



Revista Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología

www.elsevier.es/rot



ORIGINAL

Radioprotección en quirófanos de traumatología: ¿en qué situación estamos?



M. Torres-Torres^{a,*}, J. Mingo-Robinet^a, M. Moreno Barrero^b, J.Á. Rivas Laso^a,
I. Burón Álvarez^a y M. González Salvador^a

^a Servicio de Cirugía Ortopédica y Traumatología, Unidad de Traumatología, Complejo Asistencial Palencia, Palencia, España

^b Servicio de Radiodiagnóstico, Complejo Asistencial Palencia, Palencia, España

Recibido el 11 de febrero de 2014; aceptado el 28 de marzo de 2014

Disponible en Internet el 9 de julio de 2014

PALABRAS CLAVE

Exposición a radiación;
Fluoroscopia;
Cirugía ortopédica;
Radioprotección

Resumen

Objetivo: Analizar la exposición a radiaciones ionizantes por parte de dos cirujanos ortopédicos en su práctica diaria y revisar las principales recomendaciones nacionales e internacionales al respecto.

Material y método: Se efectuó un estudio retrospectivo de la actividad quirúrgica con uso de fluoroscopia realizado por dos cirujanos ortopédicos en un año. Se calculó la radiación recibida basándose en mediciones por procesos publicados en la bibliografía. Revisión bibliográfica de recomendaciones y normativas internacionales.

Resultado: La radiación recibida en un año por los dos cirujanos ortopédicos no sobrepasó el límite de la legislación actual ni el de las nuevas recomendaciones europeas e internacionales. La exposición fue asimétrica, siendo las manos la zona más radiada. Las nuevas recomendaciones rebajan los niveles permitidos de radiación en ojos.

Discusión: La estimación de radiación recibida hace necesario proteger y vigilar especialmente las manos y los ojos. Son necesarios conocimientos del funcionamiento del fluoroscopio y de las medidas de radioprotección.

© 2014 SECOT. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

KEYWORDS

Radiation exposure;
Fluoroscopy;
Orthopaedic surgery;
Radiation safety

Radiation safety in orthopaedic operating theatres. what is the current situation?

Abstract

Objective: To analyse the exposure of two Orthopaedic Surgeons to ionizing radiations in their daily work, and to review the main national and international recommendations on this subject.

Material and methods: A retrospective study was conducted on the surgical treatments that use fluoroscopy performed by two Orthopaedic Surgeons during a one year period. An evaluation was made of the radiation received, based on measurements of the processes published in the

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: mtorres.cot@hotmail.com (M. Torres-Torres).

bibliography section. A literature review of international recommendations and regulations is also presented.

Results: The radiation received by the two Orthopaedic Surgeons during one year did not exceed the limits of present-day legislation or the new European and international recommendations. The exposure was asymmetrical, with the hands being the most radiated part. The new recommendations reduce the permitted level of radiation on eyes.

Discussion: The evaluation of the radiation received demonstrates the need for radiation protection, paying particular attention to the hands and eyes. Good knowledge of operating a fluoroscope and radiation safety measures are also essential.

© 2014 SECOT. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Introducción

Se ha comprobado que la exposición a radiación X tiene efectos perniciosos para el traumatólogo ortopédico, aumentando la incidencia de afecciones tumorales¹ de distinta extirpe, y no tumorales principalmente en manos² y ojos³.

Durante la última década el uso de fluoroscopia ha aumentado de forma exponencial en los quirófanos, siendo este aumento muy notable en nuestra especialidad con el auge de los procedimientos traumatológicos mínimamente invasivos. Sin embargo, pensamos que el nivel de conocimiento acerca del funcionamiento de los fluoroscopios, las medidas de radioprotección, y la disponibilidad de dosímetros y blindaje adecuado, presentan carencias importantes en nuestra profesión. Además consideramos que existe una infravaloración de la radiación que emiten los nuevos arcos y miniarcos de fluoroscopia, asumiendo que por ser modernos y digitales la radiación que emiten es mucho menor, no siendo esto cierto.

El objetivo de este trabajo era alertar sobre las consecuencias nocivas de la radiación derivada del uso del fluoroscopio en quirófano, exponer prácticas habituales poco seguras y recalcar la necesidad de disponer de medidas de radioprotección adecuadas y fomentar su uso.

Material y métodos

Realizamos un estudio retrospectivo de las cirugías realizadas con ayuda de fluoroscopia por los dos primeros autores, recogiendo el número de cirugías totales, el tipo de cirugías, las realizadas como primer cirujano y las realizadas como segundo. En todos los casos se utilizó un fluoroscopio estándar (Philips Lybra, Andover, Massachusetts). Comercialmente existe el fluoroscopio de arco estándar y el de arco reducido (mini arco). Ambos constan de un emisor de rayos X y de un intensificador de imágenes conectados por un arco móvil. El fluoroscopio estándar deja un espacio libre entre el tubo de Rx y el intensificador de imágenes de aproximadamente 80 cm., mientras que en el mini arco es de alrededor de 30 cm. El tubo de Rx del arco estándar puede desarrollar mayores potenciales eléctricos, kilovoltios (kV), y más intensidad eléctrica, miliamperio (mA). Esto le permite realizar imágenes en toda la anatomía. Sin embargo, usados ambos

para pequeñas articulaciones en modo automático trabajan con similares cifras de Kv y mA. La disminución de radiación dispersa del mini arco en C frente al arco estándar se debe principalmente a la mayor proximidad entre el tubo de Rx y el intensificador de imágenes.

Para la medición de la dosis de radiación se utilizan los conceptos de dosis efectiva y dosis equivalente. La dosis efectiva es un indicador cuantitativo de la probabilidad de que pueda ocurrir un efecto estocástico, generalmente cáncer, y corresponde a la suma de las dosis equivalentes ponderadas en todos los tejidos y órganos del cuerpo. A su vez la dosis equivalente es una magnitud física de radiación absorbida por el cuerpo modificada según el efecto biológico del tipo de radiación. La unidad de medida utilizada es el miliSievert (mSv).

Basándonos en las estimaciones de radiación por proceso realizada por Tsalafoutas et al.⁴ se calcularon las dosis equivalentes recibidas por los dos autores. La estimación de este artículo es similar a las obtenidas por diferentes autores con pruebas con cadáveres o usando diversos dosímetros en cirugías convencionales con arcos estándar o miniarcos⁵⁻⁹ [tabla 1](#). En nuestro estudio dividimos las cirugías realizadas en varios apartados, según técnica y localización anatómica, aunque otorgamos la dosis promedio calculada por Tsalafoutas para cualquiera de ellos.

Se realizó una revisión de las principales recomendaciones emitidas por organismos nacionales e internacionales, entre las que destacan:

- IAEA (International Atomic Energy Agency)¹⁰ organismo que pertenece a las organizaciones internacionales conexas al sistema de las Naciones Unidas. Entre otros cometidos, formula normas básicas de seguridad para la protección contra radiaciones, y publica reglamentos y códigos de prácticas.
- ICRP (International Commission on Radiological Protection), una asociación científica sin ánimo de lucro e independiente dedicada a fomentar el progreso de la ciencia de la protección radiológica para beneficio público. Para ello edita periódicamente documentos científicos en forma de recomendaciones o guías en todos los aspectos de la protección radiológica^{11,12}.
- Consejo de la Unión Europea¹³.
- Normativa actual española sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes¹⁴.

Tabla 1 Medición de radiación por diferentes autores

Cirugía	Manos	Ojos	Pecho	Tiroides	Autores
Fractura pertrocanterea, fractura tobillo. Enclavado femoral	0,35 mSv	0,041 mSv	0,078 mSv	0,046 mSv	Tsalafoutas (2008) ⁴
Agujas percutáneas mano/muñeca	0,80 (cirujano) 0,87 (ayudante)			0,67 cir. 0,69 ayd.	Bahari. ⁶
Enclavado femoral/tibial	1,27 mSv (cirujano) 1,19 mSv (ayudante)	-	-	Extrapolación	Muller 1998 ⁷
Mano-muñeca	0,20 mSv				Singer 2005 ⁸ mini c
Cirugía de mano muñeca	0,01-0,32 mSv				Giordano, ⁹ (mini c-Arm)

Tabla 2 Cirugías con fluoroscopia realizadas por los dos autores en un año

Cirugías con fluoroscopia	J.M (192)	M.T (179)
Mano-muñeca	26	36
Clavo/Tornillos canulados cadera	76	55
Clavo fémur tibia húmero	23	17
Cirugías Percutáneas Placa (tibia, fémur húmero)	10	6
Clavos/Placas percutáneas hombro	16	27
FX pie tobillo	21	19
Otros	20	19

Resultados

Los autores realizaron M.T. y J.M. 179 y 192 cirugías no urgentes con fluoroscopia estándar en el periodo comprendido entre abril de 2012 y marzo de 2013, ambos inclusive. La mayor parte correspondieron a fracturas pertrocanterea, subtrocanterea o subcapitales de cadera tratadas con tornillos canulados, que son las cirugías que mayores dosis de radiación dispersa producen. En el apartado «otros» se incluyen las fracturas de antebrazo y codo infantiles, fracturas supracondíleas de húmero y antebrazo de adulto, etc. [tabla 2](#).

La estimación de la radiación recibida está lejos de superar los límites de la actual legislación. Muestra una distribución asimétrica con mucha mayor afectación en las manos frente a otras localizaciones ([tabla 3](#)). Para realizar estos cálculos no se discriminó entre primer y segundo cirujano, otorgándose la misma dosis a ambos.

Los límites de dosis efectiva vigentes en España¹⁴ para trabajadores expuestos es de 100 miliSieverts (mSv) durante

todo el periodo de 5 años oficiales consecutivos, sujetos a una dosis efectiva máxima de 50 mSv en cualquier año oficial. El límite de dosis equivalente es de 150 mSv por año oficial para el cristalino, y de 500 mSv para las manos, antebrazos, pies y tobillos. Se consideran trabajadores expuestos de categoría A aquellos en los que no sea muy improbable que reciban una dosis efectiva superior a 6 mSv al año o superen 3/10 de los límites de dosis equivalentes. En la Propuesta de Normativa de la Comunidad Europea¹³ se han establecido los límites recomendados por la ICRP¹², que rebaja la dosis equivalente máxima en ojos a 20 mSv por año. También se recalca la necesidad de la formación del personal que trabaja con radiaciones y los principios básicos de justificación, optimización y limitación.

Las recomendaciones actuales en España para el uso de dosímetros y vigilancia de salud de personal radioexpuesto¹⁴ aconsejan usar dosímetros individuales que midan de forma representativa la radiación recibida para la totalidad del organismo, sin especificar su colocación. En caso de radiación no homogénea deben usarse dosímetros en esas zonas más expuestas. Los trabajadores expuestos deben someterse regularmente a revisiones de salud. La primera será previa a la incorporación a su puesto de trabajo, y se repetirá con frecuencia anual o menor a juicio del responsable del Servicio de prevención de riesgos laborales. El historial dosimétrico se conservará hasta que el paciente cumpla 75 años o lleve 30 sin recibir radiaciones ionizantes en su lugar de trabajo. La IAEA¹⁰ recomienda el uso de al menos dos dosímetros, uno bajo el mandil de plomo y otro sobre él a la altura de los ojos o tiroides. Si las manos están próximas al foco o corren el riesgo de exponerse directamente a Rx, debe añadirse otro dosímetro de muñeca o anillo.

Las medidas de radioprotección no se especifican en la legislación española¹⁴. La IAEA¹⁰ recomienda el uso de mandiles de 0,25 mm Pb (que se solapan en la parte anterior generando un blindaje de 0,50 mm en las zonas más expuestas), protector tiroideo y gafas plomadas con protección lateral.

Tabla 3 Radiación de los dos autores extrapolando las mediciones de Tsalafoutas⁴

	Radiación mano (mSv)	Radiación ojos (mSv)	Radiación pecho(mSv)	Radiación tiroides (mSv)
J.M	67,2	7,87	14,97	8,83
M.T	62,6	7,34	13,96	8,23

Discusión

Aunque la radiación calculada en un año no sobrepasó los límites actualmente en vigor, siempre hay que intentar disminuirla en lo posible. Una de las medidas más eficaces es disponer de mini arcos en C. De todas las cirugías realizadas en un año por los dos autores, más del 30% se podrían haber realizado con este tipo de fluoroscopios. Esto habría disminuido de forma notable la exposición del cirujano (entre 5 y 10 veces menor) y del paciente¹⁵. La popularización de los mini arcos en C se inició con la cirugía percutánea del pie, desde donde se extendió su uso para cirugía de mano y posteriormente muñecas, tobillos, antebrazos etc. No es válida para grandes articulaciones porque suelen tener un kilovoltaje y miliamperaje limitado, pero deberían estar disponibles en todas las unidades de mano, pie y traumatología en general.

Existen dos localizaciones anatómicas con especial relevancia: los ojos y las manos. Los primeros por su especial radiosensibilidad y las segundas por su cercanía con la fuente de rayos X. Los efectos de la radiación en los ojos están siendo revisados en profundidad. Hasta hace poco se pensaba que el límite de dosis para sufrir catarata por efecto determinista estaba en 5 Gy. Estos cálculos no fueron correctos debido a que no se tuvieron en cuenta el tiempo de latencia entre exposición y aparición de cataratas ni se contabilizaron los cambios precoces en cristalino. Estudios recientes en pacientes expuestos a dosis bajas de radiación¹⁶, han demostrado cambios en el cristalino a dosis mucho menores que las anteriores. Las alteraciones precoces comienzan con dosis muy bajas de radiación, que inicialmente no afectan a la visión, pero que progresan hasta opacificar el cristalino. Otros autores¹⁷ apreciaron cambios subclínicos con dosis pequeñas de radiación, más intensos y más dosis dependientes en la población de menor edad. Chodick et al.¹⁸ estudiando una cohorte de técnicos de Rx, llegaron a la conclusión de que no hay límite de dosis a partir del cual se produzcan alteraciones en el cristalino; y que pequeñas dosis de radiación aumentan las posibilidades de sufrir cataratas en el futuro. Estudios con supervivientes de las bombas atómicas de Hiroshima y Nagasaki³ concluyen que exposiciones menores de 0,8 Gy crean cataratas y no solo opacidades menores del cristalino. Todos estos estudios han llevado a la máxima autoridad en radioprotección, la ICRP a proponer unos nuevos límites de exposición^{6,7}. Definen como el umbral de radiación de aparición de cataratas 0,5 Gy; y recomiendan una exposición anual máxima de 20 mSv en cristalino promediada durante 5 años, sin exposición superior a 50 mSv en uno de estos años. Insisten en que estas recomendaciones deben seguir revisándose y en la importancia del uso de protección ocular desde el principio porque los efectos son acumulativos. También recomiendan una mayor atención a la exposición en cerebro y corazón porque afirman que por encima de 0,5 Gy se pueden producir alteraciones circulatorias permanentes en estos órganos.

Las manos son otra localización de especial relevancia por su mayor exposición. Singer⁸ encontró unos niveles de radiación 187 veces superiores al estimado previamente. El uso del arco convencional para cirugía de mano, muñeca pie y tobillo en lugar del mini arco condiciona una radiación entre 5 y 10 veces mayor¹⁵. Otros autores¹⁹ coinciden en la

mayor radiación dispersa del arco en C frente al mini arco y en un sustancial aumento de esta al situar el tubo de Rx encima del paciente.

Existen recomendaciones básicas aplicables a cualquier procedimiento ortopédico realizado con fluoroscopia^{10,20}. Unos se refieren al blindaje del cirujano ortopédico, que debe incluir mandil plomado de 0,25 mm de espesor que se solape en la zona delantera para formar una pantalla de 0,50 mm, protector de tiroides y gafas plomadas con protección frontal y lateral como equipo básico. El uso de guantes de plomo o wolframio es útil siempre que las manos del cirujano ortopédico no aparezcan en la imagen, porque esto aumentaría automáticamente el kV y mA del fluoroscopio siendo cotraproducente. Las otras recomendaciones son aplicables al correcto uso del fluoroscopio. Se debe acercar lo más posible el intensificador de imágenes al paciente, colocando el tubo de Rx debajo de la mesa y alejado de esta. La mayor parte de la radiación es absorbida por el paciente, y solo una pequeña parte llega hasta el intensificador. Colocando así el fluoroscopio se reduce la radiación dispersa en las zonas más sensibles como ojos, tiroides y manos. En ocasiones sí que es correcto invertir el arco, esto es, colocar el tubo de Rx en la parte superior, y usar el intensificador como apoyo de la extremidad a intervenir. El uso de mesas de quirófano no radiotransparentes puede obligar a invertir el arco y además colocarlo en una posición oblicua con el fin de salvar estructuras metálicas, con el consiguiente aumento de radiación dispersa. Las proyecciones oblicuas pueden multiplicarla hasta por cinco²¹. Los fluoroscopios pueden funcionar con el tubo de Rx emitiendo ininterrumpidamente (modo continuo) o en pulsos (modo pulsado) que es el modo correcto. Otro parámetro a controlar es la resolución. El modo de mayor resolución solo debe usarse en ocasiones puntuales pues aumenta la radiación dispersa. El grosor del haz de rayos X se puede disminuir usando un colimador. Proporciona imágenes con menos campo que pueden ser suficiente en determinadas cirugías, especialmente cuando el arco del rayo no hay que moverlo, como en el encerrojado distal de clavos.

Es fundamental el entrenamiento del técnico de rayos. Debe saber manejar todas las opciones del fluoroscopio y facilitar la labor y seguridad del cirujano y paciente. Asimismo el cirujano ortopédico debe poseer conocimientos actualizados en el uso y riesgos del fluoroscopio, sin olvidar que es el responsable de la radioprotección del paciente.

Este estudio tiene varias limitaciones. La forma de estimar la exposición de los autores no es la más idónea, tiene un importante margen de error. Algunos autores estiman la radiación usando mini arcos en C^{8,9} de los que nosotros no disponemos, por lo que la radiación real en nuestro caso sería mayor. Además hemos calculado la misma dosis para el cirujano y el ayudante. Esto puede ser aceptable en cirugías de mano y pie; en otras como enclavado trocantérico sobrestima la radiación del ayudante. Aun así nos parece una medida aproximada bastante útil. Según las referencias de los trabajos previos que utilizamos^{4,6-9}, los dos autores del artículo hemos podido o no superar los 3/10 del límite de dosis equivalente que marca la legislación actual. En cualquier caso no es altamente improbable que esto suceda, por lo que se nos debe considerar sin duda como personal expuesto a radiaciones ionizantes de categoría A.

Conclusiones

La radiación que recibieron los dos cirujanos ortopédicos de este estudio estuvo lejos de sobrepasar los límites establecidos por la legislación actual. Sin embargo, en manos y en ojos son cantidades significativas. El conocimiento de las normas básicas de radioprotección y funcionamiento del fluoroscopio y las revisiones por parte del Servicio de Salud Laboral son imprescindibles. Es de esperar que la legislación española asuma las recomendaciones europeas en materia de radioprotección y rebaje los límites en ojos. Deben usarse de rutina gafas de radioprotección y dosímetros de muñeca o anillo.

Nivel de evidencia

Nivel de evidencia IV.

Responsabilidades éticas

Protección de personas y animales. Los autores declaran que para esta investigación no se han realizado experimentos en seres humanos ni en animales.

Confidencialidad de los datos. Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes.

Derecho a la privacidad y consentimiento informado. Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

1. Mastrangelo G, Fedeli U, Fadda E, Giovanazzi A, Scpizzato L, Sala B. Increased cancer risk among surgeons in an orthopaedic hospital. *Occupational Medicine*. 2005;55:498–500.
2. William J, Morton MD. *The X-Ray or Photography of the Invisible*. New York: American Technical Book Co.; 1896.
3. Shore RE, Neriishi K, Nakashima E. Epidemiological studies of cataract risk at low to moderate radiation doses: (not) seeing is believing. *Radiat Res*. 2010;174:889–94.
4. Tsalafoutas IA, Tsapaki V, Kaliakmanis A, Pneumatics S, Tsonis F, Koulentianos ED, et al. Estimation of radiation doses to patients and surgeons from various fluoroscopically guided orthopaedic surgeries. *Radiat Prot Dosim*. 2008;128:112–9.
5. Mesbahi A, Rouhani A. A study on the radiation dose of the orthopaedic surgeon and staff from a mini C-arm fluoroscopy unit. *Radiat Prot Dosim*. 2008;132:98–101.
6. Bahari S, Seamus Morris S, Broe D, Taylor C, Lenehan B, Mcelwain J. Radiation exposure of the hands and thyroid gland during percutaneous wiring of wrist and hand procedures. *Acta Orthop Belg*. 2006;72:194–8.
7. Müller LP, Suffner J, Wenda K, Mohr W, Rommens PM. Radiation exposure to the hands and the thyroid of the surgeon during intramedullary nailing. *Injury*. 1998;29:461–8.
8. Singer G. Radiation exposure to the hands from mini C-arm fluoroscopy. *J Hand Surg AM*. 2005;30:795–7.
9. Giordano BD, Ryder S, Baumhauer JF, DiGiovanni BF. Exposure to direct and scatter radiation with use of mini C-arm fluoroscopy. *J Bone Joint Surg*. 2007;89:948–52.
10. Pearls: Radiation protection of staff in fluoroscopy. [consultado 20 Dic 2013]. Disponible en: https://www.rpop.iaea.org/RPOP/RPoP/Content/InformationFor/HealthProfessionals/4_InterventionalRadiology/fluoroscopy-operating-theatres/fluoroscopy-staff-protection.htm
11. ICRP 2007. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann ICRP. 2007.
12. International Commission on Radiological Protection, 2011. Statement on Tissue Reactions. ICRP ref 4825-3093-1464. Approved by the Commission on April 21, 2011.
13. Propuesta de directiva del consejo de la comisión europea por la que se establecen las normas de seguridad básicas para la protección contra los peligros derivados de la exposición a radiaciones ionizantes. [consultado 20 Dic 2013]. Disponible en: <http://www.eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2012:0242:FIN:ES:PDF>
14. Real decreto 783/2001, de 6 julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes. [consultado 20 Dic 2013]. Disponible en: <http://www.boe.es/boe/dias/2001/07/26/pdfs/A27284-27393.pdf>
15. Athwal GS, Bueno Jr RA, Wolfe SW. Radiation exposure in hand surgery: mini versus standard C-arm. *J Hand Surg Am*. 2005;30:1310–6.
16. Kleiman NJ. Radiation cataract. *Ann ICRP*. 2012;41(3–4):80–97.
17. Chen W-L, Hwang J-S, Hu T-H, Chen M-S, Chang WP. Lenticular opacities in populations exposed to chronic low-dose-rate gamma radiation from radiocontaminated buildings in Taiwan. *Radiat Res*. 2001;156:71–7.
18. Chodick G, Bekiroglu N, Hauptmann M, Alexander BH, Freedman DM, Doody MM, et al. Risk of cataract after exposure to low doses of ionising radiation: a 20-year prospective cohort study among US radiologic technologists. *Am J Epidemiol*. 2008;168:620–31.
19. Giordano BD, Baumhauer JF, Morgan TL, Rechtine 2nd GR. Patient and surgeon radiation exposure: comparison of standard and mini-C-arm fluoroscopy. *J Bone Joint Surg Am*. 2009;91:297–304.
20. Argawel A. Radiation risk in orthopedic surgery: ways to protect yourself and the patient. *Oper Tech Sports Med*. 2014;19:220–3.
21. Cusma JT, Bell MR, Wondrow MA, Taubel JP, Holmes Jr DR. Real-time measurement of radiation exposure to patients during diagnostic coronary angiography and percutaneous interventional procedures. *JACC*. 1999;33.