

Dr. Edgar Nicéforo Monroy Sánchez*
 Dra. Denisse Guzmán Ramírez*
 Dra. Violeta Santiago de la Rosa*
 T.R. Jesús Rafael Zamarripa Morales*
 Dr. Ramón Treviño Frutos*
 Dr. José Eduardo Galván García*

Dosis efectiva de radiación en angiotomografías coronarias mediante protocolo de adquisición con gatillado prospectivo y ajuste de potencial de tubo de acuerdo con el índice de masa corporal

RESUMEN

Objetivo. Conocer la dosis efectiva de radiación en estudios de angiotomografía coronaria utilizando un protocolo de adquisición con gatillado prospectivo y ajuste del potencial de tubo (kV) de acuerdo con el índice de masa corporal (IMC).

Metodología. Serie de casos. Se incluyeron estudios de pacientes de angiotomografía coronaria realizados mediante adquisición con gatillado prospectivo del 1 de marzo al 31

de julio de 2011. Se determinó la dosis efectiva de radiación para cada paciente. Se utilizaron estadística de tendencia central y asociación.

Resultados. 34 pacientes, 53% hombres, edad promedio 51.9 + 9.9 años. En 16% de los casos se utilizaron 100 kV. En el grupo que utilizó 100 kV la dosis efectiva fue 4.4 mSv y en el grupo que utilizó 120 kV fue 6.8 mSv con diferencia estadísticamente significativa: $p = 0.001$.

Conclusiones. Se documenta la factibilidad de esta técnica

de adquisición y la reducción significativa de las dosis de radiación. Esta información es similar a la reportada en estudios previos.

Palabras clave: dosis efectiva de radiación, potencial de tubo, angiotomografía coronaria, adquisición con gatillado prospectivo, adquisición con gatillado retrospectivo.

Continúa en la pág. 12

*Hospital Christus Muguerza Alta Especialidad. Calle Hidalgo 2525 Pte. Colonia Obispado, 64060, Monterrey, Nuevo León.

Correspondencia: Dr. Edgar Nicéforo Monroy Sánchez: monroy.edgar@hotmail.com

Introducción

Durante los últimos años la tomografía computada se ha convertido en una de las técnicas de diagnóstico por imagen de uso común para una variedad de afecciones cardiovasculares. El rápido posicionamiento de esta modalidad de imagen coincide con un dramático incremento en la exposición a radiación asociada con procedimientos médicos. Esto ha generado una creciente preocupación por el aumento potencial del riesgo de cáncer asociado a radiación proveniente de este tipo estudios. Esto explica por qué en los últimos

años se ha enfatizado tanto en el registro y control de la radiación administrada en estos procedimientos así como el uso de técnicas alternativas que permitan una menor administración de radiación.

Aunque no existe suficiente evidencia que relacione directamente la radiación recibida durante estudios de imagen con el desarrollo de cáncer la hipótesis general es que toda exposición a radiación ionizante, por pequeña que sea, representa algún riesgo para el desarrollo de cáncer y otras enfermedades neoplásicas. En la práctica diaria se recomienda apegarse a lo que se conoce como ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*) que puede traducirse como la utilización de la mínima cantidad de radiación posible que permita mantener el estándar de calidad diagnóstica del estudio.¹

ABSTRACT

Purpose. Determine the effective dose of radiation in coronary angiotomography studies using an acquisition protocol with prospective triggering and tube potential setting (kV) based on body mass index (BMI).

Methodology. Series of cases. Studies of patients who underwent coronary angio-

mography by prospective triggering acquisition from March 1 through July 31, 2011, were included. The effective dose of radiation was determined for each patient. Central trend and association statistics were used.

Results. 34 patients, 53% males, average age 51.9 + 9.9 years. In 16% of the cases 100 kV was used. In the group that used 100 kV the effective dose was 4.4 mSv and in the group that used 120 kV it was

6.8 mSv, with a statistically significant difference: $p = 0.001$.

Conclusions. The feasibility of this acquisition technique and the significant reduction of the dose of radiation is documented. This information is similar to that reported in prior studies.

Key words: effective dose of radiation, tube potential, coronary angiotomography, prospective triggering acquisition, retrospective triggering acquisition.

Las consideraciones al llevar a cabo una tomografía computada cardiovascular, específicamente la angiotomografía computada coronaria, son similares a las de cualquier otro procedimiento diagnóstico o terapéutico que involucre la utilización de radiación ionizante. En todos estos debe tomarse en cuenta la relación riesgo-beneficio partiendo de una indicación apropiada del estudio y tomando en consideración el riesgo potencial de desarrollo de cáncer asociado con dicha exposición. Las mujeres jóvenes y los pacientes pediátricos son los grupos de mayor riesgo.

La dosis administrada durante un estudio de tomografía computada se estima en términos de lo que conocemos como "dosis efectiva". Ello permite determinar el riesgo biológico de exposición a la radiación y establecer diferencias de dosis entre procedimientos de imagen calculando la dosis para una exposición no uniforme con respecto al riesgo resultante de una exposición corporal uniforme; se toma en cuenta la exposición de todos los órganos durante la adquisición del estudio y su sensibilidad a cambios mutagénicos inducidos por radiación. Las unidades con la que se mide dicha dosis efectiva en el sistema internacional son los millisieverts (mSv).² En la práctica la dosis efectiva se obtiene al multiplicar la dosis por la longitud (DLP provista por el escáner) por el factor de ponderación para la región del cuerpo expuesta a la radiación; en el caso del tórax dicho factor de ponderación es 0.014.¹

Diferentes estudios aleatorizados y registros indican que la dosis de radiación administrada durante un estudio de angiotomografía computada de arterias coronarias varía ampliamente y se encuentra entre 1 y 20 mSv dependiendo de factores propios del paciente como su índice de masa corporal (IMC), del equipo con que se adquieren las imágenes y del protocolo de adquisición.^{3,4} Otros estudios documentan que la dosis efectiva de radiación con técnica de adquisición

retrospectiva en tomógrafos de 64 detectores oscila entre 12 y 30 mSv.^{5,6}

Atendiendo a la creciente preocupación por el riesgo potencial de desarrollo de cáncer se han diseñado nuevos equipos y protocolos de adquisición. Esto ha permitido, en los últimos 5 años, una reducción a la exposición de aproximadamente 50% cada 2 años; hasta llegar a ser, incluso, dosis menores a las administradas durante un estudio para la cuantificación de calcio coronario sin sacrificar la calidad diagnóstica.⁷

Los parámetros de adquisición que se pueden modificar para disminuir la dosis de radiación se clasifican en primarios y secundarios dependiendo de su impacto. Los métodos primarios incluyen el modo de adquisición, la corriente de tubo, el potencial del tubo de rayos X y el *pitch* (para el escaneo helicoidal). Los métodos secundarios son la longitud y el campo de visión del escaneo.⁸

Uno de estos nuevos modos de adquisición es el prospectivo gatillado, disponible en los tomógrafos desde hace ya algunos años, que ha probado que puede reducir hasta < 5 mSv la dosis efectiva de radiación.¹ Es una alternativa que proporciona menor radiación que el modo retrospectivo helicoidal gatillado con electrocardiograma usado anteriormente en forma rutinaria. La adquisición es axial, se inicia después de detectar el pico de la R y se limita solamente a una fase predeterminada del intervalo R-R (fase con menos movilidad cardíaca). La emisión de rayos X se suspende durante el avance del paciente en la mesa a la siguiente posición en el eje de las z; el proceso se repite hasta cubrir la longitud del escaneo planeado. Las imágenes se reconstruyen en la fase especificada previa a la adquisición, lo que limita un análisis funcional. Uno de los primeros estudios publicados al respecto fue en 2007 y se corroboró la no inferioridad de la técnica (en cuanto a calidad diagnóstica) comparada con el método

helicoidal retrospectivo pero disminuyendo hasta en 90% la dosis de radiación.⁸

Otra variación en la técnica de adquisición que permite una reducción de la dosis de radiación de manera significativa es la modificación del potencial de tubo (kV) que determina la energía del haz de rayos X. La exposición a radiación durante la angiografía computada coronaria es proporcional a la raíz cuadrada del potencial del tubo, por lo cual una disminución de 120 a 100 kV resulta en una reducción de 31% de la dosis de radiación (asumiendo que no se modifiquen otros parámetros). En el pasado utilizar una potencia de tubo de 100 kV fue infrecuente pero ya se ha demostrado, también en diferentes estudios, que disminuir de 120 a 100 kV no afecta la calidad diagnóstica en pacientes adultos no obesos. Es así como surgió la recomendación de utilizar una potencia de tubo de 100 kV en individuos con índice de masa corporal (IMC) menor a 30.^{9,10.}

Planteamiento del problema

Actualmente se observa una tendencia mundial de implementar técnicas rutinarias que permitan disminuir la dosis de radiación administrada durante los estudios de angiografía computada coronaria debido al riesgo potencial de desarrollo de cáncer en pacientes expuestos a radiación durante estos estudios.^{1,11}

En México existe poca evidencia del impacto de estas estrategias en la disminución de dosis efectiva de radiación. Es por ello que consideramos que sería importante estudiar el fenómeno en un centro hospitalario mexicano como el hospital Christus Muguerza de Monterrey, N.L. ¿Cuál es el impacto de estas estrategias de reducción de dosis de radiación y, específicamente, del uso de la modalidad de adquisición prospectiva con gatillado electrocardiográfico (tanto en forma aislada como en combinación con la regulación de la energía de tubo con base en el IMC) en los estudios de angiografía coronaria? ¿Qué relación guardan los datos de nuestro centro hospitalario con los obtenidos en estudios y registros internacionales? Con esto se pretende incrementar la evidencia en el país y proporcionar datos en relación con el beneficio que estas estrategias pueden tener. Se busca contribuir en la modificación de la forma en cómo se adquieren dichos estudios de angiografía coronaria en nuestro país promoviendo el uso de estrategias de disminución de dosis con la finalidad de disminuir, a su vez, los riesgos potenciales de desarrollo de cáncer.

Objetivo general

1. Determinar cuál es el impacto de utilizar dos estrategias para la disminución de dosis de radiación administrada a pacientes sometidos a angiografía coronaria en el Hospital Christus Muguerza

de Monterrey, N.L. y comparar estos datos con los obtenidos en estudios y registros internacionales.

Objetivos específicos

1. Determinar cuál es el impacto de utilizar la técnica de adquisición con gatillado prospectivo sobre la dosis efectiva de radiación en pacientes sometidos a angiografía coronaria en el Hospital Christus Muguerza de Monterrey, N.L.
2. Determinar cuál es el impacto de utilizar la técnica de adquisición con gatillado prospectivo en combinación con el ajuste de kV (de acuerdo con el IMC del paciente) sobre la dosis efectiva de radiación en pacientes sometidos a angiografía coronaria en el Hospital Christus Muguerza de Monterrey N.L. (cuadro I).
3. Determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre las dosis efectivas de radiación en ambas estrategias.
4. Comparar las dosis efectivas de radiación de las dos estrategias descritas (1 y 2) con lo reportado en estudios internacionales.

Material y métodos

Tipo de estudio y metodología de la recolección de datos

Se analizó una serie de casos. El muestreo se realizó por conveniencia. Se incluyeron todos los pacientes a quienes se les realizó angiografía coronaria con protocolo de adquisición prospectiva gatillada del 1 marzo al 31 de julio de 2011. Se recolectaron los datos demográficos y la dosis efectiva de radiación (en mSv) de cada paciente.

La información se recolectó de las hojas de la entrevista previa a la angiografía coronaria, del reporte de dosis y de los parámetros de adquisición que se generan de la consola principal del tomógrafo después del estudio en el Departamento de Imagenología del Hospital Christus Muguerza.

Criterios de inclusión

Pacientes a los que se les realizó angiografía coronaria con protocolo axial, prospectiva gatillada, del 1 de marzo al 31 de julio de 2011 que contaran con información demográfica y clínica documentada en el expediente clínico.

Criterio de exclusión

Pacientes sin la información requerida en el expediente clínico.

Análisis de resultados

Se utilizaron análisis estadísticos simples como medidas de tendencia central, media, moda, mediana, desviación estándar y medidas de asociación. Se

Cuadro I. Variables

Nombre	Concepto	Definición operativa	Tipo	Escala	Fuente
Género	Sexo biológico	Masculino o femenino	Cualitativa	Nominal	Hoja de entrevista
Edad	Tiempo transcurrido desde el nacimiento de un individuo	Edad al momento del estudio	Cuantitativa discreta	Razón	Hoja de entrevista
Índice de masa corporal (IMC)	Medida de asociación entre el peso y la talla de un individuo	Volumen corporal que se expondrá a la radiación	Cuantitativa continua	Razón	Hoja de entrevista
Dosis efectiva de radiación en estudios de angiografía coronaria	Magnitud definida por la sumatoria de las dosis equivalentes en un tejido, multiplicada cada una por el factor de ponderación para el tejido correspondiente	Producto de multiplicación de la dosis a lo largo del escáner (DLP) por 0.014	Cuantitativa continua	Milisieverts (mSv)	Consola principal del tomógrafo
Adquisición prospectiva con gatillado electrocardiográfico	Adquisición de imágenes axiales que se inicia después de detectar el pico de la onda R en electrocardiograma y se limita a una fase predefinida del intervalo R-R. La emisión de rayos X se suspende durante el avance del paciente en la tabla a la siguiente posición del eje de las z, el proceso se repite hasta cubrir la longitud del escaneo planeado.	Conjunto de parámetros de adquisición de la angiografía coronaria que permiten una reducción de la dosis de radiación	Cualitativa	Nominal	Consola principal del tomógrafo
Ajuste de kV de acuerdo con el índice de masa corporal (IMC)	Energía del haz de rayos X emitida durante la adquisición del estudio ajustada de acuerdo con el índice de masa corporal (IMC)	IMC <30 = 100 kV IMC >30 = 120 kV	Cuantitativa discreta	kV	Consola principal del tomógrafo

utilizó el programa SPSS® para cálculo de medidas de asociación y Excel® para cálculo de medidas de tendencia central.

Resultados

Originalmente se obtuvo información de 35 pacientes pero en uno de ellos no existió información completa de la dosis efectiva de radiación por lo que sólo se incluyeron 34 pacientes que cumplieron con los criterios de inclusión.

En relación con las características generales 18 pacientes fueron hombres (53%) y el resto mujeres (47%) (figura 1). La edad promedio fue de 51.9 años (con una desviación estándar de 9.93); el promedio de peso fue de 81.1 ± 14 kg y el de talla 1.60 m. El índice de masa corporal fue 28.2 ± 3.9 kg/m² en promedio.

De los pacientes 20.6% era hipertenso, 11.8% diabético, 44% tenía dislipidemia y 26.5% antecedentes de tabaquismo (figura 2). Solo uno de los pacientes curso con infarto previo; 23.5% presentaba angina antes del estudio, 8.8% disnea y 38.2% dolor torácico atípico (figura 3). En 6% de los casos se había realizado angioplastia previa con implante de stent intracoronario.

En todos los pacientes se realizó angiografía coronaria con adquisición axial de tipo gatillada con electrocardiograma con protocolo prospectivo. En 26 casos (76%) la adquisición se realizó con una potencia de tubo de 120 kV y en el resto (7 casos, 16.2%) la potencia de tubo se disminuyó a 100 kV con base en el IMC de los pacientes; en un solo caso se realizó la adquisición con 80 kV. En relación con la corriente

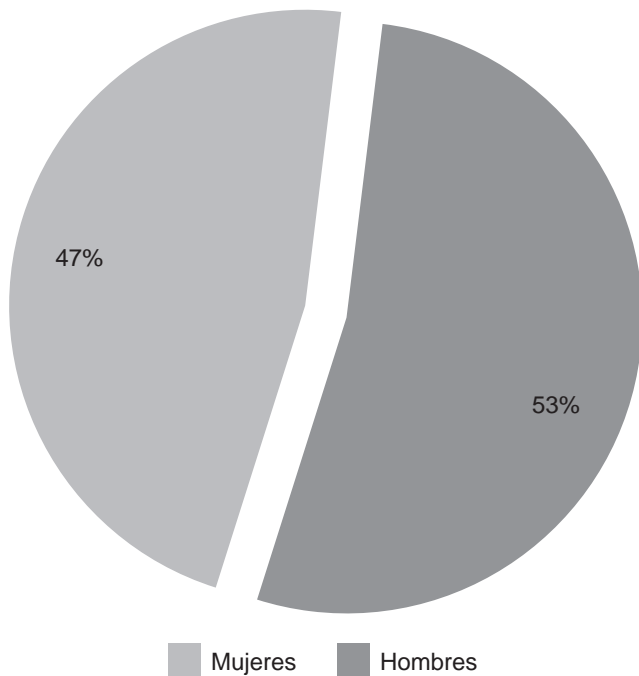


Figura 1. Porcentajes de pacientes según su género.

de tubo el promedio fue de 753.9 ± 59.9 mA (máxima 800 mA-mínima 600 mA) (figura 4).

La frecuencia cardíaca durante la adquisición del estudio se mantuvo, en promedio, en 56 ± 6.6 . La calidad de todos los estudios que se incluyeron se consideró diagnóstica .

La dosis efectiva de radiación administrada en todo el estudio, tomando en cuenta el *scout*, el índice de calcio y la angiografía fue de 8.3 ± 2.58 mSv; cuando sólo se cuantifica el estudio de angiografía el promedio es de 6.22 ± 1.67 mSv (figura 5).

Al separar los grupos de pacientes en donde se utilizó una energía de tubo de 120 kV el promedio de dosis efectiva fue de 6.8 mSv; en el grupo donde se usaron 100 kV el promedio fue de 4.4 mSv. En el caso único donde se realizó la adquisición con 80 kV se calculó una dosis efectiva de 1.4 mSv. Se realizó una correlación con prueba t de Student entre los grupos con 120 y con 100 kV obteniéndose una diferencia estadísticamente significativa en relación con la dosis efectiva de radiación ($p = 0.001$) (figura 6).

Cuando se comparó la dosis de radiación (DLP) obtenida en nuestro estudio con los resultados del estudio Protection II, donde se utilizó el modo de adquisición retrospectiva con gatillado electrocardiográfico más ajuste de potencia de tubo (kV) de acuerdo con el índice de masa corporal, se observó una disminución de la dosis de radiación cuando se utilizó dicho modo de adquisición prospectiva tanto en forma aislada como en combinación con el ajuste de kV con respecto al índice de masa corporal (figura 7).

Discusión

Con la introducción de la angiografía coronaria en la rutina clínica la exposición a la radiación ha permanecido como un área de constante preocupación.¹² El estudio Protection-I mostró que la dosis de radiación

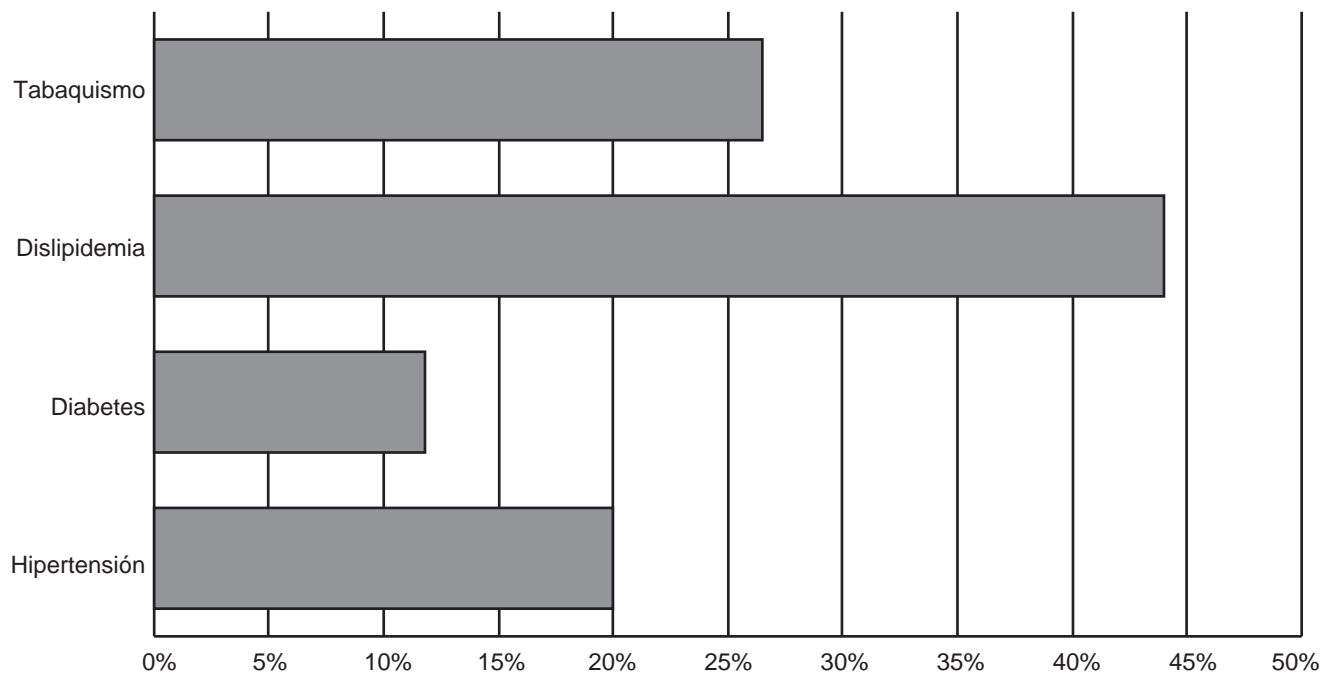


Figura 2. Antecedentes personales.

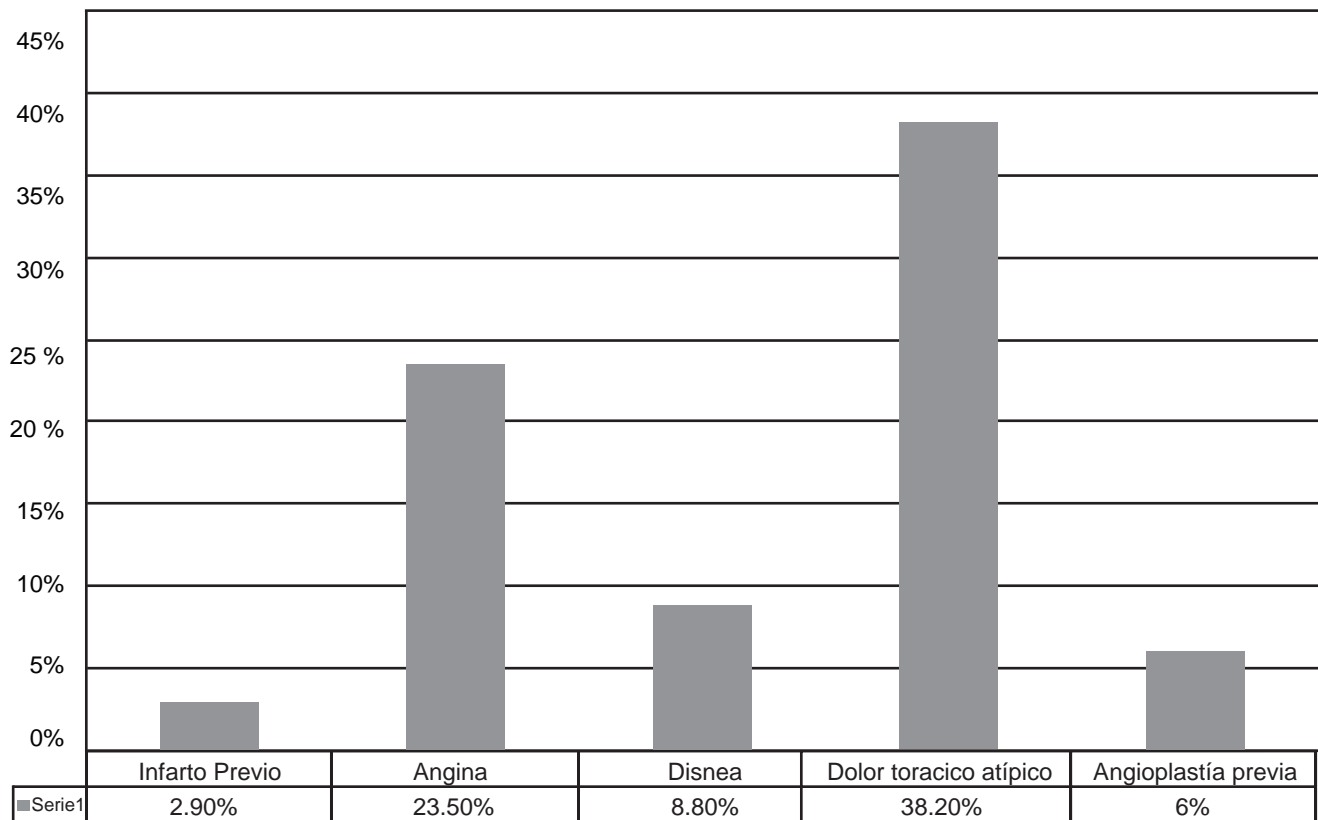


Figura 3. Datos clínicos previos al estudio.

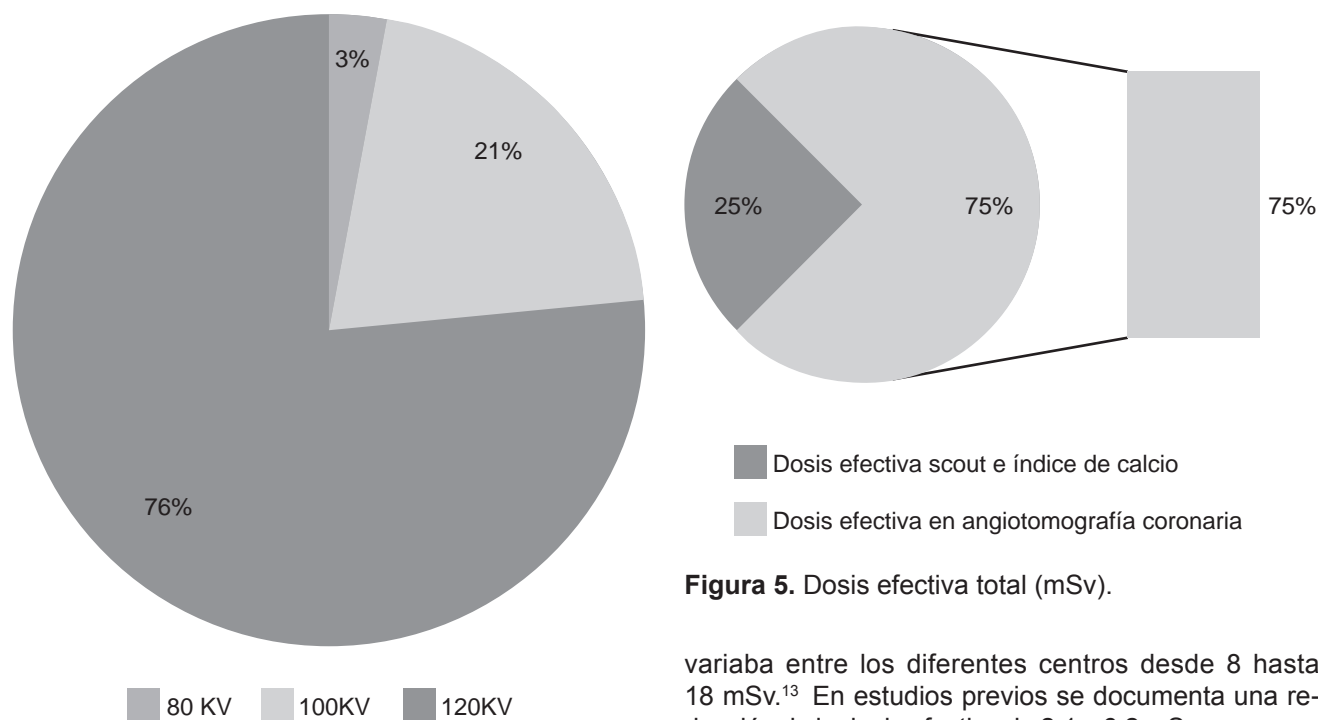


Figura 5. Dosis efectiva total (mSv).

Figura 4. Voltaje de acuerdo con el índice de masa corporal.

variaba entre los diferentes centros desde 8 hasta 18 mSv.¹³ En estudios previos se documenta una reducción de la dosis efectiva de 2.1 a 6.2 mSv con rango entre 1.0 y 11.9 mSv utilizando la adquisición prospectiva gatillada.^{10,14,15} Este tipo de adquisición ha emergido

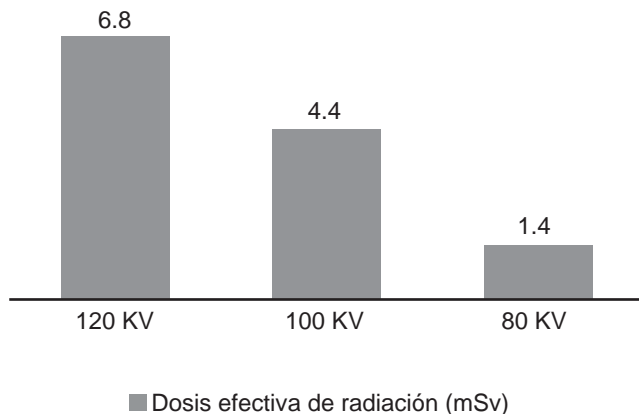


Figura 6. Dosis en relación con la cantidad de energía de tubo (mSv).

como una técnica alternativa para disminuir la dosis de radiación efectiva conservando una calidad de imagen adecuada. Incluso, en algunos casos, se ha reportado una mejoría de la calidad de imagen con esta técnica al compararla con la adquisición retrospectiva.^{13,16-19} La experiencia disponible con esta técnica sugiere que pueden obtenerse estudios de calidad diagnóstica con dosis de 1 a 6 mSv.^{9,20-23} La reducción de exposición a la radiación es de hasta 69%.¹⁹ La información obtenida en este trabajo correlaciona de manera adecuada con los datos que se reportan en estudios previos. En esta serie

de casos obtuvimos una dosis promedio de 6.22 mSv utilizando la técnica de adquisición prospectiva gatillada con electrocardiograma.

Si además regulamos la potencia de tubo con base en el IMC del paciente tendremos una reducción agregada de 20% (< 4 mSv) que correlaciona bien con otros estudios que reportan disminución de la dosis efectiva de radiación con idéntica técnica: Hospital Mount Sinai de Nueva York en 2009²⁴ (3.4 + 0.4 mSv), en Zurich en 2007²⁰ (2.1 + 0.6 mSv) y en el Hospital Universitario de Hiroshima en 2008 (4.1 + 1.8 mSv). Un potencial de tubo de 100 kV se ha utilizado de forma poco frecuente durante estudios de angiotomografía cardiaca en el pasado^{13,25} pero existen algunos estudios y un trabajo aleatorizado y multicéntrico que mostró equiparable calidad de imagen cuando se utilizan 100 kV en comparación con 120 kV en pacientes adultos no obesos.^{9,19,26,27-31} En dichos estudios se utilizaron 100 kV cuando los pacientes tenían < 90 kg o un índice de masa corporal > 30 kg/m². Actualmente el ajuste de potencia de tubo en relación con el IMC se encuentra dentro de las recomendaciones establecidas en consensos de expertos y publicados recientemente.¹

En esta serie de casos observamos que cuando se asocian ambas técnicas (adquisición axial prospectiva con gatillado electrocardiográfico más reducción del potencial de tubo de acuerdo con el índice de masa corporal o el peso) la dosis efectiva de radiación es aún menor y la diferencia (6.22 vs. 4.4 mSv) es estadísticamente significativa.

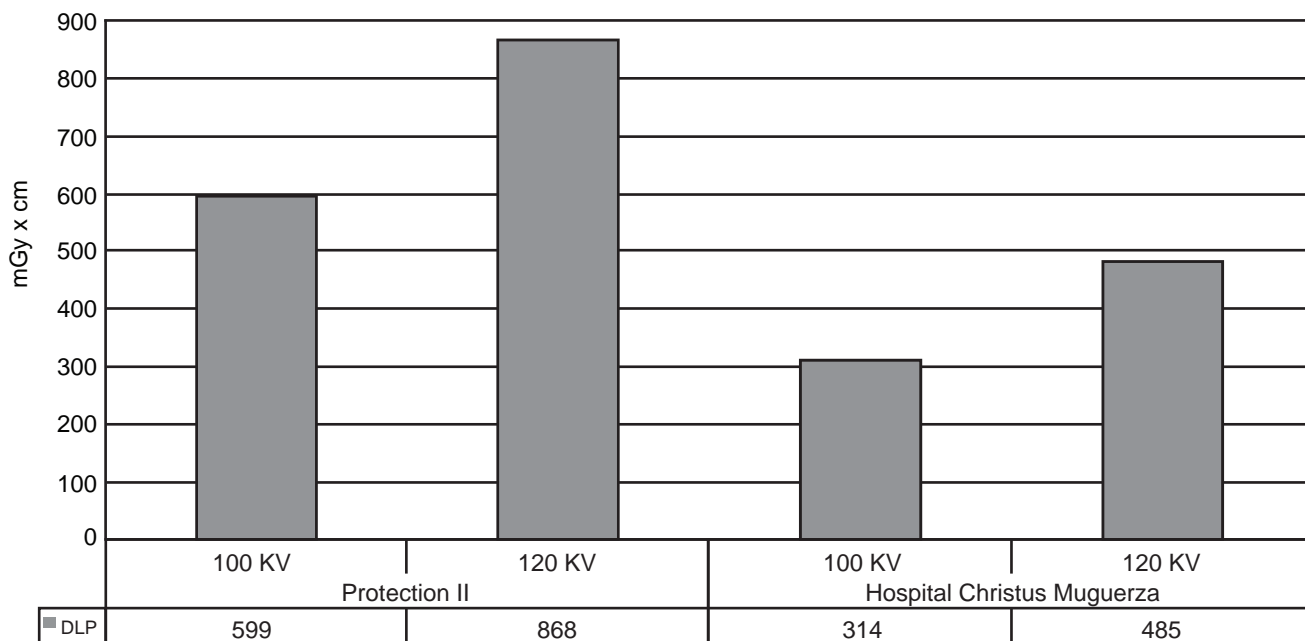


Figura 7. Comparación de las dosis multiplicadas por la longitud del escaneo (DLP) con los resultados del estudio Protection II.

Conclusión

En esta serie de casos se documenta la factibilidad de esta técnica con calidad diagnóstica y con una reducción significativa de dosis de radiación. Dicha reducción es aún mayor cuando se incluye la disminución de potencia

de tubo de acuerdo con el índice de masa corporal o el peso del paciente. Esta información es similar a la reportada en estudios previos y nos permite adaptar estas técnicas de uso sencillo para disminuir riesgos asociados con la exposición a radiación ionizante.

Referencias

- Halliburton S, Abbara S, Chen MY, Gentry R, Mahesh M, Raff GL, et al. SCCT guidelines on radiation dose and dose-optimization strategies in cardiovascular CT. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2011;5:198–224.
- Limacher MC, Pamela C, Douglas S, Germano G, Laskey WK, Bruce D, Lindsay BD, Mcketty MH, Moore ME. Radiation Safety in the Practice of Cardiology. *Journal of American College Cardiology* 1998;31:892–913.
- Achenbach S, Marwan M, Ropers D, Schepis T, Pflederer T, Anders K, 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;31:340–346.
- Mettler FA Jr., Huda W, Yoshizumi TT, Mahesh M: Effective doses in radiology and diagnostic nuclear medicine: a catalog. *Radiology* 2008;248:254–263.
- Budoff MJ, Dowe D, Jollis JG, Gitter M, Sutherland J, Halamert E, et al. Diagnostic performance of 64-multidetector 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;52:1724–1732.
- Hoffmann U, Pena AJ, Cury RC, Abbara S, Ferencik M, Moselewski F, Siebert U, Brady TJ, Nagurny JT. Cardiac CT in emergency department patients with acute chest pain. *Radiographics* 2006;26:963–980.
- Voros S, Rivera JJ, Berman DS, Blankstein R, Budoff MJ, Cury RC, et al. Guideline for minimizing radiation exposure during acquisition of coronary artery calcium scans with the use of multidetector computed tomography. A report by the Society for Atherosclerosis Imaging and Prevention Tomographic Imaging and Prevention Councils in collaboration with the Society of Cardiovascular Computed Tomography. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2011;5:75–83.
- Raff GL. Radiation dose from coronary CT angiography: Five years of progress. *Journal of Society of Cardiovascular Computed Tomography* 2010;4:365–374.
- Scheffel H, Alkadhi H, Leschka S, Plass A, Desbiolles L, Guber I, et al. Low-dose CT coronary angiography in the step-and-shoot mode: diagnostic performance. *Heart* 2008;94:1132–1137.
- Shuman WP, Branch KR, May JM, Mitsumori LM, Lockhart DW, Dubinsky TJ, Warren BH, Caldwell JH. Prospective versus retrospective ECG gating for 64-detector CT of the coronary arteries: comparison of image quality and patient radiation dose. *Radiology* 2008;248:431–437.
- Martin CJ. Effective dose: how should it be applied to medical exposures? *Br J Radiol* 2007;80:639–647.
- Einstein AJ, Henzlova MJ, Rajagopalan S. Estimating risk of cancer associated with radiation exposure from 64-slice computed tomography coronary angiography. *JAMA* 2007;298:317–323.
- Bischoff B, Hein F, Meyer T, Krebs M, Hadamitzky M, Martinoff S, et al. Comparison of sequential and helical scanning for radiation dose and image quality: results of the Prospective Multicenter Study on Radiation Dose Estimates of Cardiac CT Angiography (Protection) I Study. *Am J Roentgenol* 2010;194:1495–1499.
- Klass O, Jeltsch M, Feuerlein S, Brunner H, Nagel HD, Walker MJ, et al. Prospectively gated axial CT coronary angiography: preliminary experiences with a novel low-dose technique. *Eur Radiol* 2009;19:829–36.
- Blankstein R, Shah A, Pale R, Abbara S, Bezerra H, Bolen M, et al. Radiation dose and image quality of prospective triggering with dual-source cardiac computed tomography. *Am J Cardiol* 2009;103:1168–1173.
- Earls JP, Berman EL, Urban BA, Curry CA, Lane JL, Jennings RS, McCulloch CC, Hsieh J, Londt JH. Prospectively gated transverse coronary CT angiography versus retrospectively gated helical technique: improved image quality and reduced radiation dose. *Radiology* 2008;246:742–753.
- Maruyama T, Takada M, Hasuike T, Yoshikawa A, Namimatsu E, Yoshizumi T. Radiation dose reduction and coronary assessability of prospective electrocardiogram-gated computed tomography coronary angiography: comparison with retrospective electrocardiogram-gated helical scan. *J Am Coll Cardiol* 2008;52:1450–1455.
- Efstathiopoulos EP, Kelekis NL, Pantos I, Brountzos E, Argentos S, Grebac J, Ziaka D, Katritsis DG, Seimenis I. Reduction of the estimated radiation dose and associated patient risk with prospective ECG-gated 256-slice CT coronary angiography. *Phys Med Biol* 2009;54:5209–5222.
- Hausleiter J, Meyer T, Martuscelli E, Spagnolo P, Yamamoto H, Carrascosa P, et al. Prospective Randomized Trial on Radiation Dose Estimates of CT Angiography in Patients Scanned with a Sequential Scan Protocol—The protection III Study. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2010;4:S36.
- Husmann L, Valenta I, Gaemperli O, Adda O, Treyer V, Wyss CA, et al. Feasibility of low-dose coronary CT angiography: first experience with prospective ECG-gating. *Eur Heart J* 2008;29:191–197.
- Maruyama T, Takada M, Hasuike T, Yoshikawa A, Namimatsu E, Yoshizumi T. Radiation dose reduction and coronary assessability of prospective electrocardiogram-gated computed tomography coronary angiography: comparison with retrospective electrocardiogram-gated helical scan. *J Am Coll Cardiol* 2008;52:1450–1455.
- Blankstein R, Shah A, Pale R, Abbara S, Bezerra H, Bolen M, et al. Radiation dose and image quality of prospective triggering with dual-source cardiac computed tomography. *Am J Cardiol* 2009;103:1168–1173.
- Hirai N, Horiguchi J, Fujioka C, Kiguchi M, Yamamoto H, Matsuura N, et al. Prospective versus retrospective ECG-gated 64-detector coronary CT angiography: assessment of image quality, stenosis, and radiation dose. *Radiology* 2008;248:424–430.
- Carrascosa P, Capuñay C, Deviggiano A, Goldsmit A, Tajer C, Bettinotti M, et al. Accuracy of low-dose prospectively gated axial coronary CT angiography for the assessment of coronary artery stenosis in patients with stable heart rate. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2010;4:197–205.
- Wang D, Hu XH, Zhang SZ, Wu RZ, Xie SS, Chen B, Zhang QW. Image quality and dose performance of 80 kV low dose scan protocol in high-pitch spiral coronary CT angiography feasibility study. Publicado en línea el 4 de mayo de 2011.

- Int J Cardiovasc Imaging: doi:10.1007/s10554-011-9822-9825.
26. Stolzmann P, Scheffel H, Leschka S, Plass A, Baumüller S, Marincek B, et al. Influence of calcifications on diagnostic accuracy of coronary CT angiography using prospective ECG triggering. *AJR Am J Roentgenol* 2008;191:1684–1689.
 27. Feuchtner GM, Jodocy D, Klauser A, Haberfellner B, Aglan I, Spoeck A, et al. Radiation dose reduction by using 100-kV tube voltage in cardiac 64-slice computed tomography: a comparative study. *Eur J Radiol* 2010;75:51–56.
 28. Gutstein A, Dey D, Cheng V, Wolak A, Gransar H, Suzuki Y, et al. Algorithm for radiation dose reduction with helical dual source coronary computed tomography angiography in clinical practice. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2008;2:311–322.
 29. Hausleiter J, Martinoff S, Hadamitzky M, Martuscelli E, Pschierer I, Feuchtner GM, 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;3:1113–1123.
 30. Leschka S, Stolzmann P, Schmid FT, Scheffel H, Stinn B, Marincek B, et al. Low kilovoltagecardiacdual-source CT: attenuation, noise, and radiation dose. *Eur Radiol* 2008;18:1809–1817.
 31. Pflederer T, Rudofsky L, Ropers D, Bachmann S, Marwan M, Daniel WG, et al. Image quality in a low radiation exposure protocol for retrospectively ECG-gated coronary CT angiography. *Am J Roentgenol* 2009;192:1045–1050.