

Cataratas y exposición a radiación ionizante en personal de cardiología intervencionista

Maria Camila Henao-Solarte⁽¹⁾, Pablo Arango-Guerra⁽¹⁾, Santiago Gómez-Maya⁽¹⁾, Elsa María Vásquez-Trespalcacios⁽²⁾

⁽¹⁾Grupo de Investigación Observatorio de la Salud Pública, Universidad CES, Medellín, Colombia

⁽²⁾Departamento de Epidemiología, Grupo de Investigación Observatorio de la Salud Pública, Universidad CES, Medellín, Colombia

Correspondencia.

Maria Camila Henao-Solarte
mcamilahs96@gmail.com

La cita de este artículo es: M C Henao et al. Cataratas y exposición a radiación ionizante en personal de cardiología intervencionista. Rev Asoc Esp Espec Med Trab 2017; 26: 275-283

RESUMEN:

Objetivo: Evaluar la evidencia reciente sobre la relación entre la exposición a radiación ionizante y las cataratas en personal de cardiología intervencionista.

Métodos: Se realizó una búsqueda bibliográfica de artículos científicos publicados en los últimos 10 años en las bases de datos Clinical Key, EBSCO, Science Direct, LILACS y Pubmed de estudios observacionales analíticos que evaluaran la relación entre aparición de cataratas y exposición a radiación ionizante en personal de cardiología intervencionista.

Resultados: A través de criterios de inclusión y exclusión se seleccionaron 6 artículos en total, sobre estudios que fueron realizados en personal de cardiología intervencionista laboralmente activos aplicando las escalas LOCS III y Merriam-Fotch para calcular la opacidad corneal. Se encontró que existe una relación estadísticamente significativa entre la exposición a radiación ionizante y el riesgo de padecer cataratas.

CATARACTS AND EXPOSITION TO IONIZING RADIATION IN INTERVENTIONAL CARDIOLOGY STAFF

ABSTRACT

Objective: Evaluate the most recent evidence about the relation between exposure to ionizing radiation and cataracts in interventional cardiology personnel.

Methods: A bibliographic search was conducted of scientific articles published in the last 10 years in the databases Clinical key, EBSCO, Science Direct, LILACS and Pubmed; about observational analytical studies that support the association between cataracts and exposure to ionizing radiation in interventional cardiology staff.

Results: By means of the inclusion and exclusion criteria, a total of 6 articles were selected, about studies performed among occupational active interventional cardiology personnel using the LOCS III and Merriam-Fotch scales to calculate corneal opacity. It was found that there is a statistically significant relation between exposure to ionizing radiation and the risk of cataracts.

Conclusiones: Los resultados encontrados apoyan la hipótesis de que la exposición a radiación ionizante podría aumentar el riesgo de cataratas en personal de cardiología intervencionista. Se requieren más estudios para tener una mayor acerca de esta relación y establecer la dosis límite segura. Se recomienda el uso de gafas de seguridad y equipo de protección especial para disminuir los efectos oculares de la radiación.

PALABRAS CLAVE: cataratas, Exposición a radiación, Cateterización cardíaca, Radiación ionizante, Cardiología intervencionista

Fecha de recepción: 28 de agosto de 2017

Fecha de aceptación: 26 de diciembre de 2017

Conclusions: The results support the hypothesis that exposure to ionizing radiation could increase the risk of cataracts in interventional cardiology personnel. Further studies are needed to get a better understanding of this relation and to establish the limit dose. Use of radiation safety glasses and special protective equipment is recommended to reduce the ocular effects of radiation

KEY WORDS: cataract, Radiation exposure, Cardiac catheterization, Ionizing radiation, Interventional cardiology

Introducción

Durante los últimos años ha venido siendo extenso el uso de imagenología en la práctica médica como ayuda diagnóstica en el área de la salud además de procedimientos intervención, que conllevan en si una exposición a radiación ionizante significativa para los pacientes, pero de igual manera para el personal médico, la cual es desencadenante, y a su vez factor de riesgo importante en la patogénesis de diversas enfermedades⁽¹⁾.

Se conoce la amplia gama de exposición de los diferentes órganos, además de sus consecuencias, un ejemplo de ello es la catarata y/o opacidad corneal que son potencial y seria consecuencia de dicha exposición. La fisiopatología de dicha alteración aún se encuentra inconclusa, sin embargo, se cree que se debe principalmente al poder que ejerce la microonda sobre las enzimas intracelulares sensibles al calor como la glutatión peroxidasa, la cual protege a las proteínas y lípidos celulares del estrés oxidativo. La enzima se deforma por la radiación y se altera su función. La consecuencia de dicho proceso es la oxidación

que ocurre de los grupos sulfhidrido de las proteínas y la formación de agregados de enlaces de alto peso molecular lo cual genera variaciones en la estructura de las células corneales. Otro mecanismo que se ha considerado es el daño directo del DNA en las células corneales, lo que altera la producción de enzimas protectoras, formación de enlaces disulfuro y alteración de la concentración de proteínas⁽²⁾.

Uno de los grupos dentro del campo de la medicina que se observa con un alto riesgo es el personal de cardiología intervencionista, ya que en los últimos años se ha evidenciado un aumento significativo en el número de procedimientos realizados dentro de los laboratorios de cateterismo y electrofisiología que necesitan de radiación ionizante para guiar tales intervenciones, lo que suscita una alta exposición y factor de riesgo, en este caso para el desarrollo de cataratas^(1,3,4).

Cerca de 350,000 procedimientos de angiografías coronarias y/o angioplastias transluminales percutáneas, y cerca de 100,000 procedimientos en laboratorio de electrofisiología son reportados anualmente en Francia, datos que hacen cuestionarse la magnitud, en términos cualitativos y cuantitativos, de la exposición a radiación y

TABLA 1. RESULTADOS DE BASES DE DATOS

Base de datos	Descriptores	Resultados
Pubmed	"Cataract" AND "Radiation Exposure" AND "Cardiology"	10
	"Cataracts" AND "Cardiac catheterization"	2
	"Cataracts" AND "radiation, ionizing" AND "cardiology"	1
	"Cataract" AND "Radiation, Ionizing" AND "Health Personnel"	3
	"Ionizing radiation" AND "Cataract risk" AND "Interventional cardiology"	10
Science direct	"Cataracts" AND "Catheterization"	2
	"Cataracts" AND "Radiation exposure" AND "Interventional physicians"	6
	"Lens Opacities" AND "Cardiac catheterization" AND "Radiation dose"	6
	"Ionizing radiation" AND "Cataract risk" AND "Interventional cardiology"	1
LILACS	"Lens" AND "Radiation" AND "Cardiology"	2
EBSCO	"Cataract" AND "Lens" AND "Cardiac catheterization" AND "Cardiology"	9
Clinical Key	"Cataracts" AND "Interventional cardiologists"	13
Total		65

que tan nocivo puede ser para la salud de estos grupos expuestos constantemente⁽¹⁾. Los procedimientos anteriormente mencionados conllevan a exposición de los lentes oculares con dosis que pueden variar entre 10 usv (micro Sievert) hasta más de 1000 usv dependiendo del tipo de procedimiento a realizar y de la protección que se utilice durante los mismos⁽¹⁾.

Sabiendo a ciencia cierta que el tejido ocular es radiosensible, y aunque se acepta que altas dosis de radiación puede conducir a opacidad de los lentes, aún se debate, que incluso bajas dosis anuales ocupacionales de 20msv, la cual se encuentra en el rango de exposición del personal médico no protegido en los laboratorios de cateterismo, puede terminar en el mismo daño^(5,6).

Diferentes estudios en diferentes países como Estados Unidos⁽⁷⁾; Uruguay y Colombia⁽³⁾; Malasia⁽⁴⁾, Helsinki⁽⁸⁾ y Francia⁽¹⁾ que apoyan la hipótesis de un aumento del riesgo de adquirir opacidad de lente ocular alrededor de 2 veces más que en grupos que no estuvieron expuestos.

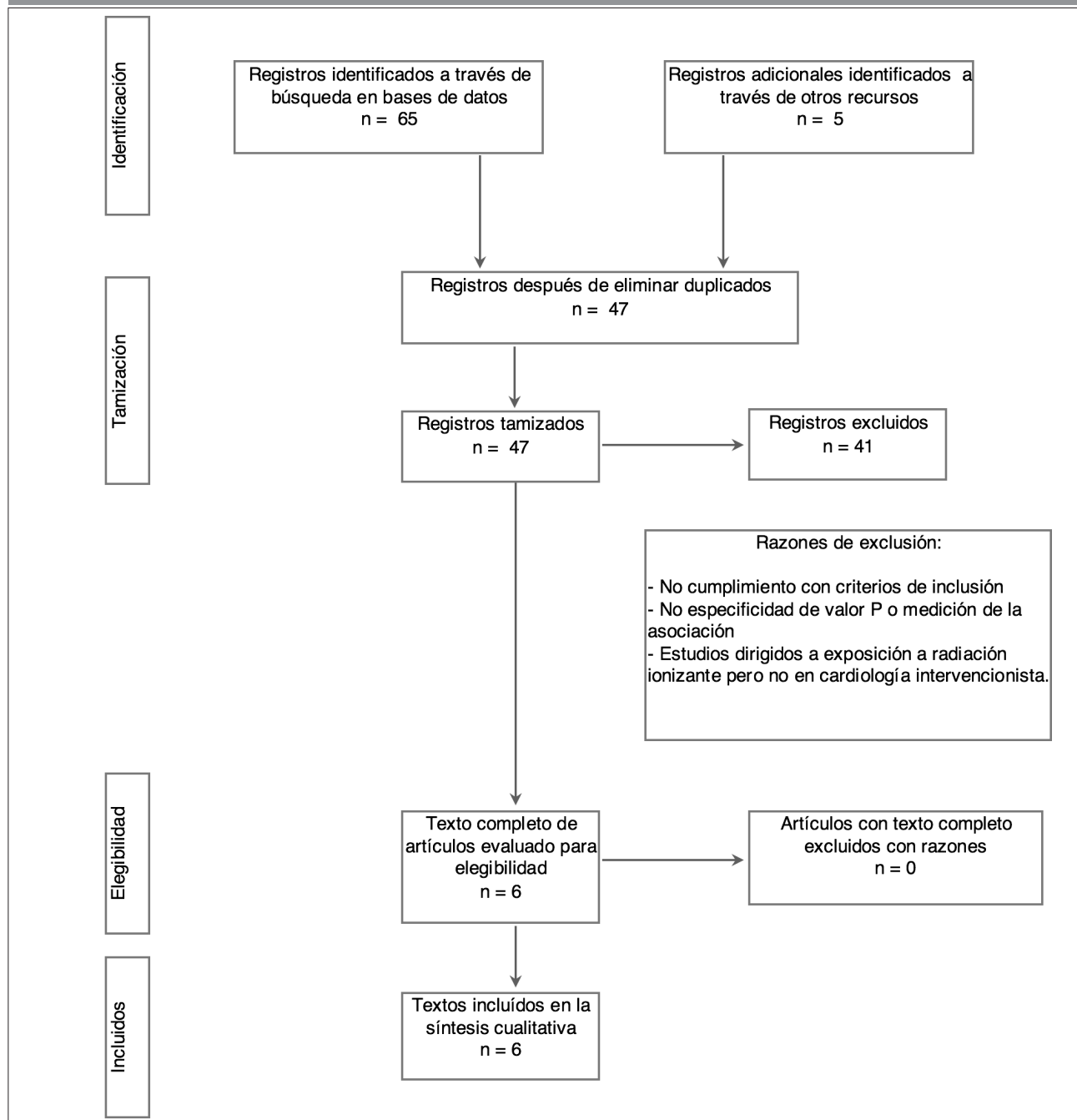
En el presente estudio se presenta una revisión de varios estudios observacionales analíticos que incluyen grupo de población expuesta de cardiólogos intervencionistas comparado con una población no expuesta, estos fueron evaluados detalladamente por oftalmólogos aplicando en algunos estudios el sistema LOCS III y en otros Merriam Focht para clasificar y definir la presencia o no de cataratas

Sujetos, Material y Método

Para realizar esta revisión se recopiló información de artículos científicos encontrados en las bases de datos Pubmed, Science direct, LILACS, EBSCO y Clinical key; publicados en los últimos 10 años, teniendo como criterio identificar estudios analíticos que evaluaran la asociación entre las alteraciones de opacidad en el cristalino (cataratas) y la exposición a radiación ionizante específicamente en procedimientos de cardiología intervencionista.

Se utilizaron los siguientes términos de búsqueda: *cataract, radiation exposure, cardiology, cardiac catheterization, radiation ionizing, health personnel, interventional cardiology, catheterization, interventional physicians, lens opacities, radiation dose, lens & radiation*; usando el conector booleano "AND", con los filtros para resultados en los idiomas español o inglés, solo en humanos, que los términos de búsqueda se encontrarán en el título o en el resumen, publicados desde el año 2007 hasta la fecha. Se excluyeron las revisiones sistemáticas, los meta análisis, los artículos donde no se controlarán las opacidades corneales previas y los que no especificaran el método de medición de exposición a la radiación. Además se evaluaron artículos obtenidos de otros recursos diferentes a las bases de datos como referencias bibliográficas utilizadas en los diferentes estudios.

Figura 1. Algoritmo que representa el proceso de selección de los artículos



Resultados

Con los criterios de búsqueda en las bases de datos se recuperaron 65 artículos en total, y adicionalmente 5 artículos encontrados mediante otros recursos. La tabla 1 resume los resultados obtenidos con cada una de las estrategias de búsqueda.

Al eliminar los resultados duplicados quedaron 47 artículos, se obtuvieron los textos completos y se escogieron aquellos que incluyeran población laboralmente activa en procedimientos de cardiología intervencionista, donde evaluarán el desenlace de cataratas asociado a radiación ionizante, especificando un método de medición de para la misma y que el

diagnóstico de la opacidad ocular fuera realizada por oftalmólogos expertos. Aplicando estos criterios quedaron 6 artículos, los cuales fueron seleccionados para la revisión. Cada artículo fue evaluado independientemente por 2 investigadores. (Figura 1).

Se extrajeron los datos de los 6 artículos seleccionados de acuerdo con las variables especificadas en la tabla 2, que incluye: el tipo de estudio realizado, el número de expuestos y no expuestos, la forma de medición de la exposición, que tipo de sistema de clasificación usaron para evaluar la gravedad del daño, las variables de confusión y los resultados de cada estudio en términos de prevalencia e incidencia de opacidades en el cristalino en expuestos y no expuestos con su respectivo valor de *p* de la relación entre ambos. La tabla 2 resume los diferentes estudios seleccionados de acuerdo con la población expuesta y no expuesta.

Discusión

El resultado principal de esta revisión fue el hallazgo reportado entre la exposición a radiación ionizante y la presencia de cataratas en cardiólogos intervencionistas en todos los estudios evaluados, evidenciándose en los resultados una alta incidencia y prevalencia de cataratas en la población expuesta.

La presencia de opacidad del cristalino se clasifica según su localización anatómica en tres principales tipos: nuclear, cortical y subcapsular posterior. La última mencionada es la de menor frecuencia en la población general, por el contrario, comúnmente se ha encontrado una importante relación entre su presentación y la exposición a radiación ionizante, sin embargo, varios estudios epidemiológicos sugieren no considerar únicamente la visión tradicional de que esta sea el único tipo de opacidad asociado a radiación, sino que se amplíe hacia los otros tipos de cataratas⁽¹²⁾.

En la mayoría de los estudios revisados se reporta un aumento de la prevalencia y un exceso en el riesgo de desarrollar catarata subcapsular posterior en comparación con los otros tipos, incluso luego de haber realizado ajustes a las medidas de asociación persistiendo la asociación estadística, lo que apoya lo reportado de que este es el tipo más común asociado a

exposición de radiación ionizante, aunque no sea de la misma manera en la población general.

En los diferentes estudios se evalúa la presencia de catarata usando lámpara de hendidura y se clasifica su severidad según dos escalas diferentes; Merriam Focht y LOCS III. Ambos sistemas fueron heterogéneamente utilizados en los diferentes estudios, lo que puede suponer discrepancias entre los resultados^(3,4,13-15). Hasta el día de hoy, no se encontraron estudios en la literatura que comparen ambas escalas para establecer el nivel de exactitud a la hora de realizar la detección de cataratas en pacientes expuestos a radiación, por lo que se requieren estudios que logren identificar cual escala puede brindar datos más precisos y confiables. Sin embargo, en el estudio de S Jacob et al se utilizó la escala LOCS III puesto que tiene menor variabilidad interobservador ya que es un método más estandarizado a nivel mundial, a diferencia del Merriam Focht que es poco utilizado⁽¹⁾.

Los cardiólogos intervencionistas tienen una de las exposiciones a la radiación más altas de todos los profesionales de la salud y la radiación es un contaminante medioambiental con un riesgo lineal, dependiente de la dosis y sin evidencia de un umbral mínimo de seguridad⁽¹⁶⁾. En estudios epidemiológicos han subrayado que el límite de dosis actual puede ser demasiado alto, y que el tejido ocular puede ser más radiosensible de lo que se consideró previamente^(10,17,18). Además, en algunos estudios como el realizado por E Vano Et al se ha encontrado que especialidades como urología intervencionista presentan una mayor dosis de radiación a nivel ocular que puede llegar a ser hasta 18 veces más que los cardiólogos y radiólogos intervencionistas que utilizan adecuada protección, lo que demuestra que existe una gran población de profesionales del área de la salud que se encuentran expuestos a niveles peligrosos de radiación⁽¹⁹⁾. No se encontraron estudios de prevalencia de cataratas por exposición a radiación en otros profesionales de la salud, por lo que se requieren nuevos estudios para definir cuál población de especialistas presenta un mayor riesgo.

El cristalino, es uno de los tejidos más radio sensibles del cuerpo, y su opacidad se asocia con daño en la membrana de sus células y posiblemente también por daño en su ADN, disminuyendo la producción de

TABLA 2. CARACTERÍSTICAS Y RESULTADOS DE LOS PRINCIPALES ARTÍCULOS EVALUADOS

Autor	Año	Tipo de estudio	Exposición a Radiación ionizante		Medición de la exposición	Medición del daño	Variables de confusión	Resultados presencia de cataratas		
			Expuestos	No e xpuestos				Expuestos	No expuestos	Medida de asociación y P
Bitarafan Rajabi, et al. (9)	2015	Cohorte	Staff de cardiología intervencionista (n:81)	Enfermeras que no trabajan en sitios de intervención (n: 14)	Dispositivos de dosimetría termoluminiscente (TLD) y correlación con años de exposición a radiación ionizante y número de procedimientos semanales	LOCS III	Edad, sexo	Incidencia: 79% (95% IC, 69.9-88.1%)	Incidencia: 7.1% (95% IC, 2.3 - 22.6%)	RR = 11.06% (95% IC, 1.67-73.37%) p < 0.001
Vano, et al. (10)	2013	Transversal	Staff de cardiología intervencionista (cardiólogos, técnicos y enfermeras) (n:127)	Individuos fuera del área de la salud sin exposición previa a radiación ionizante (n: 91)	Cuestionario con información sobre años de exposición, número promedio de procedimientos, detalles técnicos como tiempo de fluoroscopia y uso de dispositivos para protección personal. Dispositivos de dosimetría personal	Merriam-Focht score	Historia personal de uveítis, Diabetes y uso de corticosteroides sistémicos	Prevalencia en CI: 50% Prevalencia en staff: 41%	Prevalencia 10%	P < 0.005
Ciraj-Bjelac et al (11)	2010	Transversal	Personal de cardiología intervencionista (Cardiólogos y enfermeras) (n: 67)	Personal médico no expuesto (n: 22)	Según el número de procedimientos (Por medio de encuestas) y los valores típicos de parámetros de exposición relevantes.	Merriam – Focht		Prevalencia CI: 52% (IC 35-73) Prevalencia enfermeras: 45% (IC 15-100)	Prevalencia: 9% (IC 1-33)	RR cardiólogos 5.7 (IC 1.5-22) P < 0.001 RR enfermeras 5 (IC 1.2-21) P < 0.05
S Jacob et al. (1)	2013	Transversal	Cardiólogos intervencionistas (n: 106)	Población general no médica no expuesta (n:99)	Tiempo de exposición en años y número acumulado de procedimientos realizados en los años de trabajo	LOCS III	Tabaquismo, historia de miopía, diabetes y uso de corticosteroides (> 6 meses)	Prevalencia 17% (95 IC 10-24)	Prevalencia: 5% (95 IC 1-9)	OR= 3.85 (IC 95% 1.3-11.4) P= 0.015
Vano et al (3)	2010	Transversal	Personal de cardiología intervencionista (Cardiólogos, enfermedad, técnicos) (n: 58)	Población general médica no expuesta (n: 93)	Dosis radiación en cSv según tiempo de exposición laboral anual (número promedio y tipo de procedimientos realizados)	Merriam – Focht		Prevalencia 38%	Prevalencia: 12%	RR= 3.2 (IC 95% 1.7- 6.1) p= < 0.005
O Ciraj-Bjelac et al. (4)	2012	Transversal	Personal de cardiología intervencionista (Cardiólogos, enfermeras, técnicos) (n: 30)	Profesionales médicos no expuestos (n: 34)	Dosis acumulada radiación (KAP) promedio según tiempo de exposición laboral (años en cardiología intervencionista)	Merriam – Focht		Prevalencia 53%	Prevalencia: 7%	RR= 2.6 (IC 95% 1.2- 5.4) p= < 0.001

enzimas protectoras y alterando la concentración de proteínas intracelulares. Aunque inicialmente el daño puede pasar desapercibido, aumenta progresivamente hasta que empieza a alterar la visión, este tiempo de latencia, se ha visto que es relativo a la dosis de exposición y el tiempo⁽⁹⁾.

Es así como la manera de medición de la exposición a radiación ionizante se realizó, en la mayoría de los estudios incluidos en esta revisión, haciendo un cálculo promedio aproximado de la dosis de radiación según encuestas realizadas a los participantes que incluían variables como: tipo de procedimientos realizados, número de procedimientos al año y número de años de exposición. Algunos estudios utilizaron como valores de referencia las mediciones realizadas previamente por E vano Et al⁽³⁾, donde se cuantificó la dosis recibida en cada procedimiento en un grupo de cardiólogos intervencionistas utilizando dosímetros personales debajo del delantal de plomo^(17,20,21). Solo en dos de los estudios^(9,10) se hizo el uso dispositivos que miden cuantitativamente la radiación recibida de forma personal. Así, en la mayoría de los casos no hay un valor exacto de la magnitud cuantitativa de la exposición y aunque de esta manera los cálculos estimados de dosis de radiación recibida son imperfectos, en la mayoría de los casos son la única fuente de información. De esta manera se puede afirmar que hacen falta estudios prospectivos que hagan uso de mejores métodos para medir la exposición y analizar cómo esta se asocia con la génesis de opacidad de lente en cardiólogos intervencionistas. Sin embargo, en todos los estudios se alcanza una correlación estadística entre el desarrollo de cataratas y su asociación con el tiempo de exposición, como en uno de ellos, donde se encontró que el staff de cardiología intervencionista en el adulto, tiende a sufrir más riesgo de opacidad en el cristalino que el staff de cardiología intervencionista infantil, debido a que los procedimientos en adultos tienden a ser más extensos, por lo que se exponen a más tiempo de radiación⁽⁹⁾.

En uno de los estudios transversales realizado por S. Jacob et al se describe una reducción de riesgo relativo de desarrollar catarata en cardiólogos intervencionistas que tienen uso de equipo de protección⁽¹⁾. Además se hace mención de lo establecido que se tiene la eficacia para reducir la dosis de radiación hasta un 80%⁽²²⁾, pero

su impacto no se ha considerado apropiadamente en estudios epidemiológicos para valorar como el riesgo puede modificarse con el adecuado uso de los mismos. Además, se encontró que entre los cardiólogos que usaban regularmente gafas de protección hubo disminución en la probabilidad de desarrollar catarata, aunque el resultado no es estadísticamente significativo, lo que amerita otros estudios que demuestren el verdadero impacto del uso de equipo de protección.

Adicionalmente se reporta que aproximadamente la mitad de cardiólogos que se incluyeron en el estudio, usaban protección rutinariamente pero se describen variaciones en el uso, hallando que tan solo un 18% de la población estudiada había usado gafas más del 75% del tiempo desde que habían empezado a realizar procedimientos de cardiología intervencionista, el resto de la población lo hizo por un tiempo inferior. De igual manera otro estudio reporta que solo el 13% de los cardiólogos intervencionistas tenían uso regular de gafas de protección en contraste con un 43% que no hacían ningún uso de ellas^(1,11) lo que demuestra un bajo uso de medidas de protección aparentemente por desconocimiento del riesgo, además de la incomodidad que genera.

En conclusión, los resultados encontrados apoyan la hipótesis de que la exposición a radiación ionizante podría inducir al desarrollo de catarata en cardiólogos intervencionista pero se necesitan más estudios acerca del tema que ayuden a entender la mejor relación entre ambas variables. Las cataratas inducidas por radiación inicialmente no se pueden diferenciar de otras opacidades corneales, por lo que a partir de los resultados encontrados se recomienda a todo el personal de cardiología intervencionista que haya estado expuesto durante periodos prolongados a revisión periódica por oftalmología. También se considera que existe una deficiencia en las estrategias y protocolos utilizados para promover la protección en contra de los efectos producidos por la radiación al igual que en el entrenamiento que reciben los profesionales⁽¹¹⁾. Por otra parte, se hace recomendación del uso de gafas y equipo de protección para disminuir la dosis de radiación⁽²³⁾, y a su vez se evidencia que se requieren la elaboración de nuevos equipos más ergonómicos que faciliten su utilización.

Conflicto de intereses

Los autores manifiestan que no tienen interés comercial ni han recibido apoyo económico.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad CES por el apoyo logístico para la realización del presente estudio.

Bibliografía

- Jacob S, Boveda S, Bar O, Brézin A, Maccia C, Laurier D, et al. Interventional cardiologists and risk of radiation-induced cataract: results of a French multicenter observational study. *Int J Cardiol*. 1 de septiembre de 2013;167(5):1843-7.
- Lipman RM, Tripathi BJ, Tripathi RC. Cataracts induced by microwave and ionizing radiation. *Surv Ophthalmol*. diciembre de 1988;33(3):200-10.
- Vano E, Kleiman NJ, Duran A, Rehani MM, Echeverri D, Cabrera M. Radiation cataract risk in interventional cardiology personnel. *Radiat Res*. octubre de 2010;174(4):490-5.
- Ciraj-Bjelac O, Rehani M, Minamoto A, Sim KH, Liew HB, Vano E. Radiation-induced eye lens changes and risk for cataract in interventional cardiology. *Cardiology*. 2012;123(3):168-71.
- ICRP. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Annals of the ICRP*. 2007;37(2-4).
- ICRP. International commission on radiological protection - statement on tissue reaction. *ICRP ref 4825* - 3093 - 1464. 2011;
- Junk AK, Haskal Z, Worgul BV. Cataract in Interventional Radiology - an Occupational Hazard? *Invest Ophthalmol Vis Sci*. 1 de mayo de 2004;45(13):388-388.
- Mrena S, Kivelä T, Kurtio P, Auvinen A. Lens opacities among physicians occupationally exposed to ionizing radiation—a pilot study in Finland. *Scand J Work Environ Health*. mayo de 2011;37(3):237-43.
- Bitarafan Rajabi A, Noohi F, Hashemi H, Haghjoo M, Miraftab M, Yaghoobi N, et al. Ionizing Radiation-Induced Cataract in Interventional Cardiology Staff. *Res Cardiovasc Med [Internet]*. 22 de enero de 2015 [citado 2 de junio de 2017];4(1). Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4350158/>
- Vano E, Kleiman NJ, Duran A, Romano-Miller M, Rehani MM. Radiation-associated lens opacities in catheterization personnel: results of a survey and direct assessments. *J Vasc Interv Radiol JVIR*. febrero de 2013;24(2):197-204.
- Ciraj-Bjelac O, Rehani MM, Sim KH, Liew HB, Vano E, Kleiman NJ. Risk for radiation-induced cataract for staff in interventional cardiology: is there reason for concern? *Catheter Cardiovasc Interv Off J Soc Card Angiogr Interv*. 15 de noviembre de 2010;76(6):826-34.
- Ainsbury EA, Bouffler SD, Dörr W, Graw J, Muirhead CR, Edwards AA, et al. Radiation cataractogenesis: a review of recent studies. *Radiat Res*. julio de 2009;172(1):1-9.
- Tan ACS, Wang JJ, Lamoureux EL, Wong W, Mitchell P, Li J, et al. Cataract prevalence varies substantially with assessment systems: comparison of clinical and photographic grading in a population-based study. *Ophthalmic Epidemiol*. agosto de 2011;18(4):164-70.
- Merriam GR, Focht EFA. A clinical and experimental study of the effect of single and divided doses of radiation on cataract production. *Trans Am Ophthalmol Soc*. 1962;60:35-52.
- Chylack LT, Wolfe JK, Singer DM, Leske MC, Bullimore MA, Bailey IL, et al. The Lens Opacities Classification System III. The Longitudinal Study of Cataract Study Group. *Arch Ophthalmol Chic Ill* 1960. junio de 1993;111(6):831-6.
- Smilowitz NR, Balter S, Weisz G. Occupational hazards of interventional cardiology. *Cardiovasc Revasc Med*. julio de 2013;14(4):223-8.
- Worgul BV, Kundiye YI, Sergiyenko NM, Chumak VV, Vitte PM, Medvedovsky C, et al. Cataracts among Chernobyl clean-up workers: implications regarding permissible eye exposures. *Radiat Res*. febrero de 2007;167(2):233-43.
- Principi S, Delgado Soler C, Ginjaume M, Beltran Vilagrassa M, Rovira Escutia JJ, Duch MA. Eye lens dose in interventional cardiology. *Radiat Prot Dosimetry*. julio de 2015;165(1-4):289-93.
- Vano E, Fernandez JM, Resel LE, Moreno J, Sanchez RM. Staff lens doses in interventional urology. A

comparison with interventional radiology, cardiology and vascular surgery values. *J Radiol Prot Off J Soc Radiol Prot.* marzo de 2016;36(1):37-48.

20. Balter S. Guidelines for personnel radiation monitoring in the cardiac catheterization laboratory. Laboratory Performance Standards Committee of the Society for Cardiac Angiography and Interventions. *Cathet Cardiovasc Diagn.* diciembre de 1993;30(4):277-9.

21. Miller DL, Vañó E, Bartal G, Balter S, Dixon R, Padovani R, et al. Occupational Radiation Protection in Interventional Radiology: A Joint Guideline of the

Cardiovascular and Interventional Radiology Society of Europe and the Society of Interventional Radiology. *Cardiovasc Intervent Radiol.* abril de 2010;33(2):230-9.

22. Koukorava C, Carinou E, Ferrari P, Krim S, Struelens L. Study of the parameters affecting operator doses in interventional radiology using Monte Carlo simulations. *Radiation Measurements.* 2011 Nov;46(11):1216-22.

23. Balter S. Radiation safety in the cardiac catheterization laboratory: operational radiation safety. *Catheter Cardiovasc Interv Off J Soc Card Angiogr Interv.* julio de 1999;47(3):347-53.