Lee y cols. Cáncer BMC (2018) 18:1206
https://doi.org/10.1186/s12885-018-5107-x

BMC Cancer

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN Acceso abierto

Riesgos proyectados de cáncer de por vida debido a la exposición a la radiación ocupacional entre los trabajadores de radiación médica de diagnóstico en Corea del Sur

Won Jin Lee1*, Yeongchull Choi2, Seulki Ko1, Eun Shil Cha1, Jaeyoung Kim3, Joven Min Kim4, Kyoung Ae Kong5, Songwon Seo6, Ye Jin Bang1 y Yae Won Ha1

Abstracto

Antecedentes: La evaluación oportuna del riesgo de cáncer debido a la exposición actual a la radiación entre los trabajadores médicos puede contribuir al desarrollo de estrategias para prevenir la exposición excesiva a la radiación ocupacional. El propósito del presente estudio es estimar el riesgo de por vida de cánceres inducidos por la exposición a la radiación ocupacional entre los trabajadores médicos a la radiación.

Métodos: Utilizando dosis estimadas en órganos y la herramienta de evaluación de riesgos RadRAT, se estimó el riesgo de cáncer a lo largo de la vida entre los trabajadores médicos inscritos en radiación en el Registro Nacional de Dosis de Corea de 1996 a 2011. Se utilizaron dosis medianas para estimar el riesgo debido a la distribución sesgada. de dosis de radiación. Se crearon escenarios de exposición realistas y representativos en la población de estudio basados en el sexo, el año de inicio del trabajo y el grupo ocupacional para calcular el riesgo atribuible de por vida (LAR) y el riesgo fraccional de por vida (LFR).

Resultados: El riesgo medio estimado de cáncer a lo largo de la vida por exposición a la radiación ocupacional varió significativamente según el sexo y el grupo ocupacional. El LAR más alto se observó en tecnólogos radiológicos hombres y mujeres que comenzaron a trabajar en 1991 (264,4/100.000 y 391,2/100.000, respectivamente). Las trabajadoras tenían un mayor riesgo de sufrir un exceso de cáncer relacionado con la radiación, aunque estaban expuestas a dosis de radiación más bajas que los trabajadores varones. El LAR más alto entre las mujeres se atribuyó principalmente al exceso de riesgos de cáncer de mama y de tiroides. Los LAR entre los hombres fueron más altos que los de las mujeres en la mayoría de los otros sitios de cáncer. Con respecto a los sitios de los órganos, el LAR del cáncer de colon (44,3/100.000) fue el más alto entre los tecnólogos radiológicos masculinos, mientras que el LAR del cáncer de tiroides (222,0/100.000) fue el más alto entre las tecnólogas radiológicas femeninas entre los trabajadores que comenzaron la práctica radiológica en 1991.
Los cánceres de tiroides y vejiga tuvieron la LFR más alta entre los tecnólogos radiológicos.

Conclusiones: Nuestros hallazgos proporcionan una evaluación del riesgo potencial de cáncer por exposición a la radiación ocupacional entre los trabajadores de la radiación médica, basado en el conocimiento actual sobre el riesgo de radiación. Aunque el riesgo relacionado con la radiación era pequeño en la mayoría de los casos, variaba mucho según el sexo y el grupo ocupacional, y el riesgo se subestimaría debido al uso de dosis medianas, en lugar de medias. Por lo tanto, es necesario un seguimiento cuidadoso para optimizar las dosis de radiación y proteger a los trabajadores médicos radiológicos de posibles riesgos para la salud, en particular a las tecnólogas radiológicas.

Palabras clave: Trabajadores de radiación médica, Neoplasias, Exposición a la radiación, Evaluación de riesgos

* Correspondencia: leewj@korea.ac.kr 1
Departamento de Medicina Preventiva, Facultad de Medicina de la Universidad de Corea, 73, Inchon-ro, Seongbuk-gu, Seúl 02841, Corea del Sur
La lista completa de información del autor está disponible al final del artículo.

© El autor(es). Acceso abierto 2018 Este artículo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional Creative Commons Attribution 4.0 (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), que permite el uso, distribución y reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que usted dé el crédito apropiado a los autores originales y a la fuente, proporcione un enlace a la licencia Creative Commons e indique si se realizaron cambios. La exención de dedicación de dominio público de Creative Commons (http://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/) se aplica a los datos disponibles en este artículo, a menos que se indique lo contrario.

Machine Translated by Google

Fondo

Los trabajadores de radiaciones médicas representan el grupo más grande de trabajadores que están ocupacionalmente expuestos a la radiación, y su número está aumentando rápidamente en todo el mundo [1]. Estos Los trabajadores constituyen una población bien definida y con certificado de cualificación profesional, e incluyen una gran proporción de trabajadoras en comparación con otras ocupaciones; esto aumenta la importancia de investigar la exposición a la radiación y los efectos sobre la salud específicos del sexo. Aunque el Los niveles de exposición a la radiación en los trabajadores de la radiación médica son Por lo general baja, estos trabajadores incluyen subgrupos de alta exposición, como los que realizan trabajos guiados por fluoroscopia. procedimientos, y con exposiciones crónicas a largo plazo a bajas tasas de dosis, que pueden corresponder al tipo de exposición en la población general. Teniendo en cuenta estas características, una Hasta la fecha se han realizado pocos estudios de cohortes entre trabajadores médicos que utilizan radiaciones [2, 3]. Epidemiológicos previos Los estudios informaron un aumento en el riesgo de cáncer entre trabajadores empleados en los primeros años (por ejemplo, década de 1950), lo que indica la necesidad de evaluar el riesgo de cáncer de por vida en la radiación médica trabajadores en función de los niveles actuales de exposición a la radiación [3]. Además, la información sobre el potencial cáncer a largo plazo El riesgo de considerar los niveles de exposición actuales es útil para optimizar los procedimientos de trabajo y desarrollar estrategias para prevenir Exposición excesiva a la radiación ocupacional.

Los métodos de proyección de riesgo pueden estimar el exceso de riesgo de cáncer por exposición a la radiación en poblaciones [1, 4, 5]. Estos métodos se han implementado para evaluar el cáncer. riesgo de radiación médica [6–8], lluvia radiactiva de pruebas de armas nucleares [9], exposición al radón [10], accidentes de Chernobyl [11] y Fukushima [12]. Sin embargo, hasta la fecha, sólo unos pocos estudios han demostrado que los trabajadores médicos expuestos a radiaciones Riesgo atribuible a lo largo de la vida (LAR) estimado de exposición en cardiólogos en Italia [13] y cirujanos vasculares y enfermeras instrumentistas en Corea [14]. Además, estos Las evaluaciones se basaron en la simple aplicación de dosis de radiación a tablas resumen en Biological Effects of Informe sobre Radiación Ionizante VII (BEIR VII) [15]. Sin embargo, otros factores como la susceptibilidad de los órganos a la radiación, el sexo, la edad en el momento de la exposición y las tasas de incidencia iniciales disminuyeron significativamente afectan el riesgo de desarrollar cánceres relacionados con la radiación.

El número de trabajadores médicos sometidos a radiaciones aumentó significativamente en Corea del Sur, de 12.652 en 1996 a 80.115. en 2016 [16]. Se llevó a cabo una reconstrucción histórica de dosis y se estimaron dosis de radiación específicas de órganos. para todos los trabajadores de radiación médica de diagnóstico que estaban inscritos en el Registro Nacional de Dosimetría (NDR) de 1996 a 2011 como parte del estudio de cohorte de vinculación de registros [17]. Uso de estas dosis específicas de órganos para estimar el cáncer El riesgo podría proporcionar información valiosa sobre la carga del cáncer. de los niveles actuales de exposición a la radiación ocupacional entre los trabajadores de la radiación médica. Este enfoque es particularmente beneficioso cuando el seguimiento de las cohortes es corto. y los miembros de la cohorte son relativamente jóvenes.

Por lo tanto, el propósito de este estudio fue estimar el riesgo de cáncer de por vida debido a la exposición a la radiación ocupacional y determinar las diferencias en el riesgo de cáncer por sexo y grupo ocupacional entre los radiólogos médicos coreanos. trabajadores. Teniendo en cuenta el rápido aumento del número de los trabajadores de la radiación médica y las prácticas de radiación médica en todo el mundo, estos hallazgos ayudarán a proporcionar una respuesta oportuna. Evaluación del riesgo de cáncer basada en los niveles actuales de exposición a la radiación e identificación de grupos prioritarios para la radiación. protección entre los trabajadores médicos radiológicos.

Métodos

Población de estudio y estimación de dosis en órganos.

La población del estudio estuvo compuesta por 94.396 trabajadores de radiodiagnóstico que se inscribieron en el NDR desde 1996. hasta 2011, incluidos radiólogos (n = 1520), otros médicos (n = 18,684), dentistas (n = 15,705), higienistas dentales (n = 13,488), tecnólogos en radiología (n = 26,356), enfermeras (n = 7561) y otros asistentes médicos (n = 11.082). El Centro de Corea para el Control y la Prevención de Enfermedades (KCDC) ha estado llevando a cabo programas de seguimiento para todos tecnólogos radiológicos (tanto convencionales como intervencionistas) involucrados en radiología de diagnóstico desde 1996. En Además, el KCDC mantiene una dosis nacional centralizada registro y opera un sistema de gestión de seguimiento de por vida para la dosis de radiación [16]. Trabajadores médicos involucrados con Los departamentos terapéuticos y de medicina nuclear están bajo la Comisión de Seguridad Nuclear y no fueron incluidos en este sistema. Información de registro incluida nombre, sexo, número de identificación personal, ocupación grupo, datos de dosis trimestrales y el inicio y el final de el período de medición. Las mediciones de dosis fueron recolectadas trimestralmente por cinco centros de monitoreo de personal designados por el KCDC utilizando un termoluminiscente personal. dosímetro. La práctica habitual es llevar dosímetros debajo de los delantales a la altura del pecho. Todos los instrumentos fueron calibrados. anualmente.

Las dosis específicas de órganos se estimaron previamente para todos trabajadores expuestos antes de 1996 [17]. Brevemente, las dosis de insignia individuales anuales y acumulativas basadas en Hp (10) (dosis a una profundidad del tejido de 10 mm desde el dosímetro) se calcularon combinando los datos trimestrales lecturas de credenciales para los trabajadores inscritos en el NDR. A las dosis trimestrales inferiores a 0,01 mSv, que es el nivel más bajo detectable de NDR, se les asignó un valor de 0,005 mSv: el punto medio entre 0,01 mSv y cero en el reconstrucción de dosis. Para trabajadores que comenzaron a trabajar con radiación antes de 1996 (n = 13.178; 14,0% del total inscritos en el NDR), las dosis de insignia históricas se reconstruyeron utilizando un modelo en el que las dosis anuales se determinado como una función log-lineal del tiempo y la edad [18]. La edad en el momento de la primera exposición se estimó para cada sexo y grupo ocupacional utilizando los hallazgos de

nuestra encuesta anterior [19] para determinar el primer año de práctica radiológica para trabajadores individuales. Entonces, órgano Las dosis se estimaron convirtiendo las dosis medidas y dosis de insignia individuales reconstruidas para cada dosis específica de órgano y multiplicadas por dos coeficientes de conversión proporcionada por la Comisión Internacional de Protección Radiológica: la dosis absorbida por el órgano por unidad de Kerma en aire libre y dosis equivalente personal por unidad de kerma en aire libre en el aire [20, 21]. La dosis del órgano Los métodos se ajustaron a la probabilidad de uso de la plataforma. y la ubicación de la placa, y una tasa de atenuación Se asumió un valor de 0,8 para el uso de un delantal de plomo para reflejar el efecto de blindaje. Los órganos y tejidos para los cuales Se estimaron dosis específicas que incluyeron la vejiga, cerebro/sistema nervioso central, mama, colon, esófago, vesícula biliar, riñón, hígado, pulmón, cavidad bucal y faringe, ovario, páncreas, próstata, estómago, recto, hueso rojo médula, tiroides y útero. El resto incluía todos cánceres sólidos distintos de estos tumores sólidos, excluidos Cáncer de piel no melanoma.

Escenarios de exposición

Para estimar escenarios de exposición realistas al cáncer. riesgo, todos los trabajadores fueron clasificados por sexo, año de inicio del empleo y Grupo ocupacional. Las dosis de radiación estimadas fueron asignado a cada grupo por año basándose en i) el valor reportado dosis de NDR para el período 1996-2011, ii) las dosis reconstruidas para el período anterior a 1996, y iii) las Dosis NDR de 2011 para el período posterior a 2011 hasta 60 años de edad basándose en el supuesto de que la radiación futura dosis fueron las mismas que en 2011. La edad de 60 años se consideraba la edad media de jubilación en Corea del Sur (https://goo.gl/dtstFk), aunque las edades de jubilación variaron ligeramente según el sector ocupacional grupo. Las dosis de radiación en los órganos tenían una distribución sesgada hacia la derecha; así fueron representados usando dos parámetros de distribución lognormal (mediana y desviaciones estándar geométricas) para incorporar la incertidumbre de la dosis. Posteriormente, la edad de primera exposición según sexo y grupo ocupacional fue imputado accediendo a datos de nuestra encuesta anterior sobre la edad promedio de inicio de la práctica radiológica por parte de los trabajadores de radiación médica de diagnóstico [19]. Tres años calendario (1991, 2001 y 2011) de inicio del ejercicio profesional fueron seleccionados para cubrir la gama completa de escenarios de exposición en esta población. Además, se analizaron 42 escenarios que combinan ambos sexos, tres años distintos de inicio del ejercicio profesional y siete Los grupos ocupacionales se construyeron utilizando NDR y datos de la Encuesta.

Predicción del riesgo de cáncer.

Se estimó el exceso de riesgo de cáncer a lo largo de la vida para cada escenario utilizando la herramienta de evaluación de riesgos RadRAT (RadRAT versión 4.1.1), que fue desarrollada en los Estados Unidos Instituto Nacional del Cáncer para estimar el riesgo de por vida de desarrollar cáncer por exposición a la radiación [22]. El El programa RadRAT fue desarrollado en base al BEIR VII modelos [15] para estimar el exceso de riesgo de cáncer debido a la exposición a la radiación incorporando los conocimientos actuales sobre los riesgos relacionados con la radiación teniendo en cuenta las incertidumbres relacionadas con los parámetros del modelo dosis-respuesta, períodos mínimos de latencia, factor de efectividad de dosis y tasa de dosis, y transporte de riesgo de una población a otra. El programa RadRAT sigue el BEIR VII supuestos aplicando una dosis incierta y factor de eficacia de tasa de dosis (DDREF) para todas las enfermedades crónicas exposiciones utilizando una distribución lognormal con una media geométrica de 1,5 con modelos de riesgo sin umbral. La información de entrada requerida por RadRAT incluye sexo, año de nacimiento, historial de exposición y parámetros específicos de la ejecución [22]. Se puede acceder gratuitamente al programa RadRAT en https://irep.nci.nih.gov/radrat y ha sido aplicado en anteriores estudios de proyección del riesgo de cáncer relacionado con la radiación [7, 23–25]. Sin embargo, hasta donde sabemos, ningún estudio hasta la fecha ha aplicó el programa RadRAT a la radiación médica trabajadores. El riesgo atribuible de por vida (LAR), la probabilidad de una incidencia prematura de cáncer atribuible a exposición a la radiación en un miembro representativo de la población (es decir, la probabilidad de que una población expuesta desarrolle un cáncer inducido por radiación durante su vida), se calculó como exceso de casos por 100.000 por sexo, grupo ocupacional y primer año de carrera profesional práctica en este programa. El riesgo base de por vida (LBR) para el cáncer, la probabilidad inicial acumulada de haber tenido cáncer a lo largo de la vida, se calculó basándose en sobre las tasas de incidencia del cáncer en Corea del Sur en 2010. riesgo fraccional de por vida (LFR): la relación entre LAR y LBR – se presentó para expresar el riesgo atribuible en relación con el riesgo inicial; LFR es más estable que LAR con respecto a las diferencias en la estructura de la población y el cáncer tasas de incidencia [26].

Los 42 escenarios de exposición se aplicaron a individuos órganos, 15 para hombres y 17 para mujeres, produciendo un total de 672 escenarios de exposición de por vida (es decir, siete grupos ocupacionales × tres años distintos de inicio de práctica profesional × 15 sitios de órganos para hombres más siete grupos ocupacionales × tres años distintos de inicio de práctica profesional × 17 sitios de órganos para mujeres). Para En cada escenario, ingresamos datos sobre sexo, año de nacimiento calculado como el primer año de trabajo menos la edad en el primer año de trabajo, y cada dosis de órgano considerada como crónica exposición en el programa RadRAT. Específico por sexo y edad Las tasas de incidencia en Corea del Sur en 2010 se utilizaron para determinar las tasas de incidencia iniciales y la función de supervivencia se basó en la población general de EE. UU. entre 2000 y 2005 en el programa RadRAT. Cáncer de por vida específico de órgano Se estimó el riesgo en cada uno de los 672 escenarios de exposición. utilizando la dosis absorbida media anual específica de cada órgano

por puesto de trabajo a la edad especificada de la primera exposición comenzando en tres años calendario separados de inicio del trabajo (1991, 2001 y 2011) y finaliza con una jubilación supuesta a los 60 años. El LAR de todos los cánceres combinados se calculó como la suma de todos los riesgos de los órganos individuales. El riesgo de leucemia se estimó excluyendo la enfermedad crónica leucemia linfocítica. El exceso de riesgo de cáncer se calculó con intervalos de incertidumbre del 90% para incorporar Se calculan las incertidumbres estadísticas y subjetivas. mediante simulaciones de Monte Carlo utilizando el programa RadRAT y el tamaño de la muestra de simulación fue 300. Un ejemplo del proceso de estimación de riesgos se puede encontrar en el archivo adicional 1: Figura S1.

Resultados

La Tabla 1 muestra la información utilizada para estimar la riesgo de cáncer a lo largo de la vida, incluido el sexo, los grupos ocupacionales, y tres años distintos de inicio de la práctica radiológica. Trabajadores femeninos y masculinos iniciaron la práctica radiológica en la edad de 21 a 29 años y de 25 a 35 años, respectivamente, demostrando que la duración total de la exposición fue mayor para las trabajadoras que para los trabajadores en todos los grupos ocupacionales, suponiendo una edad de jubilación de 60 años. Las dosis de radiación acumuladas medianas fueron mayores en trabajadores varones que entre las trabajadoras en la mayoría de los casos. Los tecnólogos radiológicos masculinos tuvieron la mediana más alta dosis cuando comenzaron a trabajar en 1991, mientras que los dentistas tenían las dosis más bajas. La disminución temporal de la Dosis de radiación acumulada media por año de inicio de trabajo variaron según el grupo ocupacional, y los tecnólogos y enfermeras en radiología tendieron a tener los niveles relativos más bajos. disminuir. La distribución de dosis fue amplia por sexo, trabajo título y años calendario.

El LAR y LFR para todos los cánceres combinados por grupo ocupacional y año de inicio de la práctica radiológica en Los trabajadores varones se resumen en la Tabla 2. Hubo variaciones considerables en el riesgo estimado de cáncer entre los grupos ocupacionales, y el LAR más alto se observó en los tecnólogos radiológicos (215,4/100.000–264,4/ 100.000) mientras que el LAR más bajo se encontró en los dentistas. A La tendencia de disminución temporal en LAR y LFR se detectó por año de inicio de la práctica profesional en todas las categorías ocupacionales y fue más prominente entre 1991 y 2001 que en 2011. La comparación de LAR con Los riesgos iniciales indicaron que los tecnólogos radiológicos tenían la LFR más alta de todos los cánceres combinados (0,43–0,52%), mientras que los dentistas tuvieron el LFR más bajo.

El patrón de riesgo de cáncer proyectado por puesto de trabajo en las trabajadoras fue similar al de los trabajadores (Tabla 3). El LAR en las trabajadoras fue, sin embargo, mayor que el que en los trabajadores varones para todos los grupos ocupacionales. Femenino tecnólogos radiológicos (322,1/100.000–391,2/100.000) y enfermeras (129,9/100.000–402,6/100.000) mostraron la Los valores de LAR más altos, mientras que los dentistas tuvieron los valores de LAR más bajos. La tendencia de disminución temporal en la vida atribuible El riesgo de cáncer era mayor en las trabajadoras que en los hombres. trabajadores, y la reducción proporcional por año de inicio de la práctica profesional fue menor en los tecnólogos radiológicos que en otros grupos. La LFR para todos los cánceres combinados en las trabajadoras fue mayor que en los hombres. trabajadores de todas las categorías ocupacionales y las diferencias en la LFR entre los grupos ocupacionales en mujeres fueron similares a los de los hombres.

Cuadro 1 Características ocupacionales de los trabajadores de radiaciones médicas de diagnóstico por grupo ocupacional y sexo

Grupo ocupacional	Sexo	Número	edad al principio exposición (significar)	Exposición duración (media, años)	Dosis de distintivos acumuladas por año de inicio del empleo (mediana, mSv)		
					1991	2001	2011
Tecnólogo radiológico	Masculino	17.278	25	36	22,86	11.72	9.18
	Femenino	9078	22	39	10,85	6,92	5.66
Radiólogo	Masculino	1057	26	35	10,99	3.15	1,93
	Femenino	463	26	35	12.33	3.22	1.38
Otro medico	Masculino	15.986	35	26	4.36	1,65	0,78
	Femenino	2698	29	32	5.21	2.48	1,60
Dentista	Masculino	12,279	25	36	3.01	1,77	1.26
	Femenino	3426	26	35	2,80	1,65	1.23
Higienista dental	Masculino	70	26	35	4.45	3.26	3.33
	Femenino	13,418	22	39	3.14	2.08	1,76
Enfermero	Masculino	424	27	34	12,68	4,89	3.74
	Femenino	7137	22	39	10.55	3.97	3.32
Otro	Masculino	6776	25	36	6.53	3.30	2,88
	Femenino	4306	21	40	4.40	2.78	2.20

Tabla 2 Riesgos de cáncer a lo largo de la vida por grupo ocupacional y año de inicio de la práctica radiológica entre hombres médicos de diagnóstico trabajadores de radiación

Grupo ocupacional	año de inicio de empleo	LAR (90% interfaz de usuario)	RFL (%) (90% interfaz de usuario)	LBR
Tecnólogo radiológico	1991	264,4 (60,6–667,3)	0,52 (0,12–1,32)	
	2001	243,4 (45,4–631,5)	0,48 (0,09–1,25)	
	2011	215,4 (38,1–569,6)	0,43 (0,08–1,13)	50.496
Radiólogo	1991	83,7 (22,9-208,3)	0,17 (0,05–0,41)	
	2001	38,2 (8,6–96,2)	0,08 (0,02–0,19)	
	2011	21,6 (5,4–54,6)	0,04 (0,01–0,11)	50.497
Otro medico	1991	35,3 (8,3–95,1)	0,07 (0,02–0,19)	
	2001	18,9 (4,2–54,6)	0,04 (0,01–0,11)	
	2011	8,8 (2,2–23,0)	0,02 (0,00–0,05)	50.381
Dentista	1991	24,1 (6,1–61,1)	0,05 (0,01–0,12)	
	2001	17,0 (3,8–42,3)	0,03 (0,01–0,08)	
	2011	10,0 (2,7–23,4)	0,02 (0,01–0,05)	50.496
Higienista dental	1991	133,0 (9,6–219,8)	0,26 (0,02–0,44)	
	2001	29,5 (7,7–73,5)	0,06 (0,02–0,15)	
	2011	28,9 (7,8–70,4)	0,06 (0,02–0,14)	50.497
Enfermero	1991	158,8 (32,7–434,0)	0,31 (0,06–0,86)	
	2001	90,3 (17,0–246,6)	0,18 (0,03–0,49)	
	2011	64,1 (12,5-177,0)	0,13 (0,02–0,35)	50.493
Otro	1991	80,8 (16,7–221,2)	0,16 (0,03–0,44)	
	2001	80,8 (16,7–221,2)	0,16 (0,03–0,44)	
	2011	39,9 (8,5–98,5)	0,08 (0,02–0,20)	50.496

Riesgo atribuible de por vida de LAR (exceso de casos por 100 000, intervalo de incertidumbre [UI] del 90 %), riesgo fraccional de por vida de LFR (%, intervalo de incertidumbre de 90), línea base de vida de LBR riesgo (casos por 100.000)

El exceso de riesgo de cáncer estimado para órganos específicos por Sexo y grupo ocupacional en el ejercicio profesional. iniciado en 1991 se muestra en la Tabla 4. El LAR de colon cáncer (44,3/100.000), cáncer de estómago (40,0/100.000), y el cáncer de pulmón (36,1/100.000) fue mayor en los hombres tecnólogos radiológicos, mientras que el LAR de tiroides cáncer (222,0/100.000) fue mayor en mujeres radiológicas tecnólogos. La LFR del cáncer de tiroides y vejiga. fue mayor en ambos hombres (2,23 y 1,01%, respectivamente) y mujeres (2,57 y 2,64%, respectivamente) que los de otros sitios.

Discusión

Este estudio presenta datos sobre los riesgos potenciales de cáncer debido a exposición a la radiación ocupacional en una población de trabajadores de radiación médica de diagnóstico basada en escenarios de exposición realistas. El riesgo estimado fue pequeño en la mayoría de los casos. pero varía según sexo y grupo ocupacional. Radiológico Los tecnólogos tuvieron el LAR más alto de cáncer seguido por enfermeras. Las trabajadoras tenían un mayor riesgo proyectado de cáncer relacionado con la radiación que los trabajadores masculinos, aunque las mujeres estuvieron expuestas a dosis de radiación más bajas que los hombres. Tanto LAR como LFR mostraron una tendencia de temporal disminución respecto al año de inicio de trabajo en todos los grupos ocupacionales. La LFR del cáncer de tiroides y vejiga fue alto para los tecnólogos radiológicos tanto hombres como mujeres. Estas proyecciones proporcionan una cuantificación del potencial riesgo de cáncer basado en los niveles actuales de exposición ocupacional a la radiación, y ayudan a identificar prioridades grupos para medidas de protección radiológica entre médicos trabajadores radiactivos.

El riesgo de cáncer proyectado en los trabajadores médicos sometidos a radiación fue inferior al estimado para el personal que trabaja en cateterismo cardíaco en Italia [13] y los cirujanos vasculares en Corea [14], aunque no se realizó una comparación directa posible debido a las diferencias en los métodos aplicados y escenarios de exposición. Una exposición a la radiación relativamente baja en nuestro grupo de estudio (es decir, la dosis efectiva media fue de 0,78 a 22,86 mSv, en contraste con 46 mSv [intercuartil rango 24–64 mSv] para el cateterismo cardíaco italiano trabajadores y 7,7 mSV entre los cirujanos vasculares coreanos) produciría un riesgo menor. El riesgo en este grupo. sería aún menor considerando la tendencia de disminución de la dosis ocupacional por año de inicio del trabajo. Sin embargo, hubo una amplia variación en el riesgo de cáncer según grupo ocupacional, y tecnólogos radiológicos y

Tabla 3 Riesgos de cáncer a lo largo de la vida por grupo ocupacional y año de inicio de la práctica radiológica entre mujeres médicas de diagnóstico trabajadores de radiación

Grupo ocupacional	año de inicio de empleo	LAR (90% interfaz de usuario)	RFL (%) (90% interfaz de usuario)	LBR
Tecnólogo radiológico	1991	391,2 (93,6–1006,8)	1,00 (0,24–2,58)	
	2001	382,6 (74,3–1078,6)	0,98 (0,19–2,77)	
	2011	322,1 (58,7–923,3)	0,83 (0,15–2,37)	38.991
Radiólogo	1991	270,5 (67,7–701,5)	0,70 (0,17–1,81)	
	2001	100,7 (19,1–273,7)	0,26 (0,05–0,71)	
	2011	41,5 (10,0–107,5)	0,11 (0,03–0,28)	38.792
Otro medico	1991	131,7 (28,7–361,8)	0,34 (0,07–0,94)	
	2001	79,7 (14,9–247,4)	0,21 (0,04–0,64)	
	2011	36,6 (8,3–95,8)	0,10 (0,02–0,25)	38.508
Dentista	1991	66,1 (14,7-174,1)	0,17 (0,04–0,45)	
	2001	48,3 (9,3–124,2)	0,12 (0,02–0,32)	
	2011	23,5 (6,0–58,8)	0,06 (0,02–0,15)	38.792
Higienista dental	1991	105,3 (24,0–277,9)	0,27 (0,06–0,71)	
	2001	80,6 (16,5–240,3)	0,21 (0,04–0,62)	
	2011	48,0 (11,9–125,2)	0,12 (0,03–0,32)	38.991
Enfermero	1991	402,6 (98,2–1090,1)	1,03 (0,25–2,80)	
	2001	222,8 (39,6–674,3)	0,57 (0,10–1,73)	
	2011	129,9 (28,1–350,3)	0,33 (0,07–0,90)	38.991
Otro	1991	198,3 (40,7–787,3)	0,51 (0,10–2,02)	
	2001	153,5 (28,2–464,3)	0,39 (0,07–1,19)	
	2011	95,1 (20,1–255,6)	0,24 (0,05–0,65)	39.028

Riesgo atribuible de por vida de LAR (exceso de casos por 100 000, intervalo de incertidumbre [UI] del 90 %), riesgo fraccional de por vida de LFR (%, intervalo de incertidumbre de 90), línea base de vida de LBR riesgo (casos por 100.000)

Las enfermeras que comenzaron a trabajar en 1991 tuvieron un porcentaje no despreciable. riesgo de cáncer, especialmente las trabajadoras. Además, Se utilizaron dosis medias anuales para estimar el riesgo. en el programa RadRAT debido a la distribución sesgada de las dosis de radiación, y el riesgo estimado sería mayor si se utilizaran dosis medias. Algo de radiación médica los trabajadores tendían a no usar dosímetros con regularidad [19], y por lo tanto sus niveles de dosis reales serían mayores que los reportados. Sin embargo, también existe la posibilidad de sobreestimación del riesgo, basada en no tener en cuenta posibles reducciones de dosis ocupacional.

Las trabajadoras mostraron consistentemente un mayor LAR de todos los cánceres relacionados con la radiación combinados para todos los grupos ocupacionales, aunque estos trabajadores estuvieron expuestos a dosis más bajas de radiación que los trabajadores varones [17, 27]. Este El resultado puede deberse a los efectos combinados de la mayor radiosensibilidad en mujeres que en hombres (es decir, cuanto mayor coeficientes de dosis de radiación en el modelo de exceso de riesgo ecuaciones), edad más temprana de la primera exposición en mujeres, y tasas de incidencia basal más altas de cáncer de tiroides en Corea del Sur [28]. Además, el cáncer de mama y de tiroides contribuyó principalmente a esta diferencia; por lo tanto, si se excluyeron ambos cánceres, se encontró que los LAR eran más altos entre los machos. Tanto la magnitud del cáncer inicial El riesgo y el nivel de dosis de radiación son importantes para una Evaluación completa del establecimiento de prioridades en materia de radiación. proteccion. Aunque el nivel de exposición a la radiación es uno de los componentes clave del grado de riesgo de cáncer, Es necesario incorporar el riesgo de fondo de desarrollar cánceres y la información sobre la exposición al evaluar los grupos prioritarios y diseñar intervenciones para ellos. trabajadores radiactivos. Estos hallazgos sugieren que el sexo es un importante determinante del riesgo de cáncer ocupacional, especialmente entre los grupos ocupacionales con una alta proporción de trabajadoras, incluida la radiación médica trabajadores.

La diferencia en el riesgo de cáncer atribuible a lo largo de la vida por grupo ocupacional puede ser atribuible a diferencias en la distribución de la edad en la primera exposición y la radiación dosis entre los grupos. En este estudio, los técnicos radiológicos y las enfermeras tenían un mayor riesgo de cáncer que otros trabajadores médicos radiólogos de ambos sexos. La edad de la primera. El empleo para tecnólogos y enfermeras radiológicos fue más joven que el de otros grupos (p. ej., la edad media era de 22 años para las tecnólogas radiológicas y enfermeras, y 26 y 29 para radiólogos y médicos,

Tabla 4 Riesgos de cáncer a lo largo de la vida en sitios seleccionados de cáncer por sexo entre los trabajadores de radiación médica de diagnóstico que comenzaron a trabajar en 1991

Sitios de órganos	Masculino		Femenino	
	LAR	RFL (%)	LAR	RFL (%)
Vejiga				
Tecnólogo radiológico	18.0	1.01	12.0	2.64
Radiólogo	5.2	0,29	7.0	1,54
Otro medico	2.6	0,15	5.1	1.11
Dentista	1.6	0,09	2.1	0,46
Higienista dental	8.1	0,45	2.8	0,62
Enfermero	10.3	0,58	9.4	2.08
Otro	5.3	0,30	5.1	1.11
Cerebro				
Tecnólogo radiológico	1.3	0,39	0,2	0,07
Radiólogo	0,4	0,13	0.1	0,04
Otro medico	0,2	0,05	0.1	0,03
Dentista	0.1	0,04	0,04	0,01
Higienista dental	0,6	0,19	0.1	0,02
Enfermero	0,8	0,25	0,2	0,06
Otro	0,4	0,12	0.1	0,03
Mama				
Tecnólogo radiológico	–	–	50,5	1.15
Radiólogo	–	–	35,7	0,82
Otro medico	–	–	18.2	0,42
Dentista	–	–	8.8	0,20
Higienista dental	–	–	13.5	0,31
Enfermero	–	–	49,8	1.14
Otro	–	–	24.6	0,56
Colon				
Tecnólogo radiológico	44.3	0,99	13.9	0,44
Radiólogo	13.3	0,30	8.4	0,27
Otro medico	6.4	0,14	5.9	0,19
Dentista	3.9	0,09	2.4	0,08
Higienista dental	23.2	0,52	3.3	0,10
Enfermero	26.6	0,59	11.2	0,35
Otro	13.1	0,29	6.0	0,19
Esófago				
Tecnólogo radiológico	6.3	0,55	0,8	0,68
Radiólogo	2.0	0,17	0,5	0,42
Otro medico	1.0	0,09	0.3	0,27
Dentista	0,6	0,05	0.1	0,12
Higienista dental	3.0	0,26	0,2	0,16
Enfermero	3.5	0,31	0,7	0,55
Otro	1.8	0,16	0.3	0,27
Riñón				
Tecnólogo radiológico	1.2	0,12	0,7	0,15

Tabla 4 Riesgos de cáncer a lo largo de la vida en sitios seleccionados de cáncer por sexo entre los trabajadores de radiación médica de diagnóstico que comenzaron a trabajar en 1991 (continuación)

Sitios de órganos	Masculino		Femenino	
	LAR	RFL (%)	LAR	RFL (%)
Radiólogo	0,4	0,03	0,4	0,09
Otro medico	0,2	0,02	0.3	0,06
Dentista	0.1	0,01	0.1	0,02
Higienista dental	0,4	0,04	0,2	0,04
Enfermero	0,7	0,06	0,6	0,12
Otro	0,4	0,03	0.3	0,06
Hígado				
Tecnólogo radiológico	21.3	0,39	7.0	0,31
Radiólogo	6.5	0,12	4.2	0,19
Otro medico	3.0	0,06	3.0	0,14
Dentista	1.9	0,04	1.2	0,05
Higienista dental	11.2	0,21	1.7	0,07
Enfermero	12.9	0,24	5.6	0,25
Otro	6.4	0,12	3.0	0,13
Pulmón				
Tecnólogo radiológico	36.1	0,38	31,6	0,87
Radiólogo	10.1	0,11	17.9	0,49
Otro medico	5.3	0,06	13.1	0,36
Dentista	3.1	0,03	5.3	0,15
Higienista dental	17.8	0,19	7.3	0,20
Enfermero	20.9	0,22	24.8	0,68
Otro	10.5	0,11	13.0	0,36
Cavidad bucal y faringe.				
Tecnólogo radiológico	1.8	0,20	0,9	0,27
Radiólogo	0,5	0,05	0,6	0,17
Otro medico	0,2	0,03	0,4	0,11
Dentista	0,2	0,02	0,2	0,05
Higienista dental	0,9	0,10	0,2	0,07
Enfermero	1.0	0,11	0,8	0,23
Otro	0,5	0,06	0,4	0,12
Ovario				
Tecnólogo radiológico	–	–	1.4	0,20
Radiólogo	–	–	0,9	0,13
Otro medico	–	–	0,6	0,09
Dentista	–	–	0.3	0,04
Higienista dental	–	–	0,4	0,05
Enfermero	–	–	1.2	0,17
Otro	–	–	0,7	0,09
Páncreas				
Tecnólogo radiológico	4.6	0,31	3.0	0,22
Radiólogo	1.3	0,09	1.9	0,14
Otro medico	0,6	0,04	1.3	0,09

Tabla 4 Riesgos de cáncer a lo largo de la vida en sitios seleccionados de cáncer por sexo entre los trabajadores de radiación médica de diagnóstico que comenzaron a trabajar en 1991 (continuación)

Sitios de órganos	Masculino		Femenino	
	LAR	RFL (%)	LAR	RFL (%)
Dentista	0,4	0,03	0,5	0,04
Higienista dental	2.9	0,20	0,7	0,05
Enfermero	2.5	0,17	2.3	0,17
Otro	1.3	0,09	1.3	0,10
Próstata				
Tecnólogo radiológico	3.3	0,06	–	–
Radiólogo	1.0	0,02	–	–
Otro medico	0,4	0,01	–	–
Dentista	0.3	0,01	–	–
Higienista dental	2.0	0,04	–	–
Enfermero	1.8	0,04	–	–
Otro	1.0	0,02	–	–
médula ósea roja				
Tecnólogo radiológico	4.7	0,84	1.9	0,46
Radiólogo	2.3	0,41	2.2	0,54
Otro medico	0,9	0,16	0,9	0,22
Dentista	0,6	0,11	0,5	0,12
Higienista dental	0,9	0,16	0,6	0,13
Enfermero	2.6	0,46	1.9	0,46
Otro	1.3	0,24	0,8	0,19
Estómago				
Tecnólogo radiológico	40.0	0,39	25.1	0,50
Radiólogo	12.1	0,12	15.2	0,30
Otro medico	5.7	0,06	10.2	0,20
Dentista	3.6	0,03	4.4	0,09
Higienista dental	19.4	0,19	6.0	0,12
Enfermero	23.4	0,23	20,5	0,41
Otro	11.9	0,12	10.7	0,21
Tiroides				
Tecnólogo radiológico	39,8	2.23	222.0	2.57
Radiólogo	16.1	0,91	163.0	1,92
Otro medico	2.9	0,18	64.1	0,77
Dentista	4.1	0,23	35.3	0,42
Higienista dental	19.7	1.11	63,6	0,74
Enfermero	26.4	1,50	257.0	2,98
Otro	14.6	0,82	123.0	1.42
Útero				
Tecnólogo radiológico	–	–	1.3	0,09
Radiólogo	–	–	0,8	0,06
Otro medico	–	–	0,2	0,02
Dentista	–	–	1.6	0,11
Higienista dental	–	–	0.3	0,02
Enfermero	–	–	1.1	0,07
Otro	–	–	0,6	0,04
Resto				
Tecnólogo radiológico	41,7	0,84	18.9	0,39
Radiólogo	12.6	0,25	11.7	0,25
Otro medico	5.9	0,12	8.0	0,17
Dentista	3.7	0,08	3.3	0,07
Higienista dental	22.8	0,46	4.5	0,09
Enfermero	25.4	0,51	15.5	0,32
Otro	12.3	0,25	8.4	0,18

Riesgo atribuible de por vida de LAR (exceso de casos por 100.000), vida de LFR riesgo fraccional

El resto incluyó todos los demás cánceres sólidos, excluyendo los no melanomas. cáncer de piel

respectivamente), que contribuyen a una exposición más prolongada duración. Además, los tecnólogos radiológicos tenían dosis de radiación anuales más altas que otros grupos y en consecuencia, tienen dosis acumulativas más altas. Además, los trabajadores médicos de radiación en Corea del Sur que estaban expuestos anteriormente a la radiación recibieron dosis más altas de radiación [17, 29], lo que explica la tendencia observada de disminución temporal en LAR considerando los años de práctica radiológica. Esta tendencia fue relativamente menor en tecnólogos radiológicos que en otros grupos, lo que sugiere que el riesgo excesivo de por vida en los tecnólogos radiológicos no disminuyó significativamente por año de inicio del trabajo, y por tanto estos profesionales podrán tener prioridad para Protección de radiación.

Entre los sitios de cáncer, la LFR del cáncer de tiroides y de vejiga tanto en hombres como en mujeres fue mayor que los de otros sitios de órganos. Para el cáncer de tiroides, la alta tasa de incidencia inicial puede contribuir al alto LAR y LFR. La tasa de incidencia de tiroides, utilizada como tasa de incidencia inicial en el programa RadRAT, fue de 52,7 por ciento. 100.000 para todas las edades y ambos sexos combinados en 2010 basado en la población estándar mundial (http://www.ncc.re.kr), que era significativamente mayor que eso encontrado en otros países [30]. Comparado con el de otros sitios de cáncer, un LAR relativamente alto de cáncer de mama entre las mujeres y los cánceres de colon y estómago entre los hombres también pueden estar relacionados con una mayor incidencia inicial tarifas. Sin embargo, la LFR del cáncer de vejiga y la leucemia fue relativamente mayor que el de los cánceres en otros órganos sitios debido a los mayores coeficientes de dosis de radiación en modelo de riesgo que otros sitios [15] y las bajas incidencias iniciales en Corea del Sur [28]. Sin embargo, estudios adicionales están justificados para explicar este hallazgo. El LAR de unos pocos

cánceres (es decir, pulmón, estómago, vejiga y esófago) fue mayor en hombres que en mujeres, pero la LFR de estos cánceres fue menor, probablemente debido a una mayor radiación sensibilidad en las mujeres y una incidencia inicial relativamente menor en mujeres que en hombres.

Este estudio tiene fortalezas. La primera es la inclusión de todos trabajadores de radiación médica de diagnóstico en Corea del Sur entre 1996 y 2011. Nuestro análisis incluyó todas las categorías laborales, mientras que estudios anteriores limitaron el riesgo de cáncer. análisis a procedimientos específicos o grupos ocupacionales. En Además, las dosis en órganos individuales se estimaron sobre la base de base de datos NDR de 1996 a 2011. Por el contrario, estudios anteriores obtuvieron información de exposición principalmente de mediciones simuladas en períodos cortos. Además, El riesgo de por vida presentado aquí se basó en escenarios de exposición específicos por edad y sexo por separado para diferentes grupos ocupacionales utilizando datos de un estudio anterior. encuesta y una dosimetría centralizada basada en el gobierno registro. Nuestra población de estudio fue más representativa de la población general y los escenarios de exposición presentados en este estudio fueron más realistas. que los reportados en estudios ocupacionales previos. Además, se aplicaron modelos de proyección mejorados para calcular el riesgo de cáncer a lo largo de la vida debido a la exposición a la radiación ocupacional.

Hay algunas limitaciones que abordar. En primer lugar, los datos dosimétricos pueden haber subestimado la exposición real. porque no todos los trabajadores llevaban dosímetros de identificación con regularidad [19]. Aunque el KCDC inspecciona continuamente dosis y las corrige, reconocemos esta limitación y la necesidad de evaluar más a fondo la validez de la credencial dosis. Reconstrucción de dosis de insignia históricas para aquellos que comenzaron a trabajar antes de 1996 es otra posible incertidumbre para la estimación de riesgos que debe mejorarse. En segundo lugar, la estimación del riesgo de por vida del modelo tenía incertidumbres relacionadas con las tasas de incidencia iniciales, cambios en las prácticas laborales y la tasa de supervivencia porque estas variables pueden haber cambiado por año calendario. Estos cambios son inherentes a los estudios de proyección de riesgos. El modelo de riesgo lineal sin umbral asumido en RadRAT también puede ser un tema de debate; sin embargo, este modelo fue el más modelo ampliamente adoptado y que mejor se ajusta para explicar la Relación dosis-respuesta de radiación basada en la corriente datos epidemiológicos [31]. Los riesgos estimados serían mayor si no se aplicó DDREF. Nuestro programa de estimación no consideró factores de confusión ni efectos modificadores del riesgo de cáncer por exposición a la radiación, y Muchos factores ambientales y genéticos pueden haber modulado la vulnerabilidad individual a los efectos cancerígenos de los radiación. Porque los riesgos estimados reportados aquí se basaron en escenarios más que en exposiciones individuales, el riesgo no debe interpretarse como un riesgo individual preciso, pero puede informar la política de protección radiológica a nivel el nivel de población.

Conclusiones

Este estudio proyectó el riesgo de cáncer por exposición ocupacional a la radiación entre los trabajadores médicos. Los riesgos estimados para grupos ocupacionales específicos, desde de mayor a menor, generalmente estaban en el orden de radiología tecnólogos, enfermeras, radiólogos, otros médicos, dentistas higienistas y dentistas; sin embargo, las estimaciones para las mujeres Los tecnólogos radiológicos eran considerablemente más altos y merecen atención. Nuestros hallazgos proporcionan evidencia de la magnitud del riesgo potencial de cáncer considerando la situación actual. niveles de exposición a la radiación ocupacional. Nuestros hallazgos También se puede utilizar para establecer prioridades para diferentes poblaciones, aumentando la conciencia sobre el riesgo potencial de los procedimientos de radiación y hacer comparaciones con otros factores de riesgo ocupacional y ambiental. Estimación del riesgo a lo largo de la vida con monitoreo de exposición individual puede ayudar a evaluar oportunamente el riesgo de cáncer por radiación exposición y proporcionar información práctica para proteger trabajadores de radiación médica.

Archivo adicional

Archivo adicional 1: Figura S1. Ejemplo de cálculo del exceso de riesgo de por vida para el cáncer de mama. (DOCX 659 kb)

Abreviaturas

BEIR VII: Efectos biológicos de las radiaciones ionizantes VII; KCDC: Centro Coreano para Control y Prevención de Enfermedades; LAR: Riesgo atribuible de por vida; LFR: vida útil riesgo fraccional; NDR: Registro Nacional de Dosimetría; UI: intervalo de incertidumbre

Agradecimientos

Nos gustaría agradecer a los revisores por sus útiles comentarios, que contribuido significativamente a mejorar el documento.

Fondos

Esta investigación fue financiada por una subvención de Korea Health Technology R. & D Proyecto, coordinado por el Instituto de Desarrollo de la Industria de la Salud de Corea (KHIDI), y fue financiado por el Ministerio de Salud y Bienestar de la República de Corea (Subvención No. HI16C1186). Los organismos de financiación no tenían ningún papel en la diseño del estudio, recopilación de datos, análisis o interpretación o redacción el manuscrito.

Disponibilidad de datos y materiales.

El acceso a datos individuales detallados se puede obtener en el correspondiente autores previa solicitud razonable y previa aprobación del Instituto Junta de Revisión de la Universidad de Corea.

Contribuciones de los autores

WJL y YC desarrollaron la idea de la investigación y escribieron el primer borrador de el manuscrito. YC analizó los datos respaldados por ESC, YJB y YWH. JK, YMK, KAK, SK, SS, YJB, YWH y ESC brindaron asesoramiento sobre análisis de datos y revisó críticamente el manuscrito. WJL incorporó los comentarios y escribió el manuscrito final. Todos los autores contribuyeron a la revisión del borrador y aprobó el manuscrito final.

Aprobación ética y consentimiento para participar.

El presente estudio fue revisado y aprobado por la Revisión Institucional Junta de la Universidad de Corea (1040548-KU-IRB-16-203-A-1). Este fue un estudio basado en registros sin contacto personal y el consentimiento para participar no fue requerido.

Consentimiento para publicación

No aplica.

Intereses en competencia

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

Nota del editor Springer Nature

se mantiene neutral con respecto a reclamos jurisdiccionales en mapas publicados y afiliaciones institucionales.

Detalles del autor 1

Departamento de Medicina Preventiva, Facultad de Medicina de la Universidad de Corea, 73, Inchon-ro, Seongbuk-gu, Seúl 02841, Corea del Sur. [2]Trabajadores de Seúl Centro de Salud, Universidad de Mujeres Ewha, Seúl, Corea del Sur. [3]Departamento de Medicina Preventiva, Facultad de Medicina de la Universidad Keimyung, Daegu, Corea del Sur . Departamento de Estadística, Universidad Nacional Kyungpook, Daegu, 5 Corea del Sur. Departamento de Medicina Preventiva, Facultad de Medicina, Universidad de Mujeres Ewha, Seúl, Corea del Sur. [6]Laboratorio de Riesgo de Bajas Dosis Evaluación, Centro Médico Nacional de Emergencias Radiológicas, Instituto Coreano de Ciencias Médicas y Radiológicas, Seúl, Corea del Sur.

Recibido: 8 de mayo de 2018 Aceptado: 19 de noviembre de 2018

Published online: 04 December 2018

Referencias 1.

INSCEAR. Efectos de la radiación ionizante: Informe UNSCEAR 2006 al Asamblea General, con Anexos Científicos. Volumen I. Efectos de las Radiaciones Ionizantes. Nueva York: Publicaciones de las Naciones Unidas; 2008.

2. Yoshinaga S, Mabuchi K, Sigurdson AJ, Doody MM, Ron E. Riesgos de cáncer entre radiólogos y tecnólogos radiológicos: revisión de estudios epidemiológicos. Radiología. 2004;233:313–21.

3. Linet MS, Kim KP, Miller DL, Kleinerman RA, Simon SL, Berrington de González A. Revisión histórica de las exposiciones ocupacionales y los riesgos de cáncer en trabajadores de radiación médica. Radiat Res. 2010;174:793–808.

4. USEPA. Modelos y proyecciones de riesgo de cáncer radiogénico de la EPA para EE. UU. Población. Washington: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos; 2011.

5. CIPR. Las Recomendaciones de 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica. Publicación ICRP 103. Ann ICRP. 2007;37:1–332.

6. Brenner DJ, Elliston CD, Hall EJ, Berdon WE. Riesgos estimados de cáncer fatal inducido por radiación a partir de TC pediátrica. AJR Soy J Roentgenol. 2001;176: 289–96.

7. Journy NMY, Lee C, Harbron RW, McHugh K, Pearce MS, Berrington de González A. Riesgos de cáncer proyectados potencialmente relacionados con las prácticas pasadas, actuales y futuras en TC pediátrica en el Reino Unido, 1990-2020. H. J. Cáncer. 2017;116:109–16.

8. Andersson M, Eckerman K, Mattsson S. Riesgo atribuible de por vida como alternativa a la dosis efectiva para describir el riesgo de cáncer en pacientes en medicina nuclear diagnóstica y terapéutica. Phys Med Biol. 2017;62: 9177–88.

9. Land CE, Bouville A, Apostoaei I, Simon SL. Riesgos proyectados de cáncer de por vida por la exposición a la lluvia radioactiva regional en las Islas Marshall. Médico de Salud. 2010;99:201–15.

10. Hunter N, Muirhead CR, Bochicchio F, Haylock RG. Cálculo de la vida riesgos de cáncer de pulmón asociados con la exposición al radón, según varios modelos y escenarios de exposición. J Radiol Prot. 2015;35:539–55.

11. Cardis E, Krewski D, Boniol M, Drozdovitch V, Darby SC, Gilbert ES, Akiba S, Benichou J, Ferlay J, Gandini S, Hill C, Howe G, Kesminiene A, Moser M, Sanchez M, Storm H, Voisin L, Boyle P. Estimaciones de la carga de cáncer en Europa debido a la lluvia radioactiva del accidente de Chernobyl. Int J Cáncer. 2006;119(6):1224–35.

12. Walsh L, Zhang W, Shore RE, Auvinen A, Laurier D, Wakeford R, Jacob P, Gent N, Anspaugh LR, Schüz J, Kesminiene A, van Deventer E, Tritscher A, del Rosarion Pérez M. Un marco para Estimación de los riesgos de cáncer relacionados con la radiación en Japón tras el accidente nuclear de Fukushima de 2011. Radiat Res. 2014; 182(5):556–72.

13. Venneri L, Rossi F, Botto N, Andreassi MG, Salcone N, Emad A, et al. Riesgo de cáncer por exposición profesional en el personal que trabaja en el laboratorio de cateterismo cardíaco: conocimientos del informe VII sobre los efectos biológicos de la radiación ionizante del Consejo Nacional de Investigación. Soy Heart J. 2009;157:118–24.

14. Kim JB, Lee J, Park K. Peligros de radiación para el cirujano vascular y la enfermera instrumentista en una sala vascular híbrida equipada con fluoroscopia móvil. Ann Surg Tratar Res. 2017;92:156–63.

15. Consejo Nacional de Investigación, División de Estudios de la Tierra y la Vida, Junta de Investigación de los efectos de la radiación, Comité para evaluar los riesgos para la salud derivados de la exposición a Bajos Niveles de Radiación Ionizante. Riesgos para la salud derivados de la exposición a niveles bajos de radiación ionizante: BEIR VII Fase 2. Nueva York: National Academies Press; 2006.

16. Centros de Corea para el Control y la Prevención de Enfermedades. Informe de 2016 sobre exposición a la radiación ocupacional en radiología de diagnóstico en Corea. http://www.cdc.go.kr. Consultado el 8 de noviembre de 2018.

17. Choi Y, Cha ES, Bang YJ, Ko S, Ha M, Lee WJ. Estimación de dosis de órganos entre trabajadores de radiación médica de diagnóstico en Corea del Sur. Radiat Prot Dosim. 2017;179:1–9.

18. Choi Y, Kim J, Lee JJ, Jun JK, Lee WJ. Reconstrucción de la dosis de radiación. recibido por tecnólogos radiológicos de diagnóstico en Corea. J Prev Med Salud Pública. 2016;49:288–300.

19. Ministerio de Seguridad de Alimentos y Medicamentos de Corea. Exposición ocupacional a la radiación y efectos sobre la salud en una cohorte de trabajadores de diagnóstico por radiación en Corea. Osong: Ministerio de Seguridad de Alimentos y Medicamentos de Corea; 2013.

20. CIPR. Coeficientes de conversión para su uso en protección radiológica frente a radiaciones externas. Publicación 74 de la ICRP. Ann ICRP. 1996;26:1–205.

21. CIPR. Coeficientes de conversión para cantidades de protección radiológica para exposiciones a la radiación externa. Publicación ICRP 116. Ann ICRP. 2010;40:1–257.

22. Berrington de González A, Iulian Apostoaei A, Veiga LHS, Rajaraman P, Thomas BA, Owen Hoffman F, et al. RadRAT: una herramienta de evaluación del riesgo de radiación para la proyección del riesgo de cáncer a lo largo de la vida. J Radiol Prot. 2012;32:205–22.

23. Berrington de González A, Mahesh M, Kim KP, Bhargavan M, Lewis R, Mettler F, et al. Riesgos de cáncer proyectados a partir de tomografías computarizadas realizadas en los Estados Unidos en 2007. Arch Intern Med. 2009;169:2071–7.

24. Fresco R, Spera G, Meyer C, Cabral P, Mackey JR. Imágenes de dosis de radiación y riesgos y beneficios asociados en sujetos que participan en ensayos clínicos de cáncer de mama. Oncólogo. 2015;20:702–12.

25. Hoang JK, Reiman RE, Nguyen GB, Januzis N, Chin BB, Lowry C, et al. Riesgo atribuible de por vida de cáncer por exposición a la radiación durante la obtención de imágenes de paratiroides: comparación de TC 4D y gammagrafía de paratiroides. AJR Soy J Roentgenol. 2015;204:W579–85.

26. Kellerer AM, Nekolla EA, Walsh L. Sobre la conversión del riesgo relativo excesivo de cáncer sólido en riesgo atribuible de por vida. Radiat Environ Biophys. 2001;40(4): 249–57.

27. Lee WJ, Ha M, Hwang SS, Lee KM, Jin YW, Jeong M, et al. Estudio de salud de tecnólogos radiológicos en Corea del Sur: diseño del estudio y resultados iniciales. Int Arch Occup Environ Health. 2015;88:759–68.

28. Jung KW, Won YJ, Kong HJ, Lee ES. Comunidad de base poblacional Registros Regionales de Cáncer. Estadísticas de cáncer en Corea: incidencia, mortalidad, supervivencia y prevalencia en 2015. Cancer Res Treat. 2018;50:303–16.

29. Lee WJ, Cha ES, Ha M, Jin YW, Hwang SS, Kong KA, et al. Ocupacional Dosis de radiación entre trabajadores de radiación de diagnóstico en Corea del Sur, 1996-2006. Radiat Prot Dosim. 2009;136:50–5.

30. Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer. Observatorio mundial del cáncer. Organización Mundial de la Salud. http://gco.iarc.fr. Consultado el 8 de noviembre de 2018.

31. Consejo Nacional de Mediciones y Protección Radiológica (NCRP). Implicaciones de estudios epidemiológicos recientes para el modelo lineal sin umbral y la protección radiológica. Bethesda, MD: NCRP; Informe SC; 2017. pág. 1–25.

Ready to submit your research? Choose BMC and benefit from:

- fast, convenient online submission
- thorough peer review by experienced researchers in your field
- rapid publication on acceptance
- support for research data, including large and complex data types
- gold Open Access which fosters wider collaboration and increased citations
- maximum visibility for your research: over 100M website views per year

At BMC, research is always in progress.

Learn more biomedcentral.com/submissions

BMC