

Distribución de la Radiación en Estructuras de la Bóveda Craneana Simulada en Operadores de un Servicio de Hemodinamia.

Distribution of Radiation in Structures of Cranial Cavity Simulated in Operators from a Hemodynamic Service

Sergio Ramos-Avasola^{1,2}; Jorge Le Bert^{1,3}; Carolina Sandoval¹; Javier Salazar¹; Claudio Maffet¹; Jorge Gamarra⁴; Mónica Catalán⁵ & María Isabel Ojeda¹

RAMOS-AVASOLA, S.; LE BERT, J.; SANDOVAL, C.; SALAZAR, J.; MAFFET, C.; GAMARRA, J.; CATALÁN, M. & OJEDA, M. Distribución de la radiación en estructuras de la bóveda craneana simulada en operadores de un servicio de hemodinamia. *J. health med. sci.*, 5(4):269-276, 2019.

RESUMEN: El objetivo de este trabajo fue describir la distribución de la radiación en estructuras internas de la bóveda craneana recibida en un Fantoma antropomórfico simulando las condiciones del trabajador ocupacionalmente expuesto (TOE) de un servicio de Hemodinamia. Para esto, se realizó un estudio descriptivo experimental, cuyo fin fue describir la carga neta registrada por cristales termoluminiscentes (TLD) dispuestos en estructuras internas de la bóveda craneana de dos fantomas antropomórficos de cabeza, los cuales fueron posicionados en la ubicación de trabajo del Cardiólogo Intervencionista y del Tecnólogo Médico. Los niveles de cargas netas intracraneanas recibidas en la posición del Médico registraron una mayor carga neta en dos zonas del cerebro (Telencéfalo y Metencéfalo), con un 6,7%, y 28,5% respectivamente. En el caso del Mesencéfalo y el Diencéfalo, el Tecnólogo Médico fue quien recibió más cargas netas con un 75,5% y 33,6 % más respectivamente. Otro hallazgo, es que, la sumatoria de mediciones de cargas netas realizadas en los fantomas fueron mayores en el lado izquierdo del cerebro en relación al lado derecho con valores de carga neta mayores en un 24% y 20%, respectivamente. Se logró evidenciar una diferencia marcada en las cargas netas aportadas según el hemisferio cerebral del TOE, siendo mayores las dosis para el hemisferio cerebral izquierdo en comparación al hemisferios cerebral derecho.

PALABRAS CLAVES: radiación, cerebro, cardiólogos intervencionistas.

INTRODUCCIÓN

La práctica cardiológica ha incorporado estudios hemodinámicos y angiográficos como un procedimiento cotidiano que se ha expandido desde lo esencialmente diagnóstico a lo terapéutico en un amplio espectro de procedimientos que incluye el manejo de complejas patologías cardíacas, tales como el tratamiento de arritmias cardíacas, revascularización coronaria percutánea transluminal o la reparación de malformaciones congénitas complejas (Ramírez *et al.*, 2000). Todos estos procedimientos tienen en común la utilización de un equipo de cineangiografía con su respectiva fuente generadora de rayos-X, equipo que está en contacto

directo con los trabajadores ocupacionalmente expuestos (TOE) y con los pacientes, lo cual implica que la exposición de radiaciones ionizantes a las que se someten puede ser alta (Picano *et al.*, 2007).

Durante el desarrollo del procedimiento angiográfico, la presencia de radiación secundaria producto de la interacción del haz primario con el tórax del paciente, no se distribuye de forma homogénea en el entorno de la sala del pabellón de Hemodinamia; adicionalmente, la posición de los integrantes del TOE es heterogénea con respecto a la posición del tubo de rayos-X y además, el cuerpo

¹ Facultad de Ciencias de la Salud, Escuela de Tecnología Médica, Universidad Viña del Mar, Viña del Mar, Chile

² Universidad de Valparaíso, Facultad de Medicina, Escuela de Tecnología Médica Universidad de Valparaíso, Chile.

³ Servicio de Radioterapia Instituto Oncológico Ltda. Viña del Mar. Chile.

⁴ Comisión Chilena de Energía Nuclear, Santiago, Chile.

⁵ Instituto de Estadística, Facultad de Ciencias, Universidad de Valparaíso, Chile.

humano tiene distintos tejidos que le confieren una distinta radioprotección según el órgano irradiado, es así como el cerebro se considera clásicamente un órgano bien protegido, de hecho, el cerebro de acuerdo con una de las leyes fundamentales de la radiobiología, se considera un órgano altamente diferenciado con baja actividad mitótica, y por lo tanto radioresistente, han aparecido informes en la literatura (ICRP 103, 2007; Stewart *et al.*, 2012), levantando la sospecha de que el cáncer de cerebro puede ser una enfermedad profesional de los médicos cardiólogos Intervencionistas (Finkelstein, 1998).

Diversos estudios (Picano *et al.*, 2012; Roguin *et al.*, 2012; Roguin *et al.*, 2013) postulan que, a pesar de exponerse a dosis bajas de radiación, algunos Cardiólogos Intervencionistas, han desarrollado tumores cerebrales en el hemisferio cerebral izquierdo preferentemente debido a que este se encuentra más expuesto que el hemisferio cerebral derecho. La radiación ionizante no se distribuiría en forma homogénea en las estructuras internas de la bóveda craneana, sin embargo, las investigaciones a nivel de cerebro son escasas, ya que, este órgano es considerado de baja radio sensibilidad debido a la protección que le otorga la conformación de la bóveda craneana.

Al utilizar la base de datos Pubmed, se encontraron 4 estudios relacionados con esta investigación. En uno de ellos se informó sobre 4 nuevos casos de tumores cerebrales en cardiólogos Intervencionistas (Picano *et al.*) que se dieron en dos ciudades distintas, lo cual generó un motivo de alarma. En un segundo estudio (Roguin *et al.*), se describieron 31 casos de tumores cerebrales en cardiólogos Intervencionistas, electrofisiólogos y radiólogos Intervencionistas, los cuales desarrollaron procedimientos en unidades de Hemodinamia. En este artículo (Roguin *et al.*) se destacó claramente que el lado izquierdo de la bóveda craneana era el más expuesto a la radiación ionizante siendo dos veces más en comparación que el lado derecho. Sin embargo, se encontró solo 1 artículo (Chumak *et al.*, 2016) que se refieren al tema de dosimetría cerebral, pero sin utilizar dosímetros intracraneales. Por su parte Andreassi *et al.*, (2005), informó que de los tumores más predominantes en el cerebro, fue el glioblastoma multiforme, encontrándose en un alcance de 55%, seguido del meningeoma con un 16% y en tercer lugar astrocitomas con un 7%. Los profesionales descritos en este trabajo, se desempeñaron durante largo

periodo de tiempo en el área, teniendo un periodo de latencia de 12 a 32 años antes de presentar el tumor, además la exposición anual de la cabeza de estos especialistas, estuvo en el rango de 20 a 30 mSv por año, alrededor de 10 veces más que la exposición total del cuerpo.

Por todo lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la dosis de radiación en las estructuras internas de bóveda craneal recibidas en la posición tanto del Cardiólogo Intervencionista como en la posición del Tecnólogo Médico durante los procedimientos de Hemodinamia.

MATERIAL Y MÉTODO

Se realizó un estudio descriptivo experimental, utilizando cristales termoluminiscentes (TLD) dispuestos en estructuras internas de la bóveda craneana de dos fantasmas antropomórficos de cabeza (Telencéfalo, Diencefalo, Mesencefalo, Metencefalo), los cuales fueron posicionados en la ubicación habitual de trabajo del Cardiólogo Intervencionista y del Tecnólogo Médico durante los procedimientos de coronariografía y angioplastia en una unidad de Hemodinamia. En este experimento, para generar radiación secundaria, se ubicó en la posición del paciente un fantoma cubico de agua (General Electric, modelo 2412129, Boston, Massachusetts, USA) sobre la camilla del angiografo,

La exposición a la radiación del fantoma se realizó en la unidad de Hemodinamia del Hospital Doctor Gustavo Fricke, V-Región, Chile, el equipo utilizado fue un angiografo marca Siemens, modelo Axiom Artis, año 2005 (Siemens, Múnich, Alemania), equipado con un panel plano para estudios cardiacos, en este equipo se replicaron exactamente las proyecciones, tiempos aplicados de fluoroscopia, tiempos de cinefluorografía y técnicas radiológicas empleadas en cada una de las últimas 52 coronariografías y angioplastias reales realizadas. La tasa de pulsos utilizada fue de 10 pulsos/seg en el modo de fluoroscopia y 15 cuadros/seg para cinefluorografía, adicionalmente se utilizó una filtración entre 0,1 y 0,3 mm de Cu. Así con esta configuración experimental, se lograron replicar las condiciones reales, que arrojaron una técnica promedio de $73,8 \pm 24,7$ kv y 582 ± 145 mA; además se posicionaron dos maniqués en la posición habitual de trabajo del Cardiólogo Intervencionista y Tecnólogo Médico dentro de un pabellón de Hemodinamia con

todo el aditamento de protección radiológica habitual que utiliza el TOE, los cuales son mostrados en la Figura 1.



Fig. 1. Ubicación de maniqués dentro del pabellón de Hemodinamia.

La parte más importante de estos maniqués fue la cabeza, lugar donde se posicionaron los cristales TLD. En este experimento, se debió elaborar dos réplicas de cabezas, una que simuló al Cardiólogo Intervencionista y otra que simuló al Tecnólogo Médico. En primera instancia se debió escoger los materiales para la elaboración de los fantomas antropomórficos de cerebro, el cual está dividido en: cerebro, bóveda craneana y tejidos blandos circundantes, los cuales deben cumplir como requisito tener la misma consistencia física y atenuación que los materiales biológicos.

Para el cerebro se utilizó una mezcla sugerida en algunos artículos de la literatura (Gallas *et al.*, 2015; Wood *et al.*, 2017; Bliznakova *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2019), los cuales utilizaron gelatina en polvo, gelatina en hojas, agua y glicerina líquida. Posteriormente esta mezcla se vertió en moldes de silicona, adquiridos de un modelo anatómico de

cerebro real. La realización de este molde, tiene la particularidad de poseer todos los relieves anatómicos de las circunvoluciones cerebrales, relieves tanto de cuerpo calloso, mesencéfalo, puente, bulbo raquídeo y cerebelo.

En este molde de cerebro de silicona, se vertió la mezcla, que posee 170 ml de agua, 50 ml de glicerina, 100 gr gelatina en polvo y 5 gr de gelatina en hojas, y luego se dejó reposar en el refrigerador a una temperatura de 5,5 °C, para dejar que la solución adquiriera su consistencia tipo gel. (Ver Figura 2).



Fig. 2. Tejidos blandos cerebrales en bases a una mezcla de gelatina.

Para la construcción de los tejidos blandos se elaboró una capa de gelatina, la cual en conjunto con una máscara con Embrace™ Thermoplastic, la cual es una máscara termo moldeable de plexiglás, es un material de bajo punto de fusión, se moldea con agua caliente y se enfría rápidamente, adquiriendo el patrón de moldeo dado en forma rígida. La principal característica de este producto es que es radiolúcido, con un espesor de 2,4 mm y no interfiere con la transmisión del haz.

Cristales TLD y lecturas

Para las mediciones dosimétricas, se empleó un tipo TLD (LiF Mg; Ti, Harshaw, fabricado por Thermo Fisher Scientific en USA.), suministrados por el laboratorio de Radioactividad y Termoluminiscencia de la Facultad de Física de la Pontificia Universidad Católica de Chile, lugar donde también se realizaron

las lecturas de dichos dosímetros. Según datos del fabricante, estos dosímetros pueden registrar dosis tan pequeñas como 0,01 hasta 1.000 mSv, lo que permitiría medir las cantidades de dosis emitidas por procedimiento en Hemodinamia.

Ubicación de los cristales TLD

Los cristales de TLC (Figura 3) fueron ubicados en diversas estructuras internas de la bóveda craneana, en el Telencéfalo (zona prefrontal del lóbulo frontal, lóbulo parietal, lóbulo temporal, lóbulo occipital, rodilla, esplenio y tronco del cuerpo caloso), Diencefalo (tálamo, hipotálamo), mesencéfalo y Metencéfalo (protuberancia, cerebelo). En cada punto de medición se ubicaron dos dosímetros.

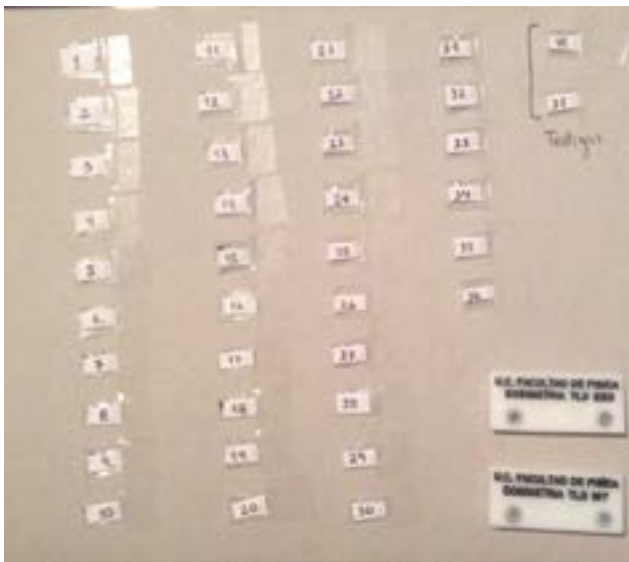


Fig. 3. Cristales TLD facilitados para esta investigación por el Laboratorio de Dosimetría de la Universidad católica.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se desarrolló utilizando el software estadístico (SPSS, Chicago, IL; versión 17). Los datos continuos (carga neta promedio, tiempo de fluoroscopia, producto dosis-área (PDA), Dosis total en superficie de piel (ESD)) Úbeda *et al.*, 2015 fueron expresados como la media \pm desviación estándar (SD) cuando distribuyan normal, de no serlo se describirán los datos mediante la mediana y percentiles, los datos categóricos (Tipo de TOE, zona, estructura) serán expresados en porcentaje y su frecuencia absoluta, adicionalmente de ser necesario se agregará gráficos de caja cuando los datos no sean paramétricos.

RESULTADOS

Los niveles de carga neta, recibida por los cristales termoluminiscentes portados por los fantasmas de cerebro a nivel de cada uno de las zonas cerebrales son presentados en la Figura 4.

Los niveles de carga neta acumulada, recibida por los cristales termoluminiscentes portados por los fantasmas de cerebro a nivel del Telencéfalo son presentados en la Tabla I.

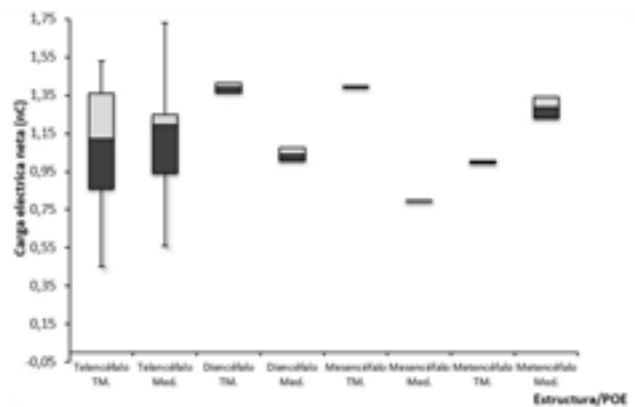


Fig. 4. Cargas eléctricas netas según estructura cerebral y tipo de TOE.

Tabla I. Cargas netas (nC) registradas en las zonas del Telencéfalo de fantasmas antropomorfos según tipo de TOE.

	Fantasma Antropomórfico en posición del:	
	Médico Cardiólogo Intervencionista	Tecnólogo Médico
Tronco de cuerpo caloso	1,02	1,36z
Esplenio cuerpo caloso	1,73	0,86
Rodilla del cuerpo caloso	1,29	1,52
Lóbulo frontal derecho	1,20	1,07
Lóbulo frontal izquierdo	1,66	1,12
Lóbulo occipital derecho	0,96	0,45
Lóbulo occipital izquierdo	0,85	0,66
Lóbulo parietal derecho	0,88	0,73
Lóbulo parietal izquierdo	1,00	1,53
Lóbulo temporal derecho	0,56	1,16
Lóbulo temporal izquierdo	1,21	1,00
Zona prefrontal derecho	1,19	1,14
X \pm Sd :	1,13 \pm 0,33	1,05 \pm 0,32

La Tabla II describe las cargas netas de radiación recibida por cada par de cristales termoluminiscentes, dispuestos dentro del fantoma en la zona del Diencefalo. En la Tabla III Se describen las cargas netas recibida por cada cristal termoluminiscente, dispuesto dentro del fantoma en la zona del Metencefalo según tipo de TOE. La Tabla IV describe las cargas netas de radiación recibida por cada par de cristales termoluminiscentes, dispuestos dentro del fantoma, en la zona del Mesencefalo dentro del fantoma en los cristales que simulan la posición del médico Intervencionista, la carga neta registrada fue de 0,8 (nC).

Limitaciones

Dentro de las limitaciones. En primer lugar, los resultados de las lecturas dosimétricas proporcionadas por el laboratorio de dosimetría de la universidad católica fueron en carga neta promedio (nC) y no en dosis absorbida (msv), lo que no permitió comparar los resultados de esta investigación con otras publicaciones relacionadas. En segundo lugar, el periodo en que se realizó el estudio no fue suficiente, debido al límite de tiempo para hacer entrega de él, lo que no permitió la realización de un número mayor de réplicas, ya que lo óptimo era replicar 3 meses de procedimientos, con el fin de poder obtener la dosis trimestral y anual dentro de la unidad de Hemodinamia del hospital Doctor Gustavo Fricke.

Tabla II. Cargas netas (nC) registradas en las zonas del Diencefalo de fantasmas antropomorfos según tipo de TOE.

Fantoma Antropomórfico en posición del:		
	Médico	Tecnólogo Médico
Tálamo	0,97	1,44
Hipotálamo	1,11	1,34
X ± Sd :	1,04 ± 0,10	1,39 ± 0,07

Tabla III. Cargas netas (nC) registradas en las zonas del Metencefalo de fantasmas antropomorfos según tipo de TOE.

Fantoma Antropomórfico en posición del:		
	Médico	Tecnólogo Médico
Protuberancia	1,4	0,99
Cerebelo	1,17	1,01
X ± Sd :	1,29 ± 0,16	1,0 ± 0,1

Tabla IV. Cargas netas (nC) registradas en las zonas del Mesencefalo de fantasmas antropomorfos según tipo de TOE.

Fantoma Antropomórfico en posición del:		
	Médico	Tecnólogo Médico
Mesencefalo	0,8	1,4

DISCUSIÓN

Las lecturas de las mediciones arrojadas en la figura 1 por los cristales TLD en el fantoma que representó la posición del Cardiólogo Intervencionista registró mayor dosis en dos de las cuatro zonas del cerebro (Telencefalo y Metencefalo), con un 6,7% y 28,5% más de carga neta respectivamente en comparación con el Tecnólogo Médico, que concuerda con dos estudios, uno de ellos publicado el año 2013 por Roguin A, quien reportó, una relación del cáncer de cerebro en el Cardiólogo Intervencionista con la exposición a la radiación ocupacional, describiendo que el lado izquierdo de la cabeza está más expuesto a la radiación que el lado derecho (Roguin *et al.*) y otro estudio (Zett-Lobos *et al.*, 2013) señaló que el Cardiólogo Intervencionista recibe más radiación que el Tecnólogo Médico, evidenciándose en que se cuantificó mayor carga neta (nC) en los cristales utilizados por el Médico en comparación con el Tecnólogo Médico.

En el presente estudio se evidenciaron diferencias entre las lecturas dadas por los cristales insertos en las estructuras internas de la bóveda craneana del fantoma antropomórfico que simula al Médico Intervencionista siendo estas mayores en el hemisferio cerebral izquierdo con un 21,2 % más de carga neta recibida, concordando con el estudio (Roguin *et al.*).

Al realizar un análisis más detallado de cada una de las zonas del encéfalo (Telencefalo, Diencefalo, Mesencefalo y Metencefalo), se pudo constatar que también al interior de estas zonas tan próximas entre sí, se producen diferencias en las cargas netas registradas, en el Telencefalo, se puede apreciar que para todas las zonas medidas y en cada uno de los dos fantasmas dispuestos en el pabellón, el fantoma que representó la posición del cerebro del Cardiólogo Intervencionista registró un rango de mediciones entre 0,85 a 1,73 nC a diferencia del fantoma que emulo al cerebro del Tecnólogo Médico este mostro un rango

de mediciones entre 0,45 a 1,53 nC, esto da cuenta de una distribución muy heterogénea de las cargas netas a nivel del Telencéfalo (ver tabla I); en la tabla II, muestra los resultados del fantoma antropomórfico que simula la posición del Médico Intervencionista, donde las cargas netas registradas para el tálamo e hipotálamo fueron respectivamente de 0,97 (nC) y 1,11 (nC); Para el caso del Tálamo e Hipotálamo, en el fantoma antropomórfico que simula la posición del Tecnólogo Médico, las cargas netas registradas para el fueron respectivamente de 1,44 (nC) y 1,34 (nC) dejando ver que la dosis recibida fue mayor en el Tecnólogo Médico en ambas estructuras.

De acuerdo a la Tabla III, en el cerebelo y protuberancia en el fantoma antropomórfico que simula la posición del médico Intervencionista, las cargas netas registradas por las estructuras fueron 1,17 (nC) y 1,4 (nC), respectivamente mientras que las registradas en el fantoma antropomórfico que simula la posición del Tecnólogo Médico 1,01 (nC) y 0,99 (nC), respectivamente, dejando en vista que las cargas netas registradas y recibidas por el Cardiólogo Intervencionista fueron mayores. Una probable explicación de esto podría estar dada por la diferente rotación de los cerebros con que enfrentan al haz de rayos-X secundario emanado del fantoma de paciente, es así como el Médico recibe la radiación en el lado izquierdo de su rostro, en cambio el Tecnólogo Médico la recibe de frente, otro factor a considerar podría estar dado por el ángulo en que incide los haces de rayos-X al cerebro.

Si la radiación en los TOEs sigue el mismo patrón heterogéneo que se observó en este modelo experimental, ayudaría a explicar porque se observa una distribución heterogénea y preferentemente ubicados en el lado izquierdo de los de casos cáncer cerebral reportados en la literatura científica.

El Cardiólogo Intervencionista por su cercanía al paciente y a la fuente emisora de radiación, posee medidas de protección radiológica adicionales tales como: escudo blindado, faldón blindado, gafas plomadas y gorro plomado. En cambio, el Tecnólogo Médico, se encuentra expuesto directamente a la fuente de radiación (Zett-Lobos *et al.*) y radiación secundaria, ya que no existe un escudo blindado como lo es en el caso del médico Intervencionista, también es llamativo que, al examinar las lecturas de carga neta otorgadas por los cristales en las zonas de tálamo, tronco del cuerpo caloso, lóbulo temporal derecho e izquierdo tanto para Médico como para

Tecnólogo Médico, se cuantificara un aumento de las cargas netas (nC) recibidas en las estructuras antes mencionadas en el fantoma antropomórfico del Tecnólogo Médico, siendo mayores a las lecturas entregadas del Médico Intervencionista. Una probable explicación podría estar dada por el hecho que el Tecnólogo Médico en los procedimientos, tiene un ángulo de visión directo y sin obstáculos de la radiación secundaria proveniente del paciente por lo que la radiación no sería atenuada por el gorro plomado y la dosis se depositaría a nivel de los lóbulos temporales, lo cual tendría concordancia con los resultados obtenidos 1,16 (nC) y 1,0 (nC), no así el Médico Intervencionista, quien se encuentra protegido por el vidrio plomado lo cual atenúa la radiación secundaria proveniente del paciente.

Otras líneas investigativas, sugieren que se podría efectuar replicar un fantoma antropomórfico de cerebro simulando la posición de la enfermera y del técnico paramédico, puesto que se desconocen las dosis absorbidas (mSv) a nivel de estructuras cerebrales internas de bóveda craneal, además estos integrantes del staff de procedimientos de cardiología Intervencionista, no poseen una posición fija de trabajo durante la ejecución del procedimiento, puesto que se movilizan por distintas áreas del pabellón de Hemodinamia, a fin de movilizar los distintos insumos requeridos para el procedimiento.

Puesto que se registró un 75,5% más de carga neta en Mesencéfalo del fantoma del Tecnólogo Médico en relación al fantoma del Médico, se sugiere implementar un escudo plomado con las mismas características de atenuación, que las empleadas en el escudo plomado que protege al Médico, en la posición de trabajo del Tecnólogo Médico, debido a que este profesional tiene un ángulo de incidencia y sin obstáculos de la radiación secundaria proveniente del paciente y en la actualidad no cuenta con esta medida de protección radiológica, que significaría una reducción en las dosis absorbidas por este profesional a nivel cerebral.

CONCLUSIÓN

Con el diseño experimental de este estudio, se logró evidenciar una distribución heterogénea de las cargas netas registradas por los cristales TLD, insertos en estructuras internas de la bóveda craneana, registrándose que las dosis se distribuyen

de manera distinta en las estructuras internas de la bóveda craneana del fantoma que simulo al Médico y Tecnólogo Médico y también existe una diferencia marcada en las cargas netas aportadas según el hemisferio cerebral del TOE, siendo mayores las dosis para el hemisferio cerebral izquierdo en comparación al hemisferios cerebral derecho.

RAMOS-AVASOLA, S.; LE BERT, J.; SANDOVAL, C.; SALAZAR, J.; MAFFET, C.; GAMARRA, J.; CATALÁN, M. & OJEDA, M. Distribution of radiation in structures of cranial cavity simulated in operators from a hemodynamic service. *J. health med. sci.*, 5(4):269-276, 2019.

ABSTRACT: This works aimed to describe the radiation distribution in internal structures of the cranial cavity received in an anthropomorphic phantom simulating the conditions of the occupationally-exposed worker (TOE, Spanish acronym) from a Hemodynamic service. Therefore, an experimental descriptive study was made, aiming to describe the net load recorded by Termoluminiscent Crystals (TLD) prepared in the internal structures of the cranial cavity from two anthropomorphic phantoms of head, which were placed at the workplace of the Interventional Cardiologist and the technologist in a Hemodynamic module. The levels of the received intracranial net loads from the position of the Medic recorded a higher net load in two brain areas (Cerebrum and Metencephalon), with 6.7% and 28.5% respectively. In the case of the Midbrain and Diencephalon, the medical technologist received more net loads with 75.5% and 33.6% more respectively; another finding was that the measurement sum of net loads performed at the phantoms were higher in the left side of the brain about the right side with larger net load values in a 24% and 20% respectively. It was highlighted a heterogeneous distribution of the recorded net loads by the TLD crystals, inserted in the internal structures of the cranial cavity and also there is a marked difference in the contributed net loads depending on the cerebral hemisphere of the TOE, being doses for left side hemisphere larger in comparison to the right side hemisphere.

KEY WORDS: radiation, brain, interventional cardiologists.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andreassi, M. G.; Cioppa, A.; Botto, N.; Joksic, G.; Manfredi, S.; Federici, C.; Ostojic, M.; Rubino, P. & Picano, E. Somatic DNA damage in interventional cardiologists: a case-control study. *FASEB J.*, 19(8):998-9, 2005.
- Finkelstein, M. M. Is brain cancer an occupational disease of cardiologists? *Can. J. Cardiol.*, 14(11):1385-8, 1998.
- Gallas, R. R.; Hünemohr, N.; Runz, A.; Niebuhr, N. I.; Jäkel, O. & Greulich, S. An anthropomorphic multimodality (CT/MRI) head phantom prototype for end-to-end tests in ion radiotherapy. *Z. Med. Phys.*, 25(4):391-9, 2015.
- International Commission on Radiological Protection (ICRP 103). The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103. *Ann. CRP*, 37(2-4):1-332, 2007.
- Bliznakova, K.; Buliev, I. & Bliznakov, Z. Design and composition of anthropomorphic phantoms. *Anthropomorphic Phantoms in Image Quality and Patient Dose Optimization*. EUTEMPE Network book, pp. 3-1 to 3-19, 2018.
- Picano, E.; Santoro, G. & Vano, E. Sustainability in the cardiac cath lab. *Int. J. Cardiovasc. Imaging*, 23(2):143-7, 2007.
- Picano, E.; Vano, E.; Domenici, L.; Bottai, M. & Thierry-Chef, I. Cancer and non-cancer brain and eye effects of chronic low-dose ionizing radiation exposure. *BMC Cancer*, 12:157, 2012.
- Ramírez, N.; Farias Ch.; Silva, J.; Oyarzún, C.; Leyton, L.; Ugalde, P.; Dussailant, N. & Cumsille G. Radiación ionizante secundaria generada en equipos de cineangiografía coronaria digital y analógica: influencia de los sistemas externos de protección radiológica. *Rev. méd. Chile*, 128(8):853-62, 2000.
- Roguín, A.; Goldstein, J. & Bar, O. Brain tumours among interventional cardiologists: A cause for alarm? Report of four new cases from two cities and a review of the literature. *EuroIntervention*, 7(9):1081-6, 2012.
- Roguín, A.; Goldstein, J.; Bar, O. & Goldstein, J. Brain and neck tumors among physicians performing interventional procedures. *Am. J. Cardiol.*, 111(9):1368-72, 2013.
- Stewart, F. A.; Akleyev, A. V.; Hauer-Jensen, M.; Hendry, J. H.; Kleiman, N. J.; Macvittie, T. J.; Aleman, B. M.; Edgar, A. B.; Mabuchi, K.; Muirhead, C. R.; Shore, R. E. & Wallace, W. H. ICRP publication 118: ICRP statement on tissue reactions and early and late effects of radiation in normal tissues and organs--threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. *Ann ICRP*, 41(1-2):1-322, 2012.
- Ubeda de la C, C.; Nocetti, D.; Alarcón, R.; Inzulza, A.; Calcagno, S.; Castro, M.; Vargas, J.; Leyton, F.; Oyarzún, C.; Ovalle, M. & Torres, B. Quantities and units for patient dosimetry in diagnostic and interventional radiology. *Rev. Chil. Radiol.*, 21(3):94-9, 2015.
- Wood, S.; Krishnamurthy, N.; Santini, T.; Raval, S.; Farhat, N.; Holmes, J. & Tamer, S. Design and fabrication of a realistic anthropomorphic heterogeneous head phantom for MR purposes. *PLoS One*, 12(8):e0183168, 2017.
- Zett-Lobos, C.; Vera-Muñoz, F.; Arriola-Alvarez, K.; Díaz-Ramos, O.; Gamarra, J.; Fernández-Palomo, C.; Merello, L.; Mora, A.; Gutierrez, A.; Catalán-Reyes, M. & Ramos-

Avasola, S. ¿Es suficiente la protección otorgada por gafas plomadas en cardiología intervencionista? *Rev. Med. Chile*, 141(1):63-9, 2013.

Zhang F.; Zhang, H.; Zhao, H.; He, Z.; Shi, L.; He, Y.; Ju, N.; Rong, Y. & Qiu, J. Design and fabrication of a personalized anthropomorphic phantom using 3D printing and tissue equivalent materials. *Quant. Imaging Med. Surg.* 9(1):94-100, 2019.

Dirección para Correspondencia:
Sergio Ramos Avasola
Facultad de Ciencias de la Salud
Universidad Viña del Mar
Quilpué
CHILE

Email: sergioramosavasola@gmail.com

Recibido: 10 de Agosto 2019
Aceptado: 30 de Noviembre 2019