



**Universidad del
Rosario**

Universidad Del Rosario

Escuela de Medicina y Ciencias de la Salud

**Malignidad hematológica secundaria a exposición a dosis bajas de radiación
ionizante en personal de salas de hemodinamia**

Investigadores:

Martha Liliana Bonilla González MD

Valentina Pinto Dueñas MD

Tutor:

MD, MSc. Bertha Polo – Universidad del Rosario

**Bogotá D.C., Colombia
Diciembre 2018**

RESUMEN

INTRODUCCIÓN: Dentro del sector salud, se ha identificado al grupo de salas de hemodinamia (cardiología intervencionista, electrofisiología, cirugía vascular periférica, neuroradiología) como de alto riesgo debido a la exposición a radiación ionizante (RI) por el uso de fluoroscopia durante los procedimientos en sala de hemodinamia.

Se sabe que la RI es un reconocido agente carcinógeno y se ha descrito, además, que el sistema hematológico es especialmente sensible a los efectos deletéreos de la RI. Esta revisión se centra en identificar la evidencia de asociación entre el desarrollo de malignidad hematológica secundaria a la exposición a dosis de RI bajas y prolongadas.

OBJETIVO: Determinar las alteraciones hematológicas malignas relacionadas con la exposición a radiación ionizante en el personal intervencionista en la sala de hemodinamia y establecer si existe alguna dosis que favorezca la ocurrencia de este tipo de malignidades identificando el periodo de latencia de estas

MATERIALES Y MÉTODOS: Por medio de una revisión sistemática de la literatura en las bases de datos de PubMed, Science Direct y EBSCO, se seleccionaron datos recolectados entre el año 2009 y 2018 en idioma inglés utilizando los términos MeSH o palabras claves: [("Fluoroscopy" OR "Catheterization Laboratory" OR "Cardiac imaging") AND "ionizing radiation" AND ("occupational exposure" OR "exposed physicians")]

RESULTADOS: De los 23 artículos revisados, 6 se enfocan en los daños moleculares, 5 en dosis efectos y 10 específicamente efectos deletéreos de la exposición en la población diana. Los primeros mencionan daños moleculares: inestabilidad genómica, aumento de biomarcadores de daño de ADN y alteraciones de sistema inmune atribuida a la exposición a RI. Los segundos muestran la relación con las dosis y los daños y los últimos son específicos de la población estudiada señalando que son los cardiólogos intervencionistas quienes evidencian mayor frecuencia de hallazgos de aberraciones cromosómicas.

CONCLUSIONES: La evidencia disponible hasta el momento es débil y las conclusiones heterogéneas, sin poder establecer de forma clara que haya alguna dosis baja relacionada con el desarrollo de neoplasias hematológicas. Hace falta llevar a cabo más estudios prospectivos de gran magnitud que lleven a identificar el riesgo real en esta población.

PALABRAS CLAVE: "Ionizing radiation", "occupational disease", "haematological malignancies"

INTRODUCCIÓN

La radiación ionizante (RI) está clasificada como un carcinógeno de grupo I según la IARC y también se encuentra descrita como un agente causal de cáncer ocupacional por la Organización Internacional del Trabajo. ⁽¹⁾

Los efectos nocivos de la RI pueden clasificarse como estocásticos o determinísticos. El efecto estocástico no tiene que ver con dosis límite, su severidad es independiente de la dosis, pero la probabilidad es proporcional a la dosis recibida. El desarrollo de malignidad por exposición a radiación es un ejemplo de este efecto. El efecto determinístico es dosis dependiente y sucede al cruzar el límite de exposición ⁽²⁾. La interacción de la radiación ionizante con el sistema biológico resulta en generación de radicales libres, los cuales afectan la membrana celular e inducen la peroxidación lipídica produciendo efectos dañinos sobre las células. Estos afectan el sistema hematopoyético y disminuyen sus componentes celulares afectando los mecanismos de defensa antioxidantes ^(3,4).

La RI induce varios tipos de daños al ADN lo que incluye ruptura de cadenas sencillas y dobles, siendo este último el daño más grave pues puede conllevar a la ruptura de cromosomas y traslocaciones que están asociadas con múltiples enfermedades incluyendo cáncer ^(5,6).

El daño de la célula y tejidos como resultado de exposición a RI ocurre por ionización directa de macromoléculas o por la reacción de estas con radicales libres, los cuales dañan la estructura y función del ADN conllevando a daño celular irreparable o apoptosis. Entre varias macromoléculas, el ADN se considera un blanco crítico de daños inducidos por RI y este daño es uno de los factores más importantes en el desarrollo de cáncer inducido por radiación ^(7,8,9)

Usualmente los estudios de efectos de radiación han sido hechos en poblaciones expuestas a dosis altas como los afectados por los atentados de Hiroshima y Nagasaki o el accidente de Chernobyl ⁽¹⁰⁾, sin embargo, algunos estudios recientes han mostrado que la exposición por tiempo prolongado incluso a bajas dosis de radiación ionizante puede generar diversos efectos deletéreos en células y tejidos que pueden traducirse posteriormente en enfermedad. ⁽¹¹⁾

Se sabe que la médula ósea es el tejido más radiosensible del cuerpo (particularmente los linfocitos), por lo tanto, la lesión de la célula madre hematopoyética es la causa primaria de muerte después de exposición accidental a dosis altas o moderadas de radiación ^(7,12). Muchos estudios han mostrado que la RI, incluso a dosis sub-letales puede causar una fuerte disminución en células de la médula ósea y depleción de la función inmune, adicionalmente la exposición a rayos gamma puede causar daño directo de las células sanguíneas maduras, influenciando su estructura y función ⁽¹³⁾. Meder y Michalowski dilucidaron que la exposición de la médula ósea a dosis de radiación superiores a 2 Gy puede provocar la muerte como resultado de una reducción de la hematopoyesis, pero otros estudios han mostrado que la radiación ionizante, incluso a dosis sub-letales pueden causar una fuerte disminución en células de la médula ósea y depleción de la función inmune ⁽¹⁴⁾.

Los mecanismos por los cuales la RI inducen daño a la célula hematopoyética y lesión de la médula ósea son: inducción de apoptosis celular, inducción de daños durante diferenciación e inducción de senescencia, además existen estudios que han evaluado los efectos agudos de la radiación, incluso a dosis que se encuentran dentro de los límites establecidos durante reparos endovasculares de aorta, realizados en sala de hemodinamia. Para esto, se realizaron mediciones de moléculas que han sido identificadas como marcadores de daño agudo inducido por radiación (γ -H2AX y pATM) encontrando que están elevadas en los médicos intervencionistas que realizan este

procedimiento pese a utilizar los elementos de protección personal estandarizados ^(7,15). La comisión internacional de protección radiológica (ICRP) recomienda una dosis máxima efectiva de exposición ocupacional a rayos X de 20 mSv/año cuando se promedia un periodo de 5 años, o 100mSv en 5 años ⁽¹⁵⁾. La información encontrada en cuanto al desarrollo de neoplasias hematológicas por exposición crónica a dosis que se encuentran dentro de estos rangos es heterogénea ⁽⁶⁾.

El uso de RI es común en ambientes hospitalarios. Las áreas de radiología, medicina nuclear, tomografía por emisión de positrones, radioterapia y las salas de hemodinamia han sido identificadas como áreas críticas por la exposición elevada que se genera en ellas ⁽¹⁶⁾. El número de procedimientos de radiología intervencionista (especialmente de cardiología) ha incrementado durante los últimos años, así como el número de profesionales que participa en estos como técnicos y enfermeras ^(5,17).

La protección contra radiación ionizante es uno de los aspectos más importantes en seguridad dentro de esta área, múltiples estudios han demostrado que los cardiólogos intervencionistas, tienen las más altas tasas de exposición a rayos X entre todos los profesionales que realizan intervenciones, así como también se ha descrito una exposición importante entre los demás miembros de la sala de angiografía (personal de enfermería, técnicos de rayos X) ^(10,14).

Las dosis pueden estar dentro de los límites establecidos, sin embargo las partes del cuerpo no cubiertas están expuestas de forma significativa a radiación dispersa, al ser altamente expuestos se han registrado alteraciones hematopoyéticas secundarias a radiación ionizante en personal de la salud del área de cardiología intervencionista y existe evidencia de un riesgo incrementado de malignidad hematológica por exposición a RI, incluso La IARC tiene pruebas sólidas de que la exposición a radiación ionizante aumenta el riesgo de desarrollar leucemia y linfoma de Hodking ^(13,18,19).

En varios estudios se soporta el tema de la RI y aunque la evidencia encontrada es heterogénea y no se alcanza a establecer una correlación con la dosis, esto puede ser posiblemente por los largos periodos de latencia y ocurrencia de estas patologías, pero, existe un riesgo de desarrollo de este tipo de neoplasias que no se puede menospreciar ^(15,16,17).

El objetivo de esta revisión es determinar las alteraciones hematológicas malignas relacionadas con la exposición a radiación ionizante en el personal intervencionista en la sala de hemodinamia y establecer si existe alguna dosis que favorezca la ocurrencia de este tipo de malignidades identificando el periodo de latencia de estas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se llevó a cabo una revisión sistemática de la literatura, para lo cual se realizó la búsqueda en Medline (a través de PubMed), EBSCO y Science Direct. El periodo de tiempo en el cual se publicaron los artículos que se utilizaron comprende un periodo de 9 años: 2009-2018.

La búsqueda sistemática se realizó con artículos de revisión y de casos y controles. No se incluyeron reportes de caso. Se buscó bibliografía en inglés pues no se dispone en el momento de suficientes estudios ni información en español.

Los términos para la búsqueda fueron: [("Fluoroscopy" OR "Catheterization Laboratory" OR "Cardiac imaging") AND "ionizing radiation" AND ("occupational exposure" OR "exposed physicians")]

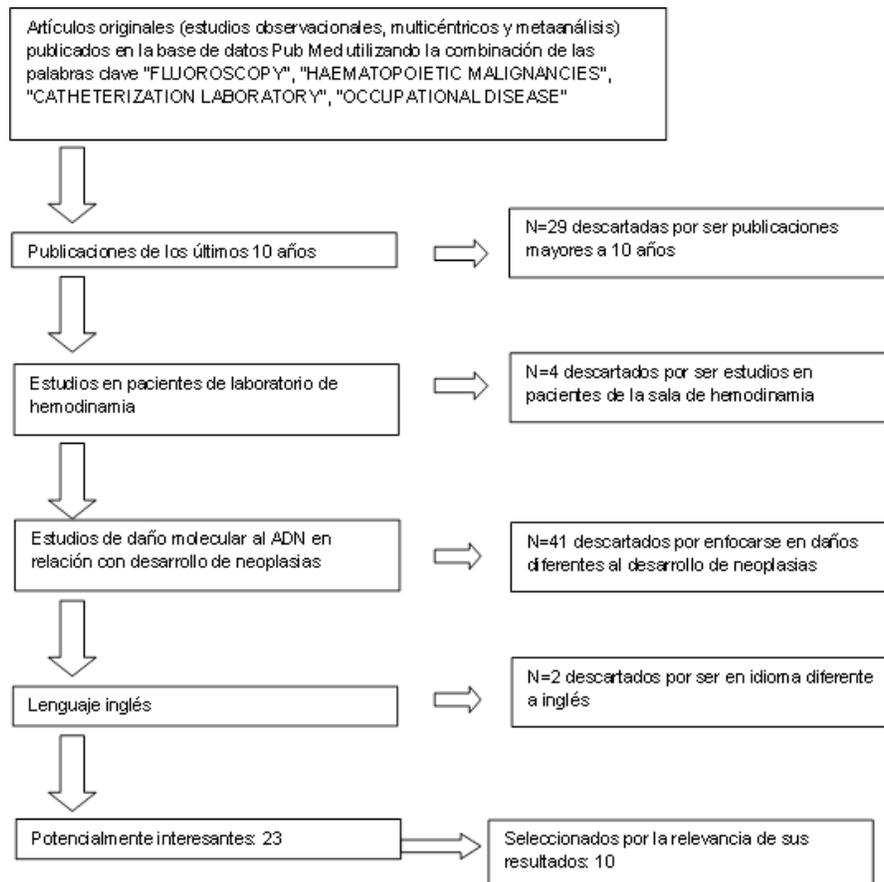
Tres tipos de artículos fueron considerados elegibles para inclusión:

1. Estudios que evalúan el riesgo de cáncer hematológico relacionado con exposición a dosis bajas de radiación

2. Estudios de efectos de exposición ocupacional a dosis bajas en personal que trabaja en salas de hemodinamia
 3. Estudios moleculares que expliquen la carcinogénesis inducida por radiación
- Se realizó la calificación de la calidad de los artículos mediante las estrategias PRISMA y STROBE, encontrando que todos ellos cumplen con al menos el 70% de los criterios de calidad definidos.

El procedimiento para la selección de los artículos se muestra en la figura 1.

Figura 1. Procedimiento para la selección de los artículos incluidos en la revisión



Aspectos éticos: Para esta revisión, se tomaron en cuenta las “Normas científicas, técnicas y administrativas para la investigación en salud”, establecidas en la resolución No. 008430 de 1993 del Ministerio de Salud, así como la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial, en donde se explican los principios éticos para las investigaciones médicas en seres humanos. Las revisiones sistemáticas de información se clasifican como sin riesgo, ya que no se aborda información directa de los individuos. No se identifican conflictos de interés entre los autores

RESULTADOS

Para el análisis de los artículos, se decidió agrupar la información entre estudios moleculares de daños celulares inducidos por RI, artículos que mencionen dosis en la población diana y efectos a nivel del sistema hematológico por exposición ocupacional a RI.

La existencia de factores clastogénicos en sujetos humanos expuestos a la radiación se ha descrito en numerosos estudios, revisados por Lindholm et al. La inestabilidad cromosómica inducida por radiación ha sido observada in vivo e in vitro en células hematopoyéticas de humanos y ratones y se encuentra en relación con desarrollo de neoplasias, así como la inflamación crónica producida por alteraciones en células T y B del sistema inmune. El tejido hematopoyético se reporta como el más radiosensible del cuerpo humano, sin embargo, se especifica que los efectos por exposición a menos de 500 mSv no están bien establecidos ^(7,9).

Se encontraron otros estudios como los realizados por Zakeri et. al-2010; El Sayed 2017; Venner 2009, en los que se evidencia un riesgo incremental para los radiólogos o cardiólogos intervencionistas por las altas dosis que reciben. Sin embargo, el estudio en el que se encuentra mayor información es el de Zakeri, en el cual reportan una frecuencia de aberraciones cromosómicas significativamente más altas en cardiología intervencionista al compararse con cardiólogos clínicos con dosis de exposición a dosis entre 8.14+/-7.81 mSv/año y 30.5+/-24.3 durante los últimos 5 años. En otros estudios como el de Piotrowski et al, se soporta el tema de la RI, pero no se llega a lograr una correlación con la dosis. Lo anterior puede ser explicado por los largos periodos de latencia y ocurrencia (de incluso más de 20 años) que tienen estas patologías y la mejora en los procesos de protección radiológica que han llevado a una reducción importante de los niveles de exposición ^(15,16,17,).

La información anterior, es muy importante al correlacionarse con las dosis reportadas, descritas en la tabla 1, en la cual se mencionan los diferentes tipos de leucemias calificadas como ocupacionales por exposición a RI con sus respectivas dosis acumulativas, pues según el estudio de Zakeri et al, los cardiólogos intervencionistas pueden llegar a superar estas dosis en toda su vida laboral, sin embargo, la evidencia es mixta: se encontraron 5 artículos que no logran establecer una relación causal con dosis bajas de exposición ^(8,9,15,18,20,21).

Según el estudio de Eun- a Kin La probabilidad de causalidad (PC) es una forma razonable de estimar las relaciones causales en el cáncer relacionado con la radiación. ⁽²²⁾ lo que se puede considerar útil para buscar la asociación entre la exposición a RI y la malignidad hematológica-

Tabla 1. Descripción de los estudios incluidos en la revisión

REFERENCIA	TIPO DE ESTUDIO	NIVEL DE EXPOSICIÓN	NUMERO DE EXPUESTOS	APORTES AL TRABAJO	VARIABLES REPORTADAS
Shao, L et al (Estados Unidos, 2014)	Revisión Sistemática	<i>Dosis: Exposición aguda a menos de 1 Gy puede causar anomalías hematológicas</i>	N/Aa	El tejido hematopoyético es el más radiosensible y el que muestra afectación más temprana al exposición a RI	Efecto deletéreo sobre el ADN por exposición a RI/ alteraciones en el sistema hematopoyético inducidas por RI
<i>Hematopoietic stem cell injury induced by ionizing radiation. Antioxidants & redox signaling</i>					
Rybkina, V et al (Rusia, 2014)	Casos y controles	<i>Dosis: se distribuyen entre 500 a 3000 mSv de irradiación externa por rayos gamma e interna por radiación alfa de 7000 a 5100 mSv</i>	77 trabajadores expuestos ocupacionalmente vs un grupo de controles de 43 individuos que les correspondan en edad y sexo sin historia de exposición ocupacional	Hallazgo de alteraciones en células T y B del sistema inmune, que pueden causar inflamación crónica y parcialmente contribuir a desarrollo de malignidades	Exposición ocupacional a RI
<i>Expression of blood serum proteins and lymphocyte differentiation clusters after chronic occupational exposure to ionizing radiation</i>					
Piotrowsk, I et al (Polonia 2017)	Revisión sistemática	<i>Dosis: Los efectos de exposición a 500 mSv a largo plazo han demostrado asociación con cáncer. Los efectos por debajo de 500 mSv aún no están bien definidos</i>	N/A	Se sospecha que la inducción de inestabilidad genómica desempeña un papel importante en la transformación maligna después de altas dosis de irradiación, y podría ser responsable de la carcinogénesis después de la exposición a dosis más bajas	Efecto deletéreo sobre el ADN por exposición a RI
<i>Carcinogenesis induced by low-dose radiation</i>					
Kadhim, M (Estados Unidos, 2012)	Revisión sistemática		N/A	La inestabilidad cromosómica inducida por radiación ha sido observada in vivo e in vitro en células hematopoyéticas de humanos y ratones. Sin	Efecto deletéreo sobre el ADN por exposición a RI

<p><i>Non-targeted effects of ionising radiation—implications for low dose risk</i></p>				<p>embargo, se han encontrado inconsistencias en los resultados de estos estudios, pues algunos muestran que post irradiación la inestabilidad genómica no es expresada universalmente en células de mamíferos y que su expresión depende del genotipo de la célula irradiada con considerable variación inter individual. Estos factores indican una necesidad de tener precaución al tomar conclusiones generalizadas de datos limitados de estudios individuales.</p>	
<p>El Sayed, P et al (Reino Unido, 2017)</p>	<p>Cohorte</p>	<p>Dosis; de exposición a RI es la más alta en los técnicos de radiología con dosis promedio al año de 0,85 a 1,21 msv en los últimos años (2010 - 2015)</p>	<p>Cohorte de 6 operadores que realizan reparos endovasculares de aorta con uso de fluoroscopia</p>	<p>Los niveles de los biomarcadores de daño agudo al ADN y-H2AX y pATM aumentan significativamente en operadores inmediatamente después de reparo aórtico.</p>	<p>Exposición ocupacional a RI/ Efectos deletéreos de RI sobre el ADN</p>
<p><i>Radiation-Induced DNA Damage in Operators Performing Endovascular Aortic Repair</i></p>					
<p>Zakeri P, et al (Irán, 2010)</p>	<p>Casos y Controles</p>	<p><u>Dosis:</u> Ninguno de los interencionistas del estudio superó las dosis establecidas por la ICRP, en promedio se expusieron a 8.14+/-7.81 mSv/año y 30.5+/-24.3 durante los últimos 5 años</p>	<p>37 cardiólogos interencionistas y 37 cardiólogos clínicos que los corresponden en edad y sexo</p>	<p>Las frecuencias de aberraciones cromosómicas fueron significativamente más altas en cardiología interencionista comparados a los clínicos.</p>	<p>Exposición ocupacional a RI/ Efectos deletéreos de RI sobre el ADN</p>
<p><i>Biological effects of low-dose ionizing radiation exposure on interventional cardiologists</i></p>					
<p>Venneri L, et al (Italia, 2009)</p>	<p>Cohorte</p>	<p><u>Dosis:</u> efectiva mayor a 2 mSv</p>	<p>Se seleccionaron lecturas dosimétricas de 7 mujeres y 19 hombres entre 46 ± 9 años trabajadores del laboratorio de hemodinamia</p>	<p>La exposición acumulativa está asociada con un riesgo de cáncer que no se puede menospreciar en el personal más expuesto en el laboratorio de cateterismos</p>	<p>Riesgo de neoplasias inducidas por RI</p>
<p><i>Cancer risk from professional exposure in staff working in cardiac catheterization laboratory: insights from the National Research Council's Biological Effects of Ionizing Radiation VII Report</i></p>					

<i>Patel, A et al (Londres,2013)</i>	Prospectivo	<u>Dosis:</u> Hay mayor exposición a radiación en los casos de corrección de aneurismas torácicos con dosis de 0.421 mSv comparado con los procedimientos infra renales que fue 0.05 mSv	Se evaluaron 26 casos de reparo endovascular infra renal y 10 casos de reparo torácico, se utilizaron los dosímetros para medir de forma prospectiva la dosis de exposición durante estos procedimientos	Es mandatorio que el personal médico de sala ejecute medidas para minimizar la exposición a RI	Exposición ocupacional a RI
<i>Occupational radiation exposure during endovascular aortic procedures</i>					
<i>Linet, M et al (Estados Unidos,2010)</i>	Revisión Sistemática	<u>Dosis:</u> encontradas en el personal de la sala 0.02-38 μ Sv para cateterismo diagnóstico, 0.3-17.4 μ Sv para implante de marcapasos o cardiodesfibriladores 0.2-9.6 μ Sv para ablaciones	Los casos revisados son de trabajadores del área de la salud expuestos a radiación ionizante	Estudios epidemiológicos de trabajadores médicos expuestos a RI han reportado exceso de riesgo de leucemia y otros cánceres como de piel y de seno	Exposición ocupacional a RI/ Riesgos de neoplasias inducidas por RI.
<i>Historical review of occupational exposures and cancer risk in medical radiation workers.</i>					
<i>Sonwong S, et al (Korea, 2018)</i>	Revisión Sistemática	N/A	Trabajadores con exposición ocupacional a RI	La RI es un agente carginogénico del grupo 1 según la IARC. La cuantificación de la dosis exacta de exposición en ocasiones es compleja por lo cual existe un grado de desconocimiento en los criterios de reconocimiento. Los periodos de latencia y ocurrencia del desarrollo de leucemias son prolongados (entre 10-22 años aprox)	Riesgo de desarrollo de neoplasias por exposición a RI
<i>Songwon Seo, et al- Radiation related occupational cancer and its recognition criteria in South Korea</i>					

En la tabla 2 se muestra la relación dosis – periodo de latencia con el desarrollo de diferentes tipos de leucemia.

Tabla 2. Relación dosis – Periodo de latencia con el desarrollo de diferentes tipos de leucemia Songwon Seo, et al- Radiation related occupational cancer and its recognition criteria in South Korea

Enfermedad	Duración de exposición en años	Dosis acumulada (mSv)	Periodo de Latencia
Leucemia Mieloide Aguda	11	16.5	11
Leucemia mielomonocítica crónica	13	34.7	13
Linfoma anaplásico de células grandes	6	265	9
Leucemia mieloide crónica	22	204	22
Leucemia linfocítica aguda	10 años y un mes	51	10 años y un mes
Leucemia mieloblástica aguda	2 meses	7.2	15 años
Leucemia linfocítica aguda	9 meses	8.3	10 años

DISCUSIÓN

La radiación ionizante es un agente carcinogénico reconocido del grupo 1 por la IARC ⁽¹⁾. El tejido hematopoyético ha sido reconocido como el más radiosensible del cuerpo y el que primero se afecta con exposición aguda a radiación ionizante⁽⁷⁾. El personal de la sala de hemodinamia se encuentra en alto riesgo ocupacional por las altas dosis a las que se exponen en los procedimientos que realizan que han crecido a través del tiempo en número, duración y complejidad ⁽¹⁵⁾.

En la literatura revisada se describen hallazgos por exposición a RI como los siguientes: inestabilidad genómica, inducción de apoptosis celular, inducción de daños durante diferenciación e inducción de senescencia ⁽²¹⁾..

A pesar de esto, si existe evidencia de otro tipo de efectos como elevación de biomarcadores de daño agudo a nivel del ADN (γ-H2AX y pATM) en cirujanos vasculares que realizan procedimientos en salas con uso de fluoroscopia inmediatamente después de los mismos, siendo este el único estudio en esta revisión que trata los efectos agudos de la exposición a bajas dosis ⁽¹⁵⁾, de igual forma el estudio de casos y controles realizado por Zakeri et. Al, evidencia mayor frecuencia de presentación de aberraciones cromosómicas en cardiólogos intervencionistas en comparación con cardiólogos clínicos ⁽¹⁶⁾. Así como también se encontró una relación directamente proporcional entre la presencia de micronúcleos (marcadores de daño cromosómico) y el número de años que

llevaban de exposición en el laboratorio de hemodinamia y Existen reportes de casos iniciales en un periodo comprendido entre 1911-1963 que exponen el riesgo de malignidad hematológica en radiología: ocurrencia incrementada de leucemia en técnicos de radiología, mayor proporción de mortalidad de leucemia en radiólogos e incluso un estudio de casos y controles que evidencia exceso de mortalidad por leucemia y mieloma múltiple en radiólogos comparados con la población general^(3,6) ..

El estudio realizado por Zakeri et. Al, permite establecer que los cardiólogos intervencionistas pueden exponerse a dosis más altas que las establecidas por la ICRP (Comisión Internacional de Protección radiológica) ⁽¹⁶⁾, que sobrepasan incluso las dosis de exposición de trabajadores de otras áreas que desarrollaron diferentes tipos de leucemias⁽¹⁾, esto nos permite inferir que si bien, la información es heterogénea y débil a favor del desarrollo de estas patologías por exposición crónica a dosis bajas de RI y así no se haya encontrado una correlación entre una dosis específica para el desarrollo de esta patología ^(6,8,9), si se sabe que la población diana de esta revisión, se encuentra en un riesgo alto para lesiones inducidas por RI, pues las dosis recibidas en los procedimientos guiados por fluoroscopia son altos ⁽²³⁾ , y que aunque la dosis de radiación efectiva total del cuerpo para el personal operativo durante los procedimientos se encuentre dentro de los límites de seguridad, existen partes del cuerpo no cubiertas que reciben dosis de radiación dispersa⁽¹³⁾, por tanto, no se puede menospreciar el riesgo de desarrollo de este tipo de neoplasias en el personal de la sala ⁽¹⁷⁾.

CONCLUSIONES:

La radiación ionizante tiene múltiples formas de dañar el ADN, incluso de forma aguda, con exposición a dosis bajas, estos daños, considerados efectos clastogénicos, es decir, con potencial para producir mutaciones, pueden traducirse más adelante en enfermedad. Sin embargo, dentro de los artículos revisados, no se encontró evidencia de una dosis específica que con exposición crónica a dosis bajas de RI pueda contribuir al desarrollo de neoplasias hematológicas. Es claro que el grupo que desarrolla procedimientos en salas de hemodinamia guiados por fluoroscopia (cardiólogos intervencionistas, electrofisiólogos, cirujanos vasculares, neuroradiólogos) está en alto riesgo por las altas dosis a las que se exponen en virtud de su trabajo y pueden incluso alcanzar las dosis que han sido descritas en trabajadores que han sido diagnosticados con la patología. Dado que, se sabe que el tejido hematopoyético es el más radiosensible del cuerpo y que está establecido el potencial carcinogénico de la RI, es importante primero: monitorizar de manera constante su comportamiento en estos trabajadores y segundo, realizar más estudios prospectivos de gran tamaño que nos permitan establecer una posible relación de causalidad, así como relación dosis respuesta para conocer el riesgo real en esta población. Es fundamental, socializar esta información con el personal que trabaja dentro del laboratorio de hemodinamia, pues desafortunadamente en algunos casos no conocen a cabalidad los riesgos ocupacionales por exposición a RI. Las instituciones deben implementar protocolos para minimizar la exposición a radiación ionizante para cada procedimiento, así como el correcto uso de elementos de protección personal y el entrenamiento del personal médico para la realización de los mismos y de esa forma utilizar la dosis más baja de RI posible para cada caso.

BIBLIOGRAFÍA

1. Seo, S., Lee, D., Seong, K. M., Park, S., Kim, S. G., Won, J. U., & Jin, Y. W. (2018). Radiation-related occupational cancer and its recognition criteria in South Korea. *Annals of occupational and environmental medicine*, 30(1), 9.
2. Kumar, G., & Rab, S. T. (2016). Radiation safety for the interventional cardiologist—a practical approach to protecting ourselves from the dangers of ionizing radiation. *ACC Expert Analysis*.
3. Abd El-Azime, A. S., Hussein, E. M., & Ashry, O. M. (2014). Synergistic effect of aqueous purslane (*Portulaca oleracea* L.) extract and fish oil on radiation-induced damage in rats. *International journal of radiation biology*, 90(12), 1184-1190.
4. Lee, S. Y., Jeong, E. K., Ju, M. K., Jeon, H. M., Kim, M. Y., Kim, C. H., ... & Kang, H. S. (2017). Induction of metastasis, cancer stem cell phenotype, and oncogenic metabolism in cancer cells by ionizing radiation. *Molecular cancer*, 16(1), 10
5. Natarajan, M. K., Paul, N., Mercuri, M., Waller, E. J., Leipsic, J., Traboulsi, M., ...&Brydie, A. (2013). Canadian Cardiovascular Society position statement on radiation exposure from cardiac imaging and interventional procedures. *Canadian Journal of Cardiology*, 29(11), 1361-1368.
6. Linet, M. S., Kim, K. P., Miller, D. L., Kleinerman, R. A., Simon, S. L., & de Gonzalez, A. B. (2010). Historical review of occupational exposures and cancer risks in medical radiation workers. *Radiation research*, 174(6b), 793-808.
7. Shao, L., Luo, Y., & Zhou, D. (2014). Hematopoietic stem cell injury induced by ionizing radiation. *Antioxidants & redox signaling*, 20(9), 1447-1462.
8. Piotrowski, I., Kulcenty, K., Suchorska, W. M., Skrobała, A., Skórska, M., Kruszyna-Mochalska, M., ... & Malicki, J. (2017). Carcinogenesis induced by low-dose radiation. *Radiology and oncology*, 51(4), 369-377.
9. Kadhim, M., Salomaa, S., Wright, E., Hildebrandt, G., Belyakov, O. V., Prise, K. M., & Little, M. P. (2013). Non-targeted effects of ionising radiation—implications for low dose risk. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research*, 752(2), 84-98.
10. Kara, Ü., & Akkurt, I. (2016). Radiation Exposure of Medical Staff in Interventional Radiology. *Acta Physica Polonica A*, 130(1), 404-406.
11. Lin, C. M., & Mao, I. F. (2004). Potential adverse health effects of low-level ionizing radiation exposure in a hospital setting. *Archives of Environmental Health: An International Journal*, 59(7), 342-347.
12. Rybkina, V. L., Azizova, T. V., Scherthan, H., Meineke, V., Doerr, H., Adamova, G. V., ... & Zurochka, A. V. (2014). Expression of blood serum proteins and lymphocyte differentiation clusters after chronic occupational exposure to ionizing radiation. *Radiation and environmental biophysics*, 53(4), 659-670.
13. Patel, A. P., Gallacher, D., Dourado, R., Lyons, O., Smith, A., Zayed, H., ... & Taylor, P. (2013). Occupational radiation exposure during endovascular aortic procedures. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, 46(4), 424-430.
14. Elwan, A. M., Salama, A. A., Sayed, A. M., Ghoneim, A. M., Assaied, A. A., Ibrahim, F. A., ... & Elnasharty, M. M. (2018). Response of rats to dose rates of ionizing radiation evaluated by dielectric properties of bone marrow. *Progress in biophysics and molecular biology*
15. El-Sayed, T., Patel, A. S., Cho, J. S., Kelly, J. A., Ludwinski, F. E., Saha, P., ... & Gkoutzios, P. (2017). Radiation-induced DNA damage in operators performing endovascular aortic repair. *Circulation*, 136(25), 2406-2416.
16. Zakeri, F., Hirobe, T., & Akbari Noghabi, K. (2010). Biological effects of low-dose ionizing radiation exposure on interventional cardiologists. *Occupational medicine*, 60(6), 464-469.
17. Venneri, L., Rossi, F., Botto, N., Andreassi, M. G., Salcone, N., Emad, A., ... & Picano,

- E. (2009). Cancer risk from professional exposure in staff working in cardiac catheterization laboratory: insights from the National Research Council's Biological Effects of Ionizing Radiation VII Report. *American heart journal*, 157(1), 118-124.
18. Gluzman DF, Sklyarenko LM, Zavelevich MP, Koval SV, Ivanivska TS, Rodionova NK. Overview on association of different types of leukemias with radiation exposure. *Experimental oncology*. 2015(37,№ 2):89-93.
19. Kim, E. A., Lee, W. J., Son, M., & Kang, S. K. (2010). Occupational lymphohematopoietic cancer in Korea. *Journal of Korean medical science*, 25(Suppl), S99-S104.
20. Ko, S., Kang, S., Ha, M., Kim, J., Jun, J. K., Kong, K. A., & Lee, W. J. (2018). Health effects from occupational radiation exposure among fluoroscopy-guided interventional medical workers: a systematic review. *Journal of Vascular and Interventional Radiology*.
21. Stahl, C. M., Meisinger, Q. C., Andre, M. P., Kinney, T. B., & Newton, I. G. (2016). Radiation risk to the fluoroscopy operator and staff. *American Journal of Roentgenology*, 207(4), 737-744.
22. Kim, E. A., Lee, E., Kang, S. K., & Jeong, M. (2018). Probability of causation for occupational cancer after exposure to ionizing radiation. *Annals of occupational and environmental medicine*, 30(1), 3.
23. Ko, S., Chung, H. H., Cho, S. B., Jin, Y. W., Kim, K. P., Ha, M., ... Lee, W. J. (2017). Occupational radiation exposure and its health effects on interventional medical workers: study protocol for a prospective cohort study. *BMJ Open*, 7(12), e018333. doi:10.1136/bmjopen-2017-018333