación de fondo, la proporción restante proviene de la práctica médica.⁹

Las unidades de radiación incluyen gray (Gy) para la dosis de radiación absorbida, definida como un Joule de energía depositada en un kilogramo de masa, y sievert (Sv) para la dosis efectiva, que representa la intensidad de la ionización.⁴

La dosis de radiación suele informarse en muchas formas (dosis equivalente en lentes, dosis en todo el cuerpo, dosis absorbida, etcétera) y unidades (rem, rad, mGy, mSv), mientras los instrumentos utilizados

en la medición de la radiación usualmente no se estandarizan.⁴

La radiación ionizante al atravesar los tejidos puede producir un aumento de radicales libres y la aparición de anomalías en el desarrollo celular, incluidos los cambios químicos en el ADN.⁸ Los efectos de la radiación se dividen en efectos deterministas, que miden los efectos agudos a partir de dosis de radiación acumuladas (por ejemplo, enfermedad por radiación y lesiones cutáneas agudas que pueden provocar la muerte), y efectos estocásticos, que representan los efectos a largo plazo de múltiples exposiciones a dosis bajas (por ejemplo, malignidad y formación de cataratas).⁴

Los efectos nocivos clínicos y biológicos de la exposición a la radiación ionizante están bien documentados; sin embargo, existen deficiencias en la comprensión de los riesgos en la práctica clínica y en los enfoques para reducir la exposición a la radiación, existe evidencia de que en la práctica real la protección básica contra la radiación ionizante varía ampliamente.⁹ La radiación ionizante induce lesiones en el ADN, de las cuales la rotura de doble cadena (DSB, por sus siglas en inglés) es la que tienen el papel más importante en la inestabilidad genómica inducida por radiación y posteriormente en los carcinogénicos, la DSB no reparada puede conducir a la formación de aberraciones cromosómicas y una amplia clase de mutaciones de ADN que están vinculadas a diversos riesgos para la salud.¹⁰

El sistema de protección radiológico vigente se basa en la suposición de que por muy pequeña que sea la dosis de radiación siempre hay algún riesgo, esta presunción se hace con fundamento en los estudios realizados en las personas que se han expuesto a altas dosis de radiación, tales como los supervivientes de las bombas atómicas en Japón.⁸

Entre las categorías de exposición se encuentran la ocupacional, que se produce durante el desarrollo de un trabajo con fuentes radioactivas artificiales o naturales incrementadas por la acción humana; la médica, como consecuencia de los procedimientos de diagnósticos o de tratamiento a los cuales pueden ser sometidos los individuos; y la exposición del público, la cual comprende todas las exposiciones no incluidas en las ocupacionales ni en las médicas.

Desde 1928, existe un organismo internacional que se preocupa de la protección radiológica (protección de las personas y del medio ambiente contra los efectos de las radiaciones ionizantes) la Comisión Internacional de la Protección Radiológica (ICRP, por sus siglas en inglés), cuyo objetivo es evitar la aparición de

efectos biológicos deterministas y limitar al máximo la probabilidad de aparición de los efectos estocásticos.

A continuación se enlistan los tres principios básicos de las recomendaciones actuales de la ICRP:

1. Justificación
2. Optimización
3. Límite de dosis

El principio de justificación versa sobre que la exposición debe producir un beneficio neto positivo para aplicarse, para lo cual deben considerarse los efectos negativos y las alternativas posibles. La optimización ALARA (principio ALARA) cuyas siglas en inglés se refieren a la expresión “tan bajo como sea razonablemente posible”, lo cual indica que las dosis deben ser reducidas por debajo de los límites máximos establecidos. El límite de dosis indica que la cantidad de radiación recibida por un individuo no debe superar los límites establecidos en la norma nacional.⁸

En la *Tabla 1* se presentan las recomendaciones de dosis máximas tanto para la exposición ocupacional como para la exposición pública.

La finalidad principal de la protección radiológica es proporcionar un nivel apropiado de protección para el ser humano y el medio ambiente, sin limitar indebidamente las prácticas beneficiosas que dan lugar a la exposición de la radiación ionizante.⁸

Los riesgos de irradiación a que están sometidos los individuos se reducen aplicando las siguientes medidas de protección: distancia, la exposición disminuye en la misma proporción en que aumenta el cuadrado de la distancia; tiempo, la reducción del tiempo reduce la exposición; blindaje, es el hecho de interponer un

espesor de material absorbente entre el operador y la fuente de radiación.⁸

El Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) tiene como misión el desarrollo de normas y guías que, conteniendo esencialmente las recomendaciones de la ICRP, hayan alcanzado un consenso internacional, este consenso no es sólo entre países, sino también con otras organizaciones de naciones unidas, como la Organización Mundial de la Salud o la Organización Internacional del Trabajo.⁸

Diferentes estudios han demostrado que la dosis de exposición es variable dependiendo de la cirugía, las cirugías que generan dosis mediana de detección significativamente más altas, mostraron ser la cirugía de cadera, fémur, tibia y columna.

En la cirugía ortopédica se puede controlar la radiación con tres variables: mecánica (cantidad, duración y dirección del haz), barreras (dispositivos de protección) y amplitud (distancia de trabajo entre el cirujano y el intensificador de imágenes).

La protección estándar contra la radiación local disponible consiste en delantales de plomo de 0.25 mm, listos para usar y de varios estilos, protectores de plomo para la tiroides (si los seleccionaba el cirujano) y la aplicación del principio ALARA.⁹

Las placas de película (dosímetros) funcionan mediante la exposición de películas fotográficas a la radiación, tienen un umbral de detección de 0.1 mSv, algunos estudios han empleado dosímetros termoluminiscentes (TLD, por sus siglas en inglés) y dosímetros personales electrónicos (EPD, por sus siglas en inglés) más sensibles. Estos últimos tienen una sensibilidad de detección de 1 µSv. A pesar de sus limitaciones, las placas de película se han usado

Tabla 1: Recomendaciones de dosis.

Tipo de dosis	Límite de la dosis de exposición ocupacional	Límite de la dosis de exposición pública
Dosis efectiva	20 mSv/año, promediado durante períodos definidos de cinco años, sin que ningún año supere los 50 mSv	1 mSv/año
Dosis equivalente: cristalino (lente del ojo)	20 mSv/año, promediado durante períodos definidos de cinco años, sin que ningún año supere los 50 mSv	15 mSv/año
Dosis equivalente: piel	500 mSv/año	50 mSv/año
Dosis equivalente: manos y pies	500 mSv/año	–

mSv = milisieverts.

Fuente: Frane N, et al.¹⁴

con éxito en la mayoría de los casos de los estudios contemporáneos en este campo y siguen siendo el estándar de oro para la monitorización personal de la radiación en los hospitales.⁹

Las tasas de dosis de radiación en los cirujanos de columna llegan a ser de 10 a 12 veces mayores que las de otros procedimientos musculoesqueléticos no espinales que requerían detección, dado que el intensificador de imagen establece la salida de dosis automáticamente de acuerdo con la densidad del tejido que se está penetrando, la exposición por caso dependerá tanto de la duración del cribado como de la naturaleza del tejido que se está penetrando. En la muestra, no sorprende que la obtención de imágenes de la columna vertebral a través del tronco se asocie con una exposición mayor a la de las extremidades.⁹

Los pacientes con un IMC elevado también provocan una mayor exposición ocupacional debido a la dispersión de la radiación, aunque la experiencia del cirujano está relacionada con un menor uso de fluoroscopia intraoperatoria.⁴

Las dosis de radiación se informan en muchas formas (dosis equivalente en lentes, dosis en todo el cuerpo, dosis absorbida, etcétera) y unidades (rem, rad, mGy, mSv).

Los instrumentos utilizados en la medición de la radiación no se estandarizaron entre los estudios.⁴

Los trabajadores de la salud comprenden el grupo profesional más grande expuesto a radiación ionizante ocupacional en dosis bajas y tasas de dosis bajas,¹¹ la exposición de moderadas a altas dosis de radiación induce efectos genotóxicos que pueden conducir a la carcinogénesis.¹²

MANTENIMIENTO DEL EQUIPO

Es importante mencionar que la radiación en la salida aumenta a medida que envejece la unidad de fluoroscopia, la imagen y el intensificador se vuelve menos eficiente y el sistema ABC lo compensa aumentando la salida de radiación.

Sugerencias para protección del paciente

1. Planificar y utilizar opciones que no requieran rayos X cuando sea posible.
2. Posicionar al paciente lo más lejos del tubo de rayos X como sea posible.
3. Disminuir el tiempo de exposición en cuanto sea posible, las unidades de fluoroscopio no tienen un temporizador automático para terminar la expo-

sición después de que se activa y por lo tanto la presión ejercida en el pedal determina la longitud de la exposición a la radiación.

4. Utilizar la fluoroscopia pulsátil y evitar fluoroscopio continuo cuando sea posible.
5. Evitar la ampliación electrónica con el intensificador y geométrica, es decir, al acercar al paciente a la fuente de rayos X.
6. Conocer el funcionamiento del equipo, si es posible seleccionar el kVp más alto porque producirá dosis más bajas para el paciente.

Sugerencias para reducir la radiación del staff

1. Tiempo. Minimizar el tiempo de radiación. El operador necesita producir eficientemente una imagen que proporcione la información necesaria para tratar al paciente, el uso de retención de última imagen y pulsado son ventajas para reducir la cantidad de rayos X.
2. Distancia. Las dosis de radiación aumentan o disminuyen de acuerdo con el inverso del cuadrado de la distancia desde la fuente. La principal fuente de exposición a la radiación del personal de fluoroscopia es la radiación dispersa del paciente, no del tubo de rayos X, eso significa que al duplicar la distancia entre la fuente de radiación (el paciente) y el staff, disminuye 1/4 de la radiación.
3. Blindaje. Prendas de vestir de plomo, guantes de plomo, escudos tiroideos y anteojos con plomo.

MONITORIZACIÓN

Depende de la unidad de fluoroscopio, las máquinas pueden documentar dosis pico y tiempo de fluoroscopia, el operador debe ser notificado cuando el tiempo total se ha acercado a 30 minutos, luego cada 15 minutos a partir de entonces, y los dosímetros deben utilizarse para todo el personal.

Indicaciones del uso de dosímetros

1. Cuando se asigna un dosímetro éste debe asignarse de manera individual, no compartido.
2. El dosímetro debe ser usado en el cuello fuera del delantal protegido o en el collar para tiroides.
3. Los operadores con potencial de alta exposición (radiólogos intervencionistas) recibirán dos dosímetros, el primero se debe llevar en el cuello y el otro en el torso a la altura de la cintura debajo del delantal de plomo.
4. Se pueden asignar dosímetros para monitorear un periodo de hasta tres meses, pero si las exposi-

ciones alcanzan 10% de cualquiera de los límites, por lo general, deben cambiarse mensualmente.⁶

La información es la base de las guías e instrucciones para la creación de reglamentos y leyes, por lo que los hospitales y departamentos deben garantizar que el personal del quirófano esté capacitado en los principios y los efectos de la exposición a la radiación. Los cirujanos de columna y el personal de quirófano deben tener una medición de exposición a la radiación de rutina para monitorear la exposición, así como sesiones regulares de capacitación acerca de la concientización sobre la radiación.¹³

CONCLUSIONES

El objetivo de la protección radiológica es lograr un uso eficiente de los rayos X, con el cual obtener máximos beneficios y disminuir los riesgos tanto a corto como a largo plazo. La base para lograr este objetivo es conocer los principios de protección, así como el uso adecuado de los equipos, las normas y los principios vigentes. A pesar de que esta herramienta es un eslabón básico, se necesita además contar con un equipo apropiado y en adecuadas condiciones, desde el intensificador de rayos X y las barreras de plomo, hasta el equipo de protección personal que incluya, si es posible, una personalización, esto con el objetivo de ajustar las medidas a cada cuerpo, al igual que guantes de plomo y lentes. Es muy importante enfatizar que se deben tener sistemas activos de monitorización permanente con dosímetros que sean adecuados y cumplan la normatividad para garantizar el adecuado funcionamiento y protección de los equipos.

REFERENCIAS

- 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. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2021; 31: 947-955. Available in: <https://doi.org/10.1007/s00590-021-02955-9>
- Riaz O, Vanker R, Aslam-Pervez N, Balachandar V, Aqil A. Improving patient and staff safety by minimising radiation exposure during trauma surgery: A simple and validated predictive model. *The Surgeon.* 2019; 18: 95-99. Available in: <https://doi.org/10.1016/j.surge.2019.07.005>
- Bandela JR, Jacob RP, Arreola M, Griglock TM, Bova F, Yang M. Use of CT-based intraoperative spinal navigation: management of radiation exposure to operator, staff, and patients. *World Neurosurgery.* 2013; 79: 390-394. Available in: <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2011.05.019>
- Shah A, Nassri M, Kay J, Simunovic N, Mascarenhas VV, Andrade AJ, et al. Intraoperative radiation exposure in hip arthroscopy: a systematic review. *HIP Int.* 2019; 30: 267-275. Available in: <https://doi.org/10.1177/1120700019887362>
- Cheriachan D, Hughes AM, du Moulin WSM, Williams C, Molnar R. Ionizing radiation doses detected at the eye level of the primary surgeon during orthopaedic procedures. *Journal of Orthopaedic Trauma.* 2016; 30: e230. Available in: <https://doi.org/10.1097/BOT.00000000000000578>
- Mitchell EL, Furey P. Prevention of radiation injury from medical imaging. *J Vasc Surg.* 2011; 53:22S-27S. Available in: <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2010.05.139>
- Chou LB, Lerner LB, Harris AHS, Brandon AJ, Girod S, Butler LM. Cancer prevalence among a cross-sectional survey of female orthopedic, urology, and plastic surgeons in the United States. *Women's Health Issues.* 2015; 25: 476-481. Available in: <https://doi.org/10.1016/j.whi.2015.05.005>
- Dorado DPJ. Protección radiológica [Internet]. 2012. Disponible en: <https://www.csn.es/documents/10182/914805/Protecci%C3%B3n%20radiol%C3%B3gica>
- Oddy M, Aldam C. Ionising radiation exposure to orthopaedic trainees: the effect of sub-specialty training. *Ann R Coll Surg Engl.* 2006; 88: 297-301. Available in: <https://doi.org/10.1308/003588406x98702>
- Baudin C, Bernier M-O, Klokov D, Andreassi MG. Biomarkers of genotoxicity in medical workers exposed to low-dose ionizing radiation: systematic review and meta-analyses. *Int J Mol Sci.* 2021; 22: 7504. Available in: <https://doi.org/10.3390/ijms22147504>
- 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.* 2017; 48: 1727-1734. Available in: <https://doi.org/10.1016/j.injury.2017.04.041>
- Pires RE, Reis IGN, de Faria ÁRV, Giordano V, Labronici PJ, Belangero WD. The hidden risk of ionizing radiation in the operating room: a survey among 258 orthopaedic surgeons in Brazil. *Patient Saf Surg.* 2020; 14: 16. Available in: <https://doi.org/10.1186/s13037-020-00238-6>
- Gowda SR, Mitchell CJ, Abouel-Enin S, Lewis C. Radiation risk amongst orthopaedic surgeons – Do we know the risk? *J Perioper Pract.* 2018; 29: 115-121. Available in: <https://doi.org/10.1177/1750458918785268>
- Frane N, Bitterman A. Radiation safety and protection. [Internet] Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022. Available in: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK557499/>

Conflicto de intereses: ninguno.