

## Artículo Original

**Reducción de la dosis de radiación según el tipo de tecnología utilizada en tomografía computada multicortes cardíaca****Reduction of radiation dose according to the type of technology used in cardiac computed tomography**

Javier Courtis, Juan Copa Gallardo, Magdalena Dimitroff, Analía González

Instituto Oulton, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Facultad de Biología, Universidad Nacional de Córdoba. Córdoba, Argentina.

## INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Recibido el 21 de Marzo de 2020

Aceptado después de revisión

el 17 de Abril de 2020

[www.revistafac.org.ar](http://www.revistafac.org.ar)

Los autores declaran no tener conflicto de intereses

## RESUMEN

En años recientes, la tomografía computada multicortes cardíaca (TCMC) ha experimentado numerosos avances tecnológicos destinados a lograr una mejoría en la dosis de radiación del paciente estudiado. Sin embargo, la eficacia de estos avances son en gran medida desconocidos a nivel de la práctica diaria. El presente estudio tiene como objetivo investigar la magnitud de la dosis de radiación que recibe un paciente durante una TCMC en la práctica diaria con un tomógrafo de 64 cortes y líneas de detectores vs. 80 líneas de detectores y 160 cortes.

**Métodos:** Se analizaron los datos de 199 TCMC en total realizadas en nuestra institución, las primeras 100 TCMC consecutivas con el tomógrafo Toshiba AquilionTM 64 (TA-64) durante el primer semestre del año 2009, y las restantes 99 también el primer semestre pero del año 2019 y realizadas con el tomógrafo Canon AquilionTM PRIME SP (CA-P). La principal indicación para TCMC fue la evaluación anatómica de las arterias coronarias por dolor de pecho (91 pacientes, 46% de los casos) e isquemia silente (49/24). En ambos períodos se realizó una adquisición retrospectiva del volumen cardíaco completo. El principal valor de radiación evaluado en cada TCMC y utilizado como resultado primario de nuestro estudio, fue el producto dosis-longitud total (PDL) y la dosis efectiva (DE).

**Resultados:** La mediana del PDL de los pacientes estudiados en el TA-64 fue de 1140 mGy.cm (Q1: 1020 mGy.cm, Q3: 1300 mGy.cm) vs. 364.8 mGy.cm (Q1: 244.7 mGy.cm, Q3: 482 mGy.cm) del CA-P ( $p < 0.0001$ ), y la mediana de la DE-PDL fue de 15.9 mSv (Q1: 14.2 mSv, Q3: 18.2 mSv) vs. 5.1 (Q1: 3.4 mSv, Q3: 6.7 mSv), respectivamente ( $p < 0.0001$ ). A su vez, la mediana de la corriente del tubo en el grupo TA-64 fue de 450 mA (Q1: 400 mA, Q3: 450 mA) vs. 568 mA (Q1: 472 mA, Q3: 580 mA) del CA-P ( $p < 0.0001$ ), y la mediana del voltaje del tubo fue de 120 kV (Q1: 120 kV, Q3: 120 kV) vs. 100 kV (Q1: 80 kV, Q3: 100 kV), respectivamente ( $p < 0.01$ ). Además, no hubo diferencias al evaluar la calidad técnica de las imágenes obtenidas según el tipo de tomógrafo utilizado (calidad de estudio regular 6 (7%) casos de 81 pacientes evaluados en el grupo TA-64 vs. 4 (4%) de 99 individuos del grupo CA-P,  $p = 0.32$ ).

**Conclusiones:** Este trabajo demuestra una reducción considerable de la exposición a la radiación ionizante en TCMC realizada con tecnología de última generación, sin por ello generar un detrimento en la calidad de las imágenes obtenidas.

**Palabras clave:**

Tomografía computada cardíaca.

Exposición a dosis de radiación.

Estrategias de ahorro de dosis.

**Reduction of radiation dose according to the type of technology used in cardiac computed tomography**

## ABSTRACT

In recent years, cardiac computed tomography (CT) has undergone numerous technological advancements aimed at achieving an improvement in the radiation dose of the patient studied. However, the effectiveness of these advancements is largely unknown in daily practice. The present study aims to investigate the magnitude of the radiation dose that a patient receives during cardiac CT in daily practice with a 64-slice CT vs. 80 detector row and 160-slice CT.

**Methods:** Data from 199 cardiac CT in total performed at our institution were analyzed. The first 100 consecutive cardiac CT with the Toshiba AquilionTM 64 (TA-64) scanner during the first

**Keywords:**

Cardiac computed tomography.

Exposure to radiation dose.

Dose-saving strategies.

semester of year 2009 were analyzed, and the remaining 99 also during the first semester but of year 2019, and made with the Canon Aquilion™ PRIME SP (CA-P) system. The main indication for cardiac CT was the anatomical evaluation of coronary arteries due to chest pain (91 patients, 46% of cases) and silent ischemia (49/24). In both periods, a retrospective acquisition of the full cardiac volume was performed. The main radiation value evaluated in each cardiac CT and used as the primary result of our study was the total dose-length product (DLP) and the effective dose (ED).

**Results:** The median DLP of the patients studied in the TA-64 was 1140 mGy.cm (Q1: 1020 mGy.cm, Q3: 1300 mGy.cm) vs. 364.8 mGy.cm (Q1: 244.7 mGy.cm, Q3: 482 mGy.cm) of the CA-P ( $p < 0.0001$ ), and the median of the DLP-ED was 15.9 mSv (Q1: 14.2 mSv, Q3: 18.2 mSv) vs. 5.1 (Q1: 3.4 mSv, Q3: 6.7 mSv), respectively ( $p < 0.0001$ ). In turn, the median of the tube current in the TA-64 group was 450 mA (Q1: 400 mA, Q3: 450 mA) vs. 568 mA (Q1: 472 mA, Q3: 580 mA) of the CA-P ( $p < 0.0001$ ), and the median of the tube voltage was 120 kV (Q1: 120 kV, Q3: 120 kV) vs. 100 kV (Q1: 80 kV, Q3: 100 kV), respectively ( $p < 0.01$ ). Furthermore, there were no differences when evaluating the technical quality of the images obtained according to the type of tomography used (regular study quality 6 (7%) cases of 81 patients evaluated in the TA-64 group vs. 4 (4%) of 99 individuals in the CA-P group,  $p = 0.32$ ).

**Conclusions:** This work demonstrates a considerable reduction in exposure to ionizing radiation in cardiac CT performed with state-of-the-art technology, without generating detriment to the quality of the images obtained.

## INTRODUCCIÓN

La tomografía computada multicortes cardíaca (TCMC) es un método de imagen no invasivo cada vez más utilizado en la cardiología debido a su elevada precisión diagnóstica<sup>1,2</sup>. Tanto la coronariografía (cTCMC) como la angiografía cardíaca estructural y funcional aclaran diagnósticos y permiten realizar estrategias terapéuticas en individuos con sospecha de enfermedad coronaria (EC) y numerosas otras patologías cardiovasculares. Además, al mejorar la eficacia diagnóstica, esta metodología imagenológica tiene la capacidad de alterar la atención clínica posterior, así como optimizar la utilización de diferentes recursos diagnósticos y terapéuticos en una elevada proporción de los pacientes evaluados<sup>3,4</sup>. No obstante ello, la exposición a la radiación ionizante de la TCMC conlleva el riesgo potencial de inducción de cáncer de una manera dependiente de la dosis<sup>5</sup>, por lo tanto su utilidad clínica debe ser balanceada contra la exposición a radiación que se produce en todos aquellos casos que se realiza esta práctica imagenológica. Por consiguiente, consideraciones sobre la seguridad de la TCMC son una preocupación constante que deben apuntar a reducir la dosis de exposición a radiación "tan baja como sea razonablemente posible" (principio ALARA), es decir la menor cantidad posible de radiación manteniendo una buena calidad diagnóstica de la imagen obtenida<sup>6,7</sup>.

Avances tecnológicos en equipamiento, nuevos algoritmos de software y varios estudios clínicos, han procurado desarrollar métodos tendientes a reducir la dosis total de radiación por estudio<sup>8,9,10,11,12,13</sup>. Sin embargo, se desconoce actualmente la verdadera eficacia de ciertas mejoras técnicas en TCMC tendientes a reducir dicha dosis. Por lo tanto, el presente estudio tiene como objetivo investigar la magnitud de la dosis de radiación que recibe un paciente durante una TCMC en la práctica diaria con un tomógrafo de 64 cortes y líneas de detectores versus 80 líneas de detectores y 160 cortes por vuelta completa, cuantificando el producto

de dosis-longitud (PDL) y la dosis efectiva (DE) de dicho producto, e identificando aquellos factores independientes que contribuyen a la disminución de la radiación en este tipo de estudio imagenológico.

## MÉTODOS

### • Población / Protocolo de estudio.

Estudio observacional, retrospectivo y de único centro, con el objetivo de obtener una muestra representativa regional concerniente a la dosis total de radiación recibida en cada estudio de cTCMC de la práctica diaria. Se excluyeron del análisis todos aquellos estudios tomográficos realizados para la evaluación del reemplazo valvular aórtico, control de angioplastias coronarias con stent, cardiopatías estructurales, puentes aorto-coronarios y patologías de la aorta torácica. Además, los investigadores (independientes de la industria), realizaron la pesquisa y el análisis de los datos de las TCMC gatilladas por electrocardiograma realizadas en nuestro centro durante el primer semestre del año 2009 con el tomógrafo Toshiba Aquilion™ 64 (TA-64 / grupo 1), y las restantes también el primer semestre pero del año 2019 y realizadas con el tomógrafo Canon Aquilion™ PRIME SP (CA-P / grupo 2). El tomógrafo del grupo 2, a diferencia del TA-64, contaba con las siguientes características adicionales: realizar 80 cortes por adquisición y 160 reconstruidos por vuelta, cobertura del detector 4 cm, tiempo de rotación 350 ms, resolución espacial máxima 21.5 lp/cm, resolución temporal de 35 ms, potencia del generador de 80 a 135 kV y 10 a 600 mA, y otra serie de modificaciones tecnológicas destinadas a reducir la dosis de radiación total por estudio (ver descripción posterior). Las principales indicaciones clínicas para cTCMC y tenidas en cuenta como criterios de inclusión para el presente estudio fueron la evaluación de las arterias coronarias por dolor de pecho o síntomas sugestivos de EC, y la isquemia silente (evidente en pruebas funcionales). Los estudios fueron realizados de acuerdo con

el estándar local, en ambos períodos se realizó una adquisición retrospectiva del volumen completo cardíaco, y una dirección ejecutiva compuesta por un grupo de profesionales con experiencia en investigación clínica y estadísticas supervisaron el estudio. En la totalidad de los casos, se realizó previamente la adquisición de imágenes sin contraste, con la finalidad de evaluar el grado de calcificación arterial coronaria (CAC) a través de la técnica tradicional de Agatston<sup>14</sup>. Contraste yodado no iónico se dispuso a través de un inyector de doble fase (80-100 ml a 5-6 ml/seg) administrado a través de una cánula de calibre 18 en la fosa antecubital y seguido por 80 ml de solución salina normal.

#### • Estimación de la dosis de radiación.

La dosis de radiación se obtuvo según el informe arrojado automáticamente por el sistema computarizado de ambos tomógrafos al final de cada estudio, incluyendo los cortes de localización, el CAC y la fase helicoidal. El principal valor de radiación evaluado en cada cTCMC y utilizado como resultado primario de nuestro estudio fue el PDL, expresado en mGy.cm, el cual corresponde al índice de dosis total del estudio multiplicado por la longitud de exploración respectiva, parámetro que mejor refleja la radiación total a la que fue expuesto el paciente durante todo el escaneo. Además, también se evaluó como punto final la dosis efectiva (DE-PDL), la cual deriva de la multiplicación entre el producto dosis-longitud y un factor de ponderación de órganos según la región anatómica investigada, este factor de ponderación [ $k = 0.014 \text{ mSv (mGy cm)}^{-1}$ ] se promedia entre modelos masculinos y femeninos, metodología que ya ha demostrado su robustez para estimar la efectividad de la dosis de radiación aplicada<sup>15</sup>.

#### • Estrategias para la reducción de dosis de radiación.

Si bien uno de los condicionantes más importante en la dosis total de radiación está vinculado a la cobertura o ancho del detector, es decir la cantidad de líneas de detectores por equipo, el tomógrafo Canon Aquilion<sup>TM</sup> PRIME SP cuenta además con un enfoque integral en la estrategia de reducción de dosis. Las tecnologías que emplea para ello son varias (PUREVision Optics, colimador activo, SUREkV, SURE-Position, SUREExposure y AIDR 3D), y se basan en un rediseño del eje óptico del sistema, en un ajuste activo del colimador, un control automatizado de la potencia del tubo según la constitución del paciente, el centrado del paciente en el isocentro de la garganta de exploración y una reducción del ruido de la imagen.

#### • La calidad de la imagen.

La calidad de imagen diagnóstica en las cTCMC fue evaluada por el investigador local (JC), independiente de los detalles de la adquisición y con una experiencia mayor a 3 años en la lectura de las cTCMC del año 2009, y mayor a 13 años en el 2019. Se definió regular calidad cuando la imagen presentaba alguno de los tres puntos siguientes: a) borrosa, b) discontinuidad de los vasos por artefactos de

**TABLA 1.**

Tomografía computada multicortes cardíaca.

Características	Grupo 1 / TA-64 (n=100)	Grupo 2 / CA-P (n=99)	P
Edad <sup>¶</sup>	61	63	0.42
Sexo (hombres), % (n)	71 (71)	58 (57)	0.07
Índice de masa corporal <sup>#</sup>	28.4	28.7	0.88
Calidad de estudio regular, % (n)	6 (81)	4 (99)	0.32
PDL (mGy.cm) <sup>*</sup>	1140 (1020-1300) <sup>§</sup>	364.8 (244.7-482) <sup>§</sup>	<0.0001
DE-PDL (mSv) <sup>¶</sup>	15.9 (14.2-18.2) <sup>§</sup>	5.1 (3.4-6.7) <sup>§</sup>	<0.0001
Corriente del tubo (mA)	450 (400-450) <sup>§</sup>	568 (472-580) <sup>§</sup>	<0.0001
Voltaje del tubo (kV)	120 (120-120) <sup>§</sup>	100 (80-100) <sup>§</sup>	0.01

<sup>¶</sup> Expresada en años. <sup>#</sup> Calculado como peso en kilogramos dividido por la altura en metros cuadrados; <sup>\*</sup> Producto dosis-longitud total; <sup>¶</sup> Dosis efectiva del PDL; <sup>§</sup> Mediana (Rango Intercuartil).

reconstrucción, o c) no permitía estimar con exactitud el objetivo buscado en el examen, más comúnmente el grado de obstrucción de las arterias coronarias.

#### Análisis estadístico.

Los puntos finales de este estudio consistieron en una comparación entre grupos en cuanto a: 1) PDL, 2) DE-PDL, y 3) calidad de imagen. Las características clínicas, demográficas y técnicas tomográficas, fueron registradas en formularios estandarizados para luego ser incorporados a una base de datos. La diferencia absoluta entre las tasas de los puntos finales se utilizó para probar nuestra principal hipótesis: el uso de un tomógrafo CA-P es más seguro (menor irradiación) sin por ello afectar la calidad de la imagen. Las variables cuantitativas se expresaron como media  $\pm$  desvío estándar, fueron analizadas mediante el test t de Student y se verificó que estas variables no se alejaban de una distribución normal con la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov. Aquellas variables cuantitativas de distribución no normal fueron expresadas como mediana (rango intercuartil) y se utilizó el test de mediana para su análisis. Las variables cualitativas se expresaron como porcentaje y fueron analizadas a través del test de Fisher. Se consideró significativo un valor de  $p < 0.05$ . Los datos fueron analizados con el programa informático SPSS Advanced Statistics v.17.0. (Chicago: SPSS Inc, 2008).

#### RESULTADOS

Se evaluaron 199 cTCMC en total, las primeras 100 consecutivas realizadas con el tomógrafo TA-64 durante el primer semestre del año 2009, y las restantes 99 también el primer semestre pero del año 2019 y realizadas con el tomógrafo CA-P. Las indicaciones más frecuentes de la TCMC fueron la evaluación de enfermedad coronaria en pacientes con angina de pecho o síntomas sugestivos de EC (91 pacientes, 46% de los casos), y en segundo lugar la isquemia silente (49 ptes./24%).

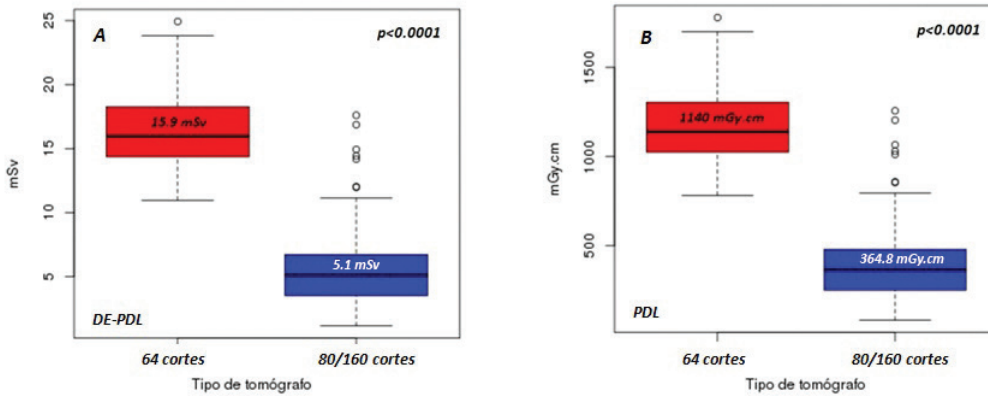


FIGURA 1.

A) Diferencias en la dosis efectiva (DE-PDL) y B) producto dosis-longitud (PDL), según el tipo de tomógrafo utilizado.

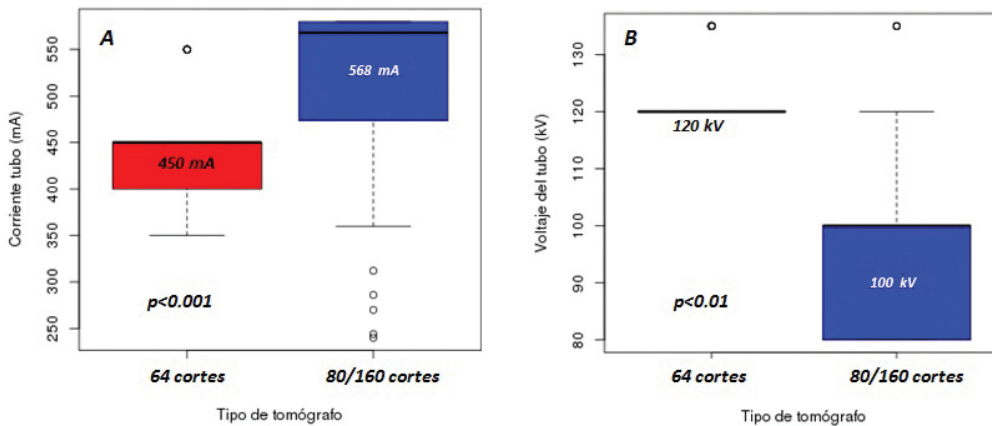


FIGURA 2.

A) Diferencias en la corriente del tubo, y B) voltaje del tubo, según el tipo de tomógrafo utilizado.

La *Tabla 1* expone los resultados generales según el tomógrafo utilizado. En el grupo 1, la edad media de los pacientes fue de 61 años y 71 (71%) eran hombres, y en el grupo 2 la media de edad fue de 63 años y 57 (58%) pacientes eran masculinos, dichas variables fueron no significativas estadísticamente entre ambos grupos ( $p=0.42$  y  $p=0.07$ , respectivamente). La mediana del índice de masa corporal fue de 28.4 en el grupo TA-64 y 28.7 en el grupo CA-P ( $p=0.88$ ). La mediana del PDL de los pacientes estudiados en el grupo 1 fue de 1140 mGy.cm (Q1: 1020 mGy.cm, Q3: 1300 mGy.cm) vs. 364.8 mGy.cm (Q1: 244.7 mGy.cm, Q3: 482 mGy.cm) del grupo 2 ( $p<0.0001$ ), y la mediana de la DE-PDL fue de 15.9 mSv (Q1: 14.2 mSv, Q3: 18.2 mSv) vs. 5.1 (Q1: 3.4 mSv, Q3: 6.7 mSv), respectivamente (*Figura 1*). En resumen, al comparar ambas tecnologías, la DE-PDL se redujo en un 65% utilizando el tomógrafo CA-P.

A su vez, la corriente del tubo en el grupo TA-64 fue de 450 mA (Q1: 400 mA, Q3: 450 mA) vs. 568 mA (Q1: 472 mA, Q3: 580 mA) del CA-P ( $p<0.0001$ ), y el voltaje del tubo fue de 120 kV (Q1: 120 kV, Q3: 120 kV) vs. 100 kV (Q1: 80 kV, Q3: 100 kV), respectivamente ( $p<0.01$ ) (*Figura 2*).

Además, no hubo diferencias al evaluar la calidad téc-

nica de las imágenes obtenidas según el tipo de tomógrafo utilizado, calidad de estudio regular 6 (7%) casos de 81 pacientes evaluados en el grupo TA-64 vs. 4 (4%) de 99 individuos del grupo CA-P,  $p=0.32$ .

## DISCUSIÓN

La cTCMC se ha convertido en un método diagnóstico cada vez más utilizado en la evaluación de la enfermedad arterial coronaria. Aunque ya varios estudios han evaluado estrategias para reducir la exposición a la radiación en las imágenes de cTCMC, todavía existe preocupación sobre la dosis administrada en la práctica diaria. El presente estudio demuestra que la exposición a la radiación asociada a la cTCMC ha sido marcadamente reducida gracias al advenimiento de nueva tecnología, específicamente un 65% en la última década según nuestros resultados. Este progreso, deberá contribuir al establecimiento de la cTCMC como estudio diagnóstico no invasivo de uso frecuente en aquellos pacientes con sospecha de enfermedad arterial coronaria, método apoyado por los consensos internacionales<sup>16</sup>. Además, los resultados de nuestro trabajo tienen implicancias relevantes en diferentes niveles de nuestro sistema de sa-

lud, tal vez el más importante es que con esta tecnología actualmente disponible, la dosis de radiación no debe desanimar a los pacientes ni médicos solicitantes a someterse a una cTCMC cuando esté clínicamente indicado.

Los valores de la DE-PDL obtenidos en nuestro trabajo se corresponden a los observados en América del Sur en un trabajo publicado recientemente<sup>17</sup>. La reducción de dosis lograda puede atribuirse a dos grandes factores: (a) la concientización sobre la seguridad radiológica motivó a los fabricantes de equipos a generar dispositivos y algoritmos de computadora destinados a producir menor radiación y utilizarla de manera más eficiente, (b) la publicación y el cumplimiento de las pautas de mejores prácticas para imágenes en cTCMC<sup>11</sup>.

Analizando más en detalle, las principales técnicas que derivaron en una reducción de dosis en los últimos tiempos fueron: a) disminuir la longitud de escaneo (aumentar 1 cm genera un 5% más de PDL)<sup>18</sup>, b) aumentar el ancho del detector a lo largo del eje z (mayor a 4 cm por vuelta, es decir tomógrafos con más de 64 líneas de detectores permiten aumentar considerablemente la longitud de cobertura por cada rotación, actualmente 320 líneas es el equipamiento con mayor cantidad de filas disponible, lo que permite una cobertura por vuelta de 16 cm, logrando así imágenes de todo el corazón en una sola rotación y en un solo ciclo cardíaco, y en consecuencia no solo disminuye los artefactos de movimiento sino además baja considerablemente la dosis total efectiva, permitiendo complementar el examen con estudios de perfusión miocárdica)<sup>19,20,21,22,23</sup>, c) desarrollo de protocolos de escaneo con una potencia de tubo reducida (el uso de 100 kV, incluso menos aún, en comparación con un voltaje estándar de 120 kV reduce el PDL en un 46%, sin por ello empeorar la calidad de la imagen en pacientes sin sobrepeso, hasta 85 kg o IMC  $\leq$  30)<sup>24,25</sup>, d) modo de exploración secuencial (alternativa a la adquisición en espiral o helicoidal retrospectiva, solo hay radiación máxima durante una fase del ciclo cardíaco predeterminada, también llamada adquisición "prospectiva", logra reducir el PDL en más de un 70%)<sup>26,27,28</sup>, e) TCMC de alto "pitch"<sup>29</sup>, f) atenuación automatizada con modulación de la corriente del tubo durante la adquisición helicoidal retrospectiva (se asocia a una reducción del 25% aproximadamente), g) reconstrucción iterativa de la imagen, y g) disminuir la frecuencia cardíaca con beta bloqueantes (no solo reduce los artefactos de movimiento y borramiento de contornos, también logra estabilizar el ritmo sinusal lo que permite optimizar y hacer más eficaz la modulación de la corriente del tubo)<sup>7</sup>.

En el presente estudio, la dosis observada del PDL en el grupo CA-P fue de 364.8 mGy.cm, lo que correspondió a una DE-PDL de 5.1 mSv (si se aplica el factor de conversión  $k = 0.014 \text{ mSv (mGy cm)}^{-1}$ ). Estos resultados necesitan ser comparados con dosis efectivas típicas de otros estudios con radiación ionizante, tales como: a) angiografía coronaria invasiva 5 mSv<sup>33</sup>, b) tomografía multicortes abdominal y pélvica 10 mSv<sup>34</sup>, c) 11 mSv en SPECT miocárdico con tecnecio 99 y 22 mSv con talio 201<sup>5</sup>. Evidentemente, la DE-

PDL observada en el presente trabajo es considerablemente más baja que la dosis efectiva recientemente publicada para estudios de perfusión miocárdica por medicina nuclear (MN)<sup>35</sup>, esta diferencia puede resultar en una mejora en la seguridad de la población evaluada por sospecha de enfermedad coronaria si la cTCMC se usara preferentemente sobre la MN.

Además, el PDL observado en nuestro estudio sirve también como una nueva referencia, sugiriendo establecer 400 mGy.cm como valor tope para una cTCMC, niveles de referencia han demostrado que reducen la dosis de radiación a lo largo del tiempo, ya que usuarios por encima de este nivel se verán esforzados por llegar e incluso estar por debajo de dichos valores<sup>7</sup>. En el año 2017, el PDL para una cTCMC estaba por encima de este valor teórico propuesto en 13 de 61 centros participantes del estudio PROTECTION VI,<sup>17</sup> esta observación implica la necesidad de una mayor educación a nivel mundial sobre estrategias destinadas a reducir dosis de radiación en este tipo de estudios imagenológicos, y una estandarización en los protocolos de exploración coronaria por TCMC. A su vez, en el grupo CA-P, la mediana en la potencia del tubo fue de 100 kV y el IMC  $<$ 30 kg/m<sup>2</sup>, sin por ello comprometer la calidad de la imagen en la gran mayoría de los pacientes estudiados, protocolos de escaneo con potenciales de tubo menores o iguales a 100 kV han demostrado un gran potencial para reducir la dosis de radiación<sup>36</sup>.

Según estudios previos, una cTCMC de 10 mSv de DE-PDL total generaría en el largo plazo un riesgo teórico de contraer cáncer en un 0.05%. Ya que en nuestro estudio se logró demostrar una reducción de la dosis efectiva de radiación en casi un 50% con respecto a dicho valor, un paciente de 63 años (la edad media observada en el grupo 2 de nuestro trabajo) tendría un riesgo adicional insignificante de contraer cáncer como consecuencia de haberse realizado una cTCMC. Además, que en este tipo de individuos la información diagnóstica brindada por este estudio y las consecuencias clínicas derivadas, superan ampliamente este riesgo teórico adicional de contraer cáncer<sup>37,38</sup>.

Finalmente, los resultados del presente estudio reclaman al sector industrial, el desarrollo de aplicaciones predeterminadas y protocolos de escaneo dosis-eficientes, los cuales permitan la realización de una cTCMC a dosis lo más baja posible. Un monitoreo continuo de la exposición a la radiación del paciente, así como la participación en trabajos de evaluación de dosis, permitirán una comparación entre médicos e instituciones, con la finalidad de mejorar el rendimiento de las "mejores prácticas"<sup>39</sup>.

### Limitaciones

La falta de apoyo financiero para la conducción del estudio permitió la reunión de datos sin sesgo, pero también limitó la participación de sitios adicionales. Este es un estudio observacional en lugar de aleatorizado, sin embargo los datos reflejan el "mundo real" en la reducción de la radiación, lo que aumenta su generalización permitiendo así ser

emulado en cualquier otra institución. Otra limitación es que el estudio no compara sensibilidad y especificidad de la cTCMC con respecto a la angiografía invasiva por cateterismo, por lo cual suponer que la calidad de la tomografía multicortes fue la adecuada, es un tanto aleatorio. Finalmente, todos los estudios fueron realizados en tomógrafos de una misma compañía, sin poder evaluar la eficiencia de otros modelos para reducir dosis.

## CONCLUSIONES

El presente trabajo muestra que la exposición a la radiación ionizante de una cTCMC se puede reducir considerablemente en comparación a los últimos 10 años si se utiliza tomógrafos equipados con herramientas para lograr reducción de dosis, lo cual a su vez se traduce en un estudio más seguro para el paciente sin por ello afectar la calidad de la imagen. Otros estudios sobre el impacto de los tomógrafos de última generación en la exposición a la radiación ionizante deben desarrollarse.

## BIBLIOGRAFIA

- Hamilton-Craig CR, Friedman D, Achenbach S. Cardiac computed tomography evidence, limitations and clinical application. *Heart Lung Circ* 2012; 21: 70-81.
- Doherty JU, Kort S, Mehran R, et al. Appropriate Use Criteria for Multimodality Imaging in the Assessment of Cardiac Structure and Function in Nonvalvular Heart Disease. *J Am Coll Cardiol*. 2019; 73 (4): 488-516.
- SCOT-HEART investigators. CT coronary angiography in patients with suspected angina due to coronary heart disease (SCOT-HEART): an open-label, parallel-group, multicentre trial. *Lancet* 2015; 385: 2383-91.
- Budoff MJ, Dowe D, Jollis JG, et al. Diagnostic performance of 64-multi-detector row coronary computed tomographic angiography for evaluation of coronary artery stenosis in individuals without known coronary artery disease: results from the prospective multicenter ACCURACY (Assessment by Coronary Computed Tomographic Angiography of Individuals Undergoing Invasive Coronary Angiography) trial. *J Am Coll Cardiol* 2008; 52: 1724-32.
- Einstein AJ, Moser KW, Thompson RC, et al. Radiation dose to patients from cardiac diagnostic imaging. *Circulation* 2007; 116: 1290-1305.
- Prasad KN, Cole WC, Haase GM. Radiation protection in humans: extending the concept of as low as reasonably achievable (ALARA) from dose to biological damage. *Br J Radiol* 2004; 77: 97-99.
- Hausleiter J, Meyer T, Hermann F, et al. Estimated radiation dose associated with cardiac CT angiography. *JAMA* 2009; 301: 500-07.
- Deseive S, Chen MY, Korosoglou G, et al. Prospective randomized trial on radiation dose estimates of CT angiography applying iterative image reconstruction: the PROTECTION V study. *JACC Cardiovasc Imaging* 2015; 8: 888-96.
- Hausleiter J, Meyer TS, Martuscelli E, et al. Image quality and radiation exposure with prospectively ECG-triggered axial scanning for coronary CT angiography: the multicenter, multivendor, randomized PROTECTION-III study. *JACC Cardiovasc Imaging* 2012; 5: 484-93.
- Hausleiter J, Martinoff S, Hadamitzky M, et al. Image quality and radiation exposure with a low tube voltage protocol for coronary CT angiography results of the PROTECTION II Trial. *JACC Cardiovasc Imaging* 2010; 3: 1113-23.
- Halliburton SS, Abbara S, Chen MY, et al. SCCT guidelines on radiation dose and dose-optimization strategies in cardiovascular CT. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2011; 5: 198-224.
- Hirshfeld JW Jr, Ferrari VA, Bengel FM, et al. 2018 ACC/HRS/NASCI/SCAI/SCCT expert consensus document on optimal use of ionizing radiation in cardiovascular imaging: best practices for safety and effectiveness: a report of the American College of Cardiology Task Force on Expert Consensus Decision Pathways. *J Am Coll Cardiol* 2018; 71: e283-e351.
- Raff GL, Chinnaiyan KM, Share DA, et al. Radiation dose from cardiac computed tomography before and after implementation of radiation dose-reduction techniques. *JAMA* 2009; 301: 2340-48.
- Agatston AS, Janowitz WR, Hildner FJ, et al. Quantification of coronary artery calcium using ultrafast computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 1990; 15: 827-32.
- Trattner S, Halliburton S, Thompson CM, et al. Cardiac-specific conversion factors to estimate radiation effective dose from dose-length product in computed tomography. *JACC Cardiovasc Imaging* 2018; 11: 64-74.
- Knuuti J, Wijns W, Saraste A, et al. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes. *Eur Heart J* 2020; 41 (3): 407-77.
- Stocker TJ, Deseive S, Leipsic J, et al. Reduction in radiation exposure in cardiovascular computed tomography imaging: results from the PROSpective multicenter registry on radiaTion dose Estimates of cardiac CT angIOgraphy iN daily practice in 2017 (PROTECTION VI). *Eur Heart J* 2018; 39 (41): 3715-23.
- Einstein AJ, Henzlova MJ, Rajagopalan S. Estimating risk of cancer associated with radiation exposure from 64-slice computed tomography coronary angiography. *JAMA* 2007; 298 (3): 317-23.
- Fujimoto S, Matsutani H, Kondo T, et al. Image quality and radiation dose stratified by patient heart rate for coronary 64- and 320-MDCT angiography. *AJR Am J Roentgenol* 2013; 200 (4): 765-70.
- Rybicki FJ, Mather RT, Kumamaru KK, et al. Comprehensive assessment of radiation dose estimates for the CORE320 Study. *AJR* 2015; 204: W27-W36.
- Hirshfeld JW, Ferrari VA, Bengel FM, et al. 2018 ACC/HRS/NASCI/SCAI/SCCT Expert Consensus Document on Optimal Use of Ionizing Radiation in Cardiovascular Imaging-Best Practices for Safety and Effectiveness, Part 2: Radiological Equipment Operation, Dose-Sparing Methodologies, Patient and Medical Personnel Protection. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2018; 92 (2): 222-46.
- Caruso D, Eid M, Schoepf UJ, et al. Dynamic CT myocardial perfusion imaging. *Eur J Radiol* 2016; 3: 1893-99.
- Chen MY, Shanbhag SM, Arai AE. Submillisievert median radiation dose for coronary angiography with a second-generation 320-detector row CT scanner in 107 consecutive patients. *Radiology* 2013; 267: 76-85.
- Hausleiter J, Meyer T, Hadamitzky M, et al. Radiation dose estimates from cardiac multislice computed tomography in daily practice: impact of different scanning protocols on effective dose estimates. *Circulation* 2006; 113 (10): 1305-10.
- Suess C, Chen X. Dose optimization in pediatric CT: current technology and future innovations. *Pediatr Radiol*. 2002; 32 (10): 729-734; Discussion 751-754.
- Earls JP, Berman EL, Urban BA, et al. Prospectively gated transverse coronary CT angiography versus retrospectively gated helical technique: improved image quality and reduced radiation dose. *Radiology*. 2008; 246 (3): 742-53.
- Husmann L, Valenta J, Gaemperli O, et al. Feasibility of low-dose coronary CT angiography: first experience with prospective ECG-gating. *Eur Heart J* 2008; 29 (2): 191-197.
- Deseive S, Pugliese F, Meave A, et al. Image quality and radiation dose of a prospectively electrocardiography-triggered high-pitch data acquisition strategy for coronary CT angiography: the multicenter, randomized PROTECTION IV study. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2015; 9: 278-85.
- Achenbach S, Marwan M, Ropers D, et al. Coronary computed tomography angiography with a consistent dose below 1 mSv using prospectively electrocardiogram-triggered high-pitch spiral acquisition. *Eur Heart J* 2010; 31 (3): 340-46.
- Jakobs TF, Becker CR, Ohnesorge B, et al. Multislice helical CT of the heart with retrospective ECG gating: reduction of radiation exposure by ECG controlled tube current modulation. *Eur Radiol*. 2002; 12 (5): 1081-86.
- Yin WH, Lu B, Li N, et al. Iterative reconstruction to preserve image quality and diagnostic accuracy at reduced radiation dose in coronary CT angiography: an intraindividual comparison. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2013; 6 (12): 1239-49.