

Alan Antonio Covarrubias-Rodríguez^{1a}, Cosette Durán-Castillo^{2b}, Manuel Ivan León-Madrid^{3c}, Janet Alejandra Elías-Ángel^{3d}, Martha Alicia Hernández-Gonzalez^{4e}, Rafael Ángel Bonilla-Salcedo^{5f}, Modesto Antonio Sosa-Aquino^{3g}, Miguel Ángel Vallejo-Hernández^{3h}

Resumen

Introducción: la implementación de nuevas técnicas y tecnologías médicas ha producido un incremento en la exposición ocupacional a radiación ionizante y, consecuentemente, en el desarrollo de neoplasias y efectos adversos en la salud del personal sanitario.

Objetivo: obtener información real sobre la dosis absorbida por el personal sanitario expuesto a radiación ionizante en el quirófano.

Material y métodos: se utilizaron dosímetros TLD 100, para realizar las mediciones de las dosis absorbidas, esto por medio de curvas de brillo. Se monitorearon 42 intervenciones quirúrgicas en diferentes especialidades, en cada intervención se utilizaron mínimo cuatro dosímetros, con el objetivo de analizar la dosis en función del rol de participación del individuo dentro del quirófano.

Resultados: se creó una base de datos con las 42 cirugías monitoreadas, por cada una se obtuvieron mínimo cuatro datos analizados (uno por cada integrante del equipo quirúrgico, es decir, uno por cada portador de dosímetro). La mayor dosis absorbida fue para la especialidad de Traumatología, seguida de Otorrinolaringología, Neurocirugía y, finalmente, Oftalmología.

Conclusiones: se logró emplear un sistema de monitoreo adecuado para medir la dosis de radiación ionizante absorbida durante diferentes procedimientos quirúrgicos. Con base en los resultados, se recomienda un seguimiento constante en el monitoreo de la dosimetría del personal de la especialidad de Traumatología.

Abstract

Background: The implementation of new medical techniques and technologies has increased occupational exposure to ionizing radiation and consequently the development of neoplasia and adverse effects on health personnel.

Objective: Have real information on the absorbed dose by healthcare personnel exposed to ionizing radiation in an operating room.

Material and methods: TLD 100 dosimeters were used to measure absorbed doses by brightness curves. 42 surgical interventions in different specialties were monitored, in each intervention a minimum of 4 dosimeters were used, with the objective of analyzing the dose based on the participation role of the individual within the operating room.

Results: A database was created with the 42 monitored surgeries, for each one a minimum of 4 analyzed data were obtained (one for each participant in the surgical procedure, that is, one for each dosimeter). The highest absorbed dose was for the specialty of traumatology, followed by otorhinolaryngology, neurosurgery and finally ophthalmology.

Conclusions: It was possible to use an adequate monitoring system to measure the dose of absorbed ionizing radiation during different surgical procedures. Based on the results, constant dosimetry follow-up monitoring of trauma specialty personnel is recommended.

¹Instituto Mexicano del Seguro Social, Centro Médico Nacional del Bajío, Hospital de Especialidades No. 1, Servicio de Ortopedia y Traumatología. León, Guanajuato, México

²Universidad de Guanajuato, División de Ciencias de la Salud, Campus León, Departamento de Medicina y Nutrición. León, Guanajuato, México

³Universidad de Guanajuato, División de Ciencias e Ingenierías, Campus León, Departamento de Ingeniería Física. León, Guanajuato, México

De la adscripción 4 en adelante continúan al final del artículo ▲

ORCID: 0009-0004-2312-1806^a, 0009-0002-3268-0496^b, 0000-0003-0306-1821^c, 0000-0002-6903-2233^d, 0000-0002-1234-2556^e, 0000-0001-9785-4704^f, 0000-0001-6026-9317^g

Palabras clave

Radiación Ionizante
Dosímetros de Radiación
Traumatología
Quirófanos

Keywords

Radiation, Ionizing
Radiation Dosimeters
Traumatology
Operating Rooms

Fecha de recibido: 13/10//2023

Fecha de aceptado: 22/02/2024

Comunicación con:

Miguel Ángel Vallejo Hernández
✉ miguel.vallejo@ugto.mx
☎ 477 778 5100, extensión 8441

Cómo citar este artículo: Covarrubias-Rodríguez AA, Durán-Castillo C, León-Madrid MI *et al.* Detección de radiación ionizante en quirófano y áreas hospitalarias. Rev Med Inst Mex Seguro Soc. 2024;62(4):e5699. doi: 10.5281/zenodo.11396957

Introducción

La implementación de nuevos procedimientos quirúrgicos y tecnologías médicas representa una fuente de exposición ocupacional a radiación ionizante¹ y, consecuentemente, predispone el desarrollo de neoplasias^{2,3} por medio de daño celular mediante la inducción de lesiones en el ADN⁴ y produciendo efectos adversos en la salud del personal sanitario.^{5,6} A pesar del uso de equipo de protección personal algunas regiones corporales permanecen expuestas.^{7,8}

Además del departamento de Radiología, en otras especialidades se hace uso transoperatorio de fuentes emisoras,^{9,10} entre ellas: Traumatología, Ortopedia,^{11,12} neurocirugía y urología.^{13,14} Actualmente, la fluoroscopia es uno de los principales auxiliares diagnóstico-terapéuticos utilizados dentro de los quirófanos.¹⁵ Se ha observado que la dosis de radiación a la que está expuesto el personal dentro de la sala de operaciones está relacionada, entre otros factores, con el rol desempeñado durante una cirugía; esto depende de la posición y distancia del personal durante el uso de la fuente emisora,^{16,17,18,19} con el tiempo empleado en la misma, así como la experiencia del cirujano que lleva a cabo el procedimiento.^{20,21}

La Comisión Internacional de Protección Radiológica, la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardas y la Secretaría de Salud, entre otros organismos, reconocen a los médicos, enfermeras, técnicos y cualquier persona que trabaje con radiación ionizante como *personal ocupacional expuesto* (POE),^{22,23} dichos POE deben de contar con equipo de protección personal como chalecos, guantes, protector de gónadas y tiroides plomados, con el fin de disminuir la exposición y limitar la exposición pues la NOM 229 SSA-1 2002 establece que: “*el límite del equivalente de dosis efectiva anual para los efectos estocásticos es de 50 mSv (5 rem). Para los efectos deterministas es de 500 mSv*”.

Para cuantificar la cantidad de radiación que ha recibido el POE se emplean técnicas como la dosimetría termoluminiscente (TLD por sus siglas en inglés). La termoluminiscencia es un fenómeno que consiste en la emisión de luz de un material cuando es estimulado con temperatura,²⁴ la luz emitida es representada por una curva de brillo, la cual es cuantificada mediante métodos experimentales, como el método de Chen, que está basado en las propiedades de simetría de la curva de brillo.²⁵ Estos estudios proporcionan la cantidad de radiación a la que el material fue expuesto.²⁶

Ante los esfuerzos de la comunidad médica internacional, es de suma importancia que México se sume a la cuantificación de dosis de radiación ionizante en especialidades médicas quirúrgicas.

En este trabajo se midió la dosis absorbida promedio en intervenciones quirúrgicas de distintas especialidades, así como las diferencias de dosis dependiendo las ocupaciones de los POE dentro del quirófano (cirujanos, enfermeras y ayudantes).

Material y métodos

Un lote previamente calibrado de dosímetros termoluminiscentes TLD 100 (LiF:MgTi) fue colocado en varios portadosímetros de caja. Cada uno de los portadosímetros fue entregado al personal de la salud (médicos cirujanos, ayudantes, enfermeros) participante en los diversos procedimientos quirúrgicos en los que se emplearon instrumentos generadores de radiación electromagnética, tales como: microscopio, fluoroscopio, artroscopio y rayos X portátiles. Una vez terminada la cirugía, los dosímetros fueron almacenados en una caja negra aislada electrónicamente para determinar la dosis absorbida.

Los dosímetros que fueron llevados por el personal de salud durante los procedimientos quirúrgicos se colocaron en el equipo Harshaw 3500 bajo el protocolo estándar de lectura para dosímetros TLD 100 (precalentado a 50° por 10 segundos, tasa de calentamiento de 10°/s y temperatura final de 300°).^{27,28} Una vez obtenida la carga liberada y las curvas de brillo se calculó la dosis absorbida por cada miembro del *staff* participante en los correspondientes procedimientos quirúrgicos para su posterior análisis.

Se creó una base de datos con las 42 cirugías monitoreadas en donde se registró: el tipo de procedimiento, la especialidad del procedimiento, el dispositivo generación de radiación, el rol de los participantes en cada procedimiento, su sexo y la dosis absorbida. Para el propósito de este estudio únicamente se analizó la dosis absorbida en función de la especialidad de procedimiento y el rol del participante. Es importante mencionar que por cada cirugía monitoreada se obtuvieron, cuando menos, cuatro datos analizados (uno por cada participante del procedimiento quirúrgico).

La base de datos se procesó mediante los softwares Excel y SPSS, y se realizaron las pruebas de medidas de tendencia central (MTC), medidas de dispersión (MDD) y ANOVA, así como el análisis para determinar diferencias entre roles (cirujano, enfermeras, ayudantes) y las diferentes especialidades (Neurocirugía, Oftalmología, Otorrinolaringología, Traumatología-Ortopedia) con el fin de determinar si entre especialidades hay diferencias significativas.

El número de aprobación concedido por el Comité es el R-2022-1001-147, atendiendo a lo establecido los lineamientos del protocolo para la elaboración del proyecto de

investigación del Instituto Mexicano del Seguro Social. No se incluyó carta de consentimiento informado, ya que se trató de una investigación sin riesgo para los participantes.

Resultados

Para tener información real de la dosis absorbida por el personal sanitario expuesto a radiación ionizante en el quirófano fueron monitoreadas 42 cirugías. En el cuadro I se muestra el número de cirugías monitoreadas por especialidad, así como el número de datos analizados para cumplir el objetivo de este estudio.

En el cuadro II se muestra el número de datos analizados por rol de participación.

En el cuadro III se muestra la dosis absorbida promedio por cada participante de la cirugía de acuerdo con la especialidad, y se puede observar claramente que existen diferencias significativas, pues especialidades como Neurocirugía y Traumatología presentan mayores dosis absorbidas promedio respecto a especialidades como Oftalmología, ya que en esta especialidad no se suelen usar aparatos generadores de radiación ionizante, como el microscopio, y la lectura obtenida puede deberse a factores como el error propio de la medición del equipo o a la misma radiación ambiental captada por el dosímetro. La tendencia descrita anteriormente se repite tanto para cirujanos como para el resto del personal, siendo la especialidad de Traumatología la que mayor expone a su personal durante los procedimientos quirúrgicos, pues, en promedio, el cirujano recibe una dosis por procedimiento de alrededor de 2.66 mGy, mientras que la enfermera y ayudantes reciben 2.51 y 3.7 mGy, respectivamente. Subsecuentemente, le siguen las especialidades de Otorrinolaringología y Neurocirugía. Cabe mencionar que en procesos de estas dos últimas especialidades el uso de equipos generadores de radiación ionizante es menos frecuente, en comparación con la especialidad de Traumatología.

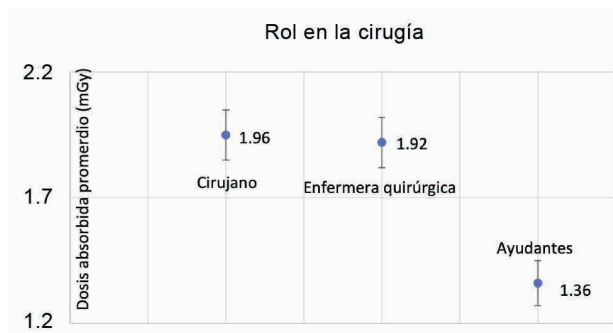
En la figura 1 se muestra la dosis absorbida promedio por rol de participación durante la intervención en un diagrama de caja y bigote.

En el cuadro IV se muestra la dosis absorbida promedio por especialidad.

Discusión

En el cuadro I, que muestra la distribución por cirugía de los datos recaudados, se puede observar que, de las 42 cirugías de diversas especialidades, la más monitoreada fue Traumatología, mientras que especialidades como Oto-

Figura 1 Diagrama de la dosis absorbida promedio de acuerdo con el rol desempeñado en la cirugía



Cuadro I Resumen del diseño experimental por especialidad

Especialidad	Cirugías	Datos analizados por especialidad
Neurocirugía	4	24
Oftalmología	10	6
Otorrinolaringología	4	0
Traumatología	24	28
Totales	42	28

Cuadro II Resumen del diseño experimental por rol dentro de la intervención

Rol	Datos analizados por rol de participación
Cirujano	86
Enfermera	62
Ayudante	80
Total	228

Cuadro III Resumen de la dosis absorbida promedio de acuerdo con la especialidad, rol desempeño en la cirugía y el valor de *p*

Especialidad	Dosis absorbida promedio en cirujanos (mGy)	Dosis absorbida promedio en enfermeras (mGy)	Dosis absorbida promedio en ayudantes (mGy)	Valor de <i>p</i>
Neurocirugía	2.1 ± 0.6	1.7 ± 0.5	1.1 ± 0.9	0.25
Oftalmología	0.7 ± 0.1	0.8 ± 0.1	0.3 ± 0.1	0.16
Otorrinolaringología	2.3 ± 0.3	2.7 ± 0.4	0.4 ± 0.3	0.01
Traumatología	2.7 ± 0.6	2.5 ± 0.4	3.7 ± 0.6	0.07

Cuadro IV Resumen de la dosis absorbida promedio por especialidad y el valor de *p*

Especialidad	Dosis absorbida promedio (mGy)	Dosis absorbida desviación estándar (mGy)	Valor de <i>p</i>
Neurocirugía	1.7	1.2	0.01
Oftalmología	0.5	0.5	
Otorrinolaringología	1.2	1.3	
Traumatología	3.1	2.6	

rinolaringología y Neurocirugía cuentan con una menor proporción de muestreo, esto debido a la proporción de cirugías realizadas por cada especialidad; es decir, por cada 10 cirugías de Traumatología se realiza una de Neurocirugía y otra de Otorrinolaringología.

A pesar de las dificultades del muestreo, dada la proporción de las cirugías ya mencionada, el cuadro II revela que existe una proporción casi equitativa entre los datos analizados correspondientes a los roles que desempeñan durante el procedimiento quirúrgico.

En el cuadro III se puede apreciar que el personal de la especialidad de Oftalmología fue el que recibió menos dosis de radiación dentro de este estudio, cabe mencionar que el valor reportado para todo el personal quirúrgico de Oftalmología se puede considerar dentro del orden de error reportado por el equipo de termoluminiscencia, debido a la misma radiación ambiental y a otros factores externos.²⁵

En especialidades como Neurocirugía y Otorrinolaringología, se tiene la particularidad de que no siempre se emplean los equipos generadores de radiación ionizante, como el arco en C, por lo que, en caso de que en el procedimiento se pueda optar por usar el microscopio de exploración en lugar del arco en C, se deberá de optar por la opción más eficiente. Ejemplo de esto es la craneotomía y la resección tumoral, que es un procedimiento quirúrgico que no requiere del uso de equipos generadores de radiación; mientras que procedimientos como la colocación del sistema de estimulación espinal requiere el uso de equipos generadores de radiación ionizante, como el fluoroscopio.

Para el caso particular de las cirugías propias de la especialidad de Traumatología, puede ser que la dosis cercana a los 3 mGy sea considerado un valor despreciable, sin embargo, se debe tomar en cuenta que esa es la dosis absorbida por procedimiento; es decir, que en cada operación el personal quirúrgico está recibiendo una dosis proveniente de la fuente generadora de radiación de 3 mGy. Asumiendo que un traumatólogo opera aproximadamente dos o tres veces por semana durante 9 de los 12 meses que corresponden al año natural, es posible inferir que en medio año el traumatólogo estaría rebasando los límites permitidos por las normas mexicanas, por lo que se sugeri-

ría emplear un rol de rotación a fin de promover la seguridad radiológica del personal y evitar problemas en la salud a mediano y corto plazo.^{22,23}

Tomando en cuenta lo anterior, y dentro de las acciones correspondientes a la filosofía mundial que nos dice que la exposición a la radiación debe de ser tan baja como sea razonablemente posible, se debe revisar la calidad del equipo de protección radiológica, es decir, que los chalecos plomados, los guantes y protectores no presenten ningún tipo de fisura, pues las fisuras son puntos de fuga de la radiación en el blindaje que pueden afectar al usuario. Asimismo, es necesario verificar que todos los miembros participantes de la cirugía cuenten con los cursos de capacitación de POE vigente, con el propósito de que estén actualizados en la normativa y conozcan las buenas prácticas, a fin de reducir el riesgo en el trabajo.²³ De igual manera, se recomienda realizar las pruebas de aseguramiento de calidad de los equipos generadores de radiación ionizante, las cuales se deben realizar antes de que el procedimiento empiece, ya que estas pruebas revelan si el equipo está en óptimas condiciones para el procedimiento, pues si el equipo no se encuentra en buen estado la calidad de la imagen se verá afectada, por lo que será necesario aumentar el kilovoltaje (kV) o el miliamperaje (mA) del equipo, generando así una mayor exposición tanto para el paciente como para el personal participante en la cirugía. En caso de que los equipos generadores se consideren obsoletos, se recomienda empezar con el proceso de sustitución, a fin de asegurar las buenas prácticas radiológicas tanto para el trabajador como para los pacientes. Por otra parte, es recomendable que las instituciones como el Instituto Mexicano del Seguro Social siga realizando investigaciones en conjunto con universidades y centros de investigación, con el objetivo de analizar nuevos procedimientos de análisis de datos de dosis absorbidas por parte de todos los sujetos que estén en contacto con una fuente o equipo que produzca radiación ionizante.

Conclusiones

Se logró emplear un sistema de monitoreo adecuado para medir la dosis de radiación ionizante absorbida durante diferentes procedimientos quirúrgicos, tanto para los distin-

tos roles de participación internos, como en promedio para la especialidad del procedimiento quirúrgico que se realizó. Los resultados muestran que, en promedio, la especialidad con mayor dosis absorbida individual y en equipo fue Traumatología, seguida de Otorrinolaringología, Neurocirugía y, finalmente, Oftalmología. Por lo que se recomienda un seguimiento constante en el monitoreo de la dosimetría del personal de Traumatología, ya que los resultados llevan a pensar que, por el tipo de equipo necesario para desempeñar sus procedimientos, están expuestos a una mayor cantidad de dosis de radiación ionizante, por lo que el uso correcto de equipo de seguridad radiológica, así como un rol de rotación del personal pudiesen ser acciones que ayuden a preservar su salud e integridad a mediano y largo plazo. También es necesario considerar que, del personal que es partícipe en el quirófano, el cirujano es el elemento que más dosis absorbe seguido, inmediatamente, por la enfermera quirúrgica, con una diferencia de 0.03 mGy, por lo que es necesario que ambos puestos sean monitoreados

más eficazmente por parte de la institución, con el objetivo de salvaguardar su integridad a largo plazo.

Agradecimientos

El equipo de investigación agradece el apoyo del equipo de enfermería, médicos de pregrado, médicos residentes, y especialistas quirúrgicos del área de Neurocirugía, Oftalmología, Otorrinolaringología, Traumatología y Ortopedia de la Unidad Médica de Alta Especialidad No.1, por el apoyo brindado durante la medición de radiación dentro de los quirófanos de la unidad.

Declaración de conflicto de interés: los autores han completado y enviado la forma traducida al español de la declaración de conflictos potenciales de interés del Comité Internacional de Editores de Revistas Médicas, y no fue reportado alguno que tuviera relación con este artículo.

Referencias

1. Baudin C, Vacquier B, Thin G, et al. Occupational exposure to ionizing radiation in medical staff: trends during the 2009-2019 period in a multicentric study. *Eur Radiol.* 2023 Aug;33(8):5675-5684. doi: 10.1007/s00330-023-09541-z.
2. Chartier H, Fassier P, Leuraud K, et al. Occupational low-dose irradiation and cancer risk among medical radiation workers. *Occup Med (Lond).* 2020 Oct 27;70(7):476-484. doi: 10.1093/occmed/kqaa130.
3. Adliene D, Grieciene B, Skovorodko K, et al. Occupational radiation exposure of health professionals and cancer risk assessment for Lithuanian nuclear medicine workers. *Environ Res.* 2020;183:109144. doi: 10.1016/j.envres.2020.109144.
4. Mavragani IV, Nikitaki Z, Kalospyros SA, et al. Ionizing Radiation and Complex DNA Damage: From Prediction to Detection Challenges and Biological Significance. *Cancers (Basel).* 2019;11(11):1789. doi: 10.3390/cancers11111789.
5. Ahmad IM, Abdalla MY, Moore TA, et al. Healthcare Workers Occupationally Exposed to Ionizing Radiation Exhibit Altered Levels of Inflammatory Cytokines and Redox Parameters. *Antioxidants (Basel).* 2019;8(1):12. doi: 10.3390/antiox8010012.
6. Bolbol SA, Zaitoun MF, Abou El-Magd SA, et al. Healthcare Workers Exposure to Ionizing Radiation: Oxidative Stress and Antioxidant Response. *Indian J Occup Environ Med.* 2021;25(2):72-77. doi: 10.4103/ijoem.IJOEM_198_20.
7. Hurley RJ, McCabe FJ, Turley L, et al. Whole-body radiation exposure in Trauma and Orthopaedic surgery. *Bone Jt Open.* 2022;3(11):907-912. doi: 10.1302/2633-1462.311.BJO-2022-0062.R1.
8. König AM, Etzel R, Thomas RP, et al. Personal Radiation Protection and Corresponding Dosimetry in Interventional Radiology: An Overview and Future Developments. *Rofo.* 2019;191(6):512-521. doi: 10.1055/a-0800-0113.
9. Sierra LAM, Katsnelson JY, Pineda DM, et al. Occupational Radiation Exposure Among General Surgery Residents: Should We Be Concerned? *J Surg Educ.* 2022;79(2):463-468. doi: 10.1016/j.jsurg.2021.10.016.
10. Hadid-Beurrier L, Dabli D, Royer B, et al. Diagnostic reference levels during fluoroscopically guided interventions using mobile C-arms in operating rooms: A national multicentric survey. *Phys Med.* 2021;86:91-97. doi: 10.1016/j.ejmp.2021.05.013.
11. Bratschitsch G, Leitner L, Stücklschweiger G, et al. Radiation Exposure of Patient and Operating Room Personnel by Fluoroscopy and Navigation during Spinal Surgery. *Sci Rep.* 2019; 9(1). doi: 10.1038/s41598-019-53472-z.
12. Ramoutar DN, Thakur Y, Batta V, et al. Orthopedic Surgeon Brain Radiation During Fluoroscopy: A Cadaver Model. *J Bone Joint Surg Am.* 2020;102(22):e125. doi: 10.2106/JBJS.19.01053.
13. Hein S, Wilhelm K, Miernik A, et al. Radiation exposure during retrograde intrarenal surgery (RIRS): a prospective multicenter evaluation. *World J Urol.* 2021;39(1):217-224. doi: 10.1007/s00345-020-03160-9.
14. Henderickx MMEL, Baard J, Beerlage HP, et al. Fluoroscopy-use during ureterorenoscopy: are urologists concerned about radiation exposure? A nationwide survey in Belgium and The Netherlands. *Acta Chir Belg.* 2021;121(3):170-177. doi: 10.1080/00015458.2019.
15. U.S. Food and Drug Administration. Fluoroscopy. 2020; [Actualizado 21 Feb 2023; citado 26 Sept 2023] Disponible en: <https://www.fda.gov/radiation-emitting-products/medical-x-ray-imaging/fluoroscopy>
16. Godzik J, Mastorakos GM, Nayar G, et al. Surgeon and staff radiation exposure in minimally invasive spinal surgery: prospective series using a personal dosimeter. *J Neurosurg Spine.* 2020;1-7. doi: 10.3171/2019.11.
17. Chida K. What are useful methods to reduce occupational radiation exposure among radiological medical workers, especially for interventional radiology personnel? *Radiol Phys Technol.* 2022;15(2):101-115. doi: 10.1007/s12194-022-00660-8.
18. Keenen TL, Demirel S, Gheen A, et al. Intraoperative Fluoroscopy Radiation Using OEC 9900 Elite C-arm: Risk and Method for Decreasing Exposure. *Health Phys.* 2023;124(5): 380-390. doi: 10.1097/HP.0000000000001679.

19. Robotjazi M, Dareyni A, Baghani HR, et al. Investigation of radiation dose around C-arm fluoroscopy and relevant cancer risk to operating room staff. *Radiat Environ Biophys*. 2022;61(2):301-307. doi: 10.1007/s00411-022-00965-7.
20. Weyland CS, Hemmerich F, Möhlenbruch MA, et al. Radiation exposure and fluoroscopy time in mechanical thrombectomy of anterior circulation ischemic stroke depending on the interventionalist's experience—a retrospective single center experience. *Eur Radiol*. 2020;30(3):1564-1570. doi: 10.1007/s00330-019-06482-4.
21. Malik AT, Rai HH, Lakdawala RH, et al. Does surgeon experience influence the amount of radiation exposure during orthopedic procedures? A systematic review. *Orthop Rev (Pavia)*. 2019;11(1):7667. doi: 10.4081/or.2019.7667.
22. Aubert B, Biau A., Derreumaux S, et al. ICRP Publication 105. *Radiological Protection in Medicine*. Elsevier Ltd.; Oxford, UK: 2011.
23. NORMA Oficial Mexicana NOM-229-SSA1-2002, Salud ambiental. Requisitos técnicos para las instalaciones, responsabilidades sanitarias, especificaciones técnicas para los equipos y protección radiológica en establecimientos de diagnóstico médico con rayos X. *Diario Oficial de la Federación*; 2006.
24. Bos AJJ. Theory of thermoluminescence. *Radiat Meas*. 2006; 41: S45-56. doi: 10.1016/j.radmeas.2007.01.003.
25. Furetta C, Weng PS. *Operational Thermoluminescence Dosimetry*. World Scientific, editor; 1998.
26. Thiagarajan S, Vallejo MA, Kumar S, et al. Thermoluminescence from Cu Doped Lithium Tetraborate Irradiated with X-ray and γ Using ^{137}Cs Radioactive Source. *J Nanosci Nanotechnol*. 2018 Oct 1;18(10):6919-6927. doi: 10.1166/jnn.2018.15532. PMID: 29954511.
27. Loaiza SP., & Álvarez Romero, J. T. Calibración de polvo TLD-100 para energías de ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{192}Ir y RX de 250, 50 k Vp en dosis absorbida en agua con fines de control de calidad dosimétrico para braquiterapia de alta tasa de dosis. *Rev Mex Fis* 2006 52(5), 413-421
28. Muñoz AA, Sosa MA, Azorín JC, et. al. Determinación de dosis absorbida en cristalino y glándula tiroides con protocolos de irradiación aplicados en equipos de ortopantomografía para panorámica dental [Internet]. 2017 [citado 2023 Sep 26]. Disponible en <https://repositorio.itm.edu.co/handle/20.500.12622/519>

▲*Continuación de adscripciones de los autores*

⁴Instituto Mexicano del Seguro Social, Centro Médico Nacional del Bajío, Hospital de Especialidades No. 1, Jefatura de Investigación en Salud. León, Guanajuato, México

⁵Instituto Mexicano del Seguro Social, Centro Médico Nacional del Bajío, Hospital de Especialidades No. 1, Jefatura de División Musculoesquelética. León, Guanajuato, México