



Tomografía computada: grandes beneficios con gran responsabilidad

Arturo García-Escobedo,* Carolina González-Vergara†

Resumen

En la actualidad, los estudios tomográficos se consideran casi una rutina debido a su amplia disponibilidad y precisión diagnóstica; sin embargo, aunque en los tiempos modernos la radiación ionizante emitida por este método de imagen ha disminuido, su uso debe ser responsable y apegado a una buena práctica. El objetivo de este artículo es conocer las dosis de radiación a las que están expuestos los pacientes en tomografías realizadas por médicos en formación y comparar las dosis efectivas obtenidas con las recomendadas por la Asociación Americana de Físicos en Medicina. Se calcularon las dosis efectivas de 419 estudios tomográficos de diferentes áreas corporales realizadas con un tomógrafo General Electric Lightspeed Ultra de 16 cortes por médicos residentes de primero y segundo año en un lapso de ocho meses. Los valores de las dosis efectivas se sobrepasaron en 25.7% de los estudios, con una media de 3.1 mSv por encima de las recomendaciones de las guías internacionales, obteniéndose un mayor índice de sobreexposición en los estudios de cráneo contrastado. Médicos y técnicos radiólogos deben apegarse a los principios de protección radiológica para disminuir el riesgo de efectos estocásticos, realizando una práctica responsable y evitando la sobreexposición.

Palabras clave: Dosis efectiva, límite de dosis, radiación, radiación ionizante, tomografía computada.

Summary

Nowadays, tomographic studies are considered almost routine due to their wide availability and diagnostic accuracy. Nevertheless, even through the ionizing radiation emitted by this imaging method is deemed low, their usage must be responsible and attached to good practice to avoid overexposure. This article was designed to know the radiation dose to which patients are exposed during CT scans performed by resident physicians in their training and compare the effective doses obtained with those recommended by the American Association of Physicists in Medicine. The effective doses of 419 tomographic studies of different body areas practiced by resident physicians with a General Electric scanner Lightspeed Ultra 16 beams were calculated. The imaging studies were performed on a population ranging between one and 102 years of age, with an average of 52.7 years. The values of the effective doses were surpassed in 25.7% of the studies, with an average of 3.1 mSv above the recommendations of the international guidelines. The highest rate of overexposure was observed in contrast cranial studies. Radiologist physicians and technologists must improve the technique according to the principles of radiation safety to diminish stochastic risks, raising awareness of radiation exposure for a responsible usage of diagnostic CT scans.

Key words: Effective doses, dose limit, radiation, ionizing radiation, computed tomography.

* Universidad La Salle.

† Radiología. Jefa de Educación Médica.

Hospital Ángeles Mocol.

Correspondencia:

Dr. Arturo García-Escobedo

Gelati 29-409, Col. San Miguel Chapultepec,

Del. Miguel Hidalgo, 11850, México, D.F.

Correo electrónico: dr.arturogarcia@hotmail.com

Aceptado: 24-07-2015.

Este artículo puede ser consultado en versión completa en <http://www.medigraphic.com/actamedica>

INTRODUCCIÓN

El avance tecnológico y económico, así como la gran disponibilidad de técnicas de imagen que utilizan radiación ionizante como la tomografía computada (TC) han generado un importante incremento en el número de estudios que se realizan a diario. La integración de la tomografía en la práctica médica de rutina ha mejorado la atención a la salud de manera espectacular, obteniéndose a su vez un incremento en el diagnóstico oportuno y preciso de múltiples enfermedades. Este hecho ha sido acompañado de muchas dudas y preocupaciones sobre los riesgos

asociados a la tomografía computada y otros estudios con radiación ionizante, por lo que asociaciones radiológicas internacionales están dedicando gran parte de su tiempo a la vigilancia y disminución de dosis.¹

El número total de TC realizadas anualmente en los Estados Unidos ha aumentado de aproximadamente tres millones en 1980 a casi 70 millones en 2007. La TC utiliza dosis de radiación mucho más altas en comparación con los estudios convencionales de diagnóstico. Por ejemplo, una tomografía computada del tórax típicamente ofrece más de 100 veces la dosis de radiación que una proyección posteroanterior y lateral de tórax.²

Aunque actualmente no existe información estadística precisa de que altas dosis de radiación recibidas por estudios médicos como la tomografía computada y la medicina nuclear incrementen la incidencia de cáncer, un estudio del 2004 sugiere que la exposición a radiación médica puede ser la responsable de aproximadamente el 1% del cáncer en los Estados Unidos.³ El estudio epidemiológico más completo que apoya la carcinogenicidad de la radiación es el de los sobrevivientes de la bomba atómica en Japón, el cual muestra un incremento estadístico significativo de cáncer en dosis estimadas que exceden los 50 mSv para una exposición aguda.⁴

Si existe controversia respecto a estas cifras, vale la pena señalar que muchos estudios tomográficos contrastados tienen un rango de dosis efectivas entre los 10 y 30 mSv.⁵ Algunos pacientes son sometidos a múltiples estudios de tomografía computada y no sería inusual encontrar individuos con exposición acumulada a más de 50 mSv.

No está determinado el límite de dosis anual permitida a pacientes; sin embargo, la dosis establecida para personal ocupacionalmente expuesto (POE) es de 50 mSv, y la del público en general, de 5 mSv anuales de acuerdo con la NOM 229 de Salud Ambiental, mientras que la Comisión Internacional de Protección Radiológica—conocida por sus siglas en inglés como la ICRP— sugiere 20 mSv por año.^{6,7}

En la validación de esta preocupación, la ICRP ha informado que las dosis de TC pueden, de hecho, acercarse o superar los niveles que se han demostrado para dar lugar a un aumento en el riesgo de cáncer.³

La exposición a la radiación ionizante en los exámenes de tomografía computada ha incrementado debido al aumento en la velocidad de adquisición y a un número mayor de cortes por rotación axial, aún más en estudios vasculares cardíacos y aquellos con un mayor número de fases. Por la alta calidad y demanda de estos estudios, existen actualmente sistemas entre ocho y 64 cortes en todos los hospitales y gabinetes radiológicos modernos en México y el resto del mundo.

Existe poca difusión y conocimiento sobre la radiación ionizante recibida en estudios tomográficos. Un artículo

publicado en 2004 por Lee y su grupo reportó que 64% de los pacientes, 56% de los radiólogos y 44% de los médicos de urgencias creían que una TC de abdomen equivalía a menos de 10 radiografías del tórax.⁸

La tomografía ha demostrado, sin duda, ser una de las más importantes modalidades de diagnóstico en la actualidad, por lo que es necesario que el médico y el personal técnico que maneja esta herramienta conozcan los efectos de la radiación ionizante, sepan interpretar las mediciones que muestran los equipos e identifiquen los rangos de dosis que sobrepasen las recomendadas.¹

Cualquier parte de la célula puede ser alterada por radiación ionizante; sin embargo, el ADN es el blanco biológico más afectado debido a que una dosis absorbida lo bastante elevada (2 Grays) puede generar centenares de lesiones irreparables en sus moléculas. El daño que queda sin reparar o es mal reparado puede manifestarse en mutaciones cuya frecuencia está en relación con la dosis recibida.⁹

En este artículo, se revisan conceptos básicos que mejorarán la comprensión de los resultados obtenidos en el estudio, sin pretender un análisis profundo en los conceptos físicos relacionados con la adquisición de valores de radiación; sin embargo, los autores consideramos de vital importancia concientizar al POE sobre las dosis recomendadas para la población y generar interés sobre el tema en los especialistas no radiólogos, que suelen ser los que solicitan los estudios.

MARCO TEÓRICO

El estudio que se realizó está enfocado a la tomografía computada (TC), ya que es el método de imagen más utilizado en el cual la radiación ionizante es mayor. Para disponer de información sobre las dosis impartidas por los equipos de TC, se han establecido varios índices de dosis asociados con esta técnica. Con el tiempo se ha generalizado el uso del “índice de dosis de tomografía computarizada”, que en lo sucesivo denominaremos, por sus siglas en inglés, CTDI (*Computed Tomography Dose Index*).¹⁰

El CTDI se define como la integral del perfil de dosis de un único corte a lo largo de una dirección “z” paralela al eje de simetría, dividida por el espesor nominal de corte “T”.¹⁰ En las medidas con maniquí estándar de cuerpo o cabeza, debido a que hay mucha más radiación dispersa, los valores que se obtienen dependen fuertemente de los límites de integración, por lo que es muy difícil estimar el CTDI sin conocer el perfil de dosis. Por ello, en los últimos tiempos se ha ido popularizando el uso de una magnitud denominada originalmente “CTDI práctico”, que ha pasado a ser denominado “CTDI 100 mm”, definido como el CTDI original, pero con límites de integración fijos.^{10,11}

El ponderado $CTDI_{100}$ se mide colocando cámaras de ionización en forma de lápiz en el centro y periferia de un maniquí estándar. Cuando estas mediciones se suman, considerando que el centro corresponde a una tercera parte y la periferia a dos terceras partes, se obtiene el $CTDI_{Wi}$; por lo tanto, se considera que es la radiación en los ejes "x" y "y".¹²

El $CTDI_{VOL}$ considera la radiación en los tres ejes de la exploración en un volumen de tamaño estandarizado.¹²

Cuando tomamos en cuenta la longitud de exploración en centímetros y la multiplicamos por el $CTDI_{VOL}$, obtenemos el producto "dosis por longitud" (DLP), que es proporcional a la radiación total absorbida; por lo tanto, a mayor DLP existe un mayor riesgo relacionado con la exposición a la radiación.¹²

La dosis efectiva es la suma ponderada de las dosis equivalentes a todos los tejidos y órganos, e indica la combinación de diferentes dosis en diferentes tejidos, de manera que sea posible la correlación con los efectos estocásticos, que son aleatorios. Esto hace que sea aplicable aunque la distribución de la dosis absorbida por el cuerpo humano no sea homogénea. La unidad de medición de la dosis efectiva es el Julio por kilogramo (J/kg), y se le da el nombre especial de "Sievert" (Sv). La diferencia con la unidad de la dosis absorbida, que se expresa en Grays (Gy), es que el Sv está corregido por el daño biológico.

Para obtener una medición aproximada en mSv de la dosis efectiva a la que el paciente fue expuesto en un estudio tomográfico, se multiplica el DLP por un factor constante, el cual se encuentra determinado y es diferente para cada área anatómica. Estos valores constantes están de acuerdo con las guías europeas de criterios de calidad para la TC.¹³⁻¹⁵

La dosis efectiva es normalizada por el producto de DLP para adultos y pacientes pediátricos de varias edades en diferentes partes del cuerpo.

El factor de conversión para la cabeza y el cuello en adultos y pacientes pediátricos asume el uso de un espectro de dosis en TC para 16 cm. Todos los demás factores de conversión suponen el uso de un espectro para 32 cm de diámetro.

En el *cuadro I* se presentan los valores constantes que toma en cuenta el Grupo de Trabajo Europeo de Directrices sobre Criterios de Calidad en Tomografía Computada.¹⁰

Los parámetros de CTDI y DLP son recabados por el tomógrafo y aparecen en el informe de dosis por paciente durante una exploración de tomografía computada (*Cuadro II*). Ésta es una de las principales aportaciones de los tomógrafos computados modernos. Todos los fabricantes de escáneres han adoptado el indicador CTDI aconsejado por la FDA (*Food and Drug Administration*) norteamericana.

Con la caracterización que se puede obtener de la dosis de radiación en términos de "dosis efectiva" (recordando que ésta refleja la diferencia en la sensibilidad biológica), puede entonces compararse este valor con otros riesgos de radiación; por ejemplo, de otros estudios realizados más la dosis de radiación de fondo natural al año, nos permite obtener el potencial relativo de daños por los exámenes diagnósticos.¹²

En el *cuadro III* se muestran los valores típicos de dosis efectiva para varios exámenes de imagen comunes, tanto tomográficos como convencionales, así como el nivel anual de radiación de fondo en Estados Unidos.¹²

MATERIAL Y MÉTODOS

Durante el periodo de julio del 2012 a febrero del 2013 se documentaron las tomografías computadas realizadas con un tomógrafo General Electric Lightspeed Ultra de 16 cortes en el Hospital Ángeles Mocol, capturándose los datos de 419

Cuadro I. Relación de constantes como factores de conversión por grupos de edad y área explorada.

Región del cuerpo	K (mSv mGy ⁻¹ cm ⁻¹)				
	< 1 año	1 año	5 años	10 años	Adultos
Cabeza y cuello	0.013	0.0085	0.0057	0.0042	0.0031
Cabeza	0.011	0.0067	0.0040	0.0032	0.0021
Cuello	0.017	0.012	0.011	0.0079	0.0059
Tórax	0.039	0.026	0.018	0.013	0.014
Abdomen y pelvis	0.049	0.030	0.020	0.015	0.015
Toracoabdominal	0.044	0.028	0.019	0.014	0.015

Tomada y traducida de http://www.aapm.org/pubs/reports/rpt_96.pdf.¹²

estudios; de ellos, 206 fueron de cráneo, 46 de tórax, 132 abdominopélvicos, 24 urotomografías y 11 toracoabdominales.

Población

Los estudios se realizaron en una población de 232 mujeres y 187 hombres, con edades entre uno y 102 años, teniendo una población mayormente adulta, con un promedio de edad de 52.7 años.

Técnica de los estudios tomográficos

Se incluyeron exclusivamente estudios tomográficos realizados por médicos residentes de primero y segundo año. Los

mAs por rotación y la longitud de escaneo fueron variables, con un rango de 210-280 mAs, con una variación mínima que se presenta en el *cuadro IV*, considerando el índice de masa corporal (IMC) del paciente y la sospecha diagnóstica del lugar de lesión, respectivamente.

Se documentó el tipo de estudio, edad, sexo y DLP. Se multiplicó el valor de DLP obtenido en nuestros estudios tomográficos por el valor constante de las guías europeas para obtener el valor total de mSv por estudio. Una vez obtenido, se comparó con las dosis efectivas típicas (*Cuadro IV*) y se obtuvo la cantidad en mSv por arriba de lo que se estima como recomendado.⁸⁻¹²

En los estudios de más de una serie, se multiplicó el valor de dosis efectiva típica por el número de series que se realizaron.

Cuadro II. Informe de dosis de radiación tomado y traducido de la pantalla de un tomógrafo General Electric Lightspeed Ultra de 16 cortes.

Descripción del examen: abdomen					
Reporte de dosis					
Serie	Tipo	Rango de escaneo (mm)	CTDIvol (mGy)	DLP (mGy-cm)	Maniquí (cm)
1	Scout	----	----	----	----
2	Helical	S16.500-I358.500	30.39	1,245.98	Cuerpo 32
201	Axial	I40.250-I40.250	17.50	17.52	Cuerpo 32
3	Helical	S16.500-I358.500	30.39	1,214.47	Cuerpo 32
3	Helical	S46.250-I358.750	24.87	1,084.95	Cuerpo 32
DLP Total del examen				3,562.92	

Cuadro III. Valores de dosis efectivas típicas para exámenes de imagen convencionales y tomográficos.

Valores de dosis efectivas típicas para estudios convencionales no tomográficos (mSv)		Valores de dosis efectivas típicas para estudios tomográficos (mSv)	
Radiografía de mano	< 0.1	Cráneo	1-2
Ortopantomografía	< 0.1	Tórax	5-7
Radiografía de tórax	0.1-0.2	Abdomen	5-7
Mamografía	0.3-0.6	Pelvis	3-4
Radiografía de columna lumbar	0.5-1.5	Abdomen y pelvis	8-14
Colon por enema	3-6	Tomografía de coronarias para medición de calcio	1-3
Angiografía coronaria	5-10	Angiotomografía de coronarias	5-15
Gammagrafía de perfusión miocárdica con Sestamibi	13-16		
Perfusión miocárdica con Talio	35-40		

Nota: Promedio de la radiación de fondo en Estados Unidos a partir de fuentes naturales ≈ 3.0 mSv (rango 1-10 mSv). Tomada y traducida de AAPM Report Núm. 96.¹²

RESULTADOS

El 55.13% de la muestra total está constituido por personas de más de 50 años, mientras que sólo el 7.39% son menores de 20 años, dejando un 37.47% a los adultos en plenitud.

Los valores de DLP excedieron el valor recomendado por las guías europeas en un 25.7% de la población estudiada.

En el *cuadro V* se muestra el exceso de dosis y el porcentaje por edad en los casos en los que fue superada la dosis efectiva recomendada.

En los pacientes menores de 20 años se obtuvo el mayor porcentaje de estudios que superaron el índice de dosis efectiva, siendo de 41.9%, con una marcada diferencia con respecto al 24.8 y 24.2% en los grupos de edad de 21 a 49 y mayores de 50 años, respectivamente. El rango de valor promedio de dosis en los estudios realizados fue de 15.56 a 16.08 mSv; estos últimos muy parecidos entre los diferentes grupos de edad; sin embargo, el valor promedio de dosis excedida fue más alto en el grupo de mayores de 50 años siendo de 4.61 mSv contra 2.95 y 2.53 mSv en los grupos de 21 a 49 años y menores de 20 años, respectivamente.

En los estudios de cráneo y tórax contrastados observamos el porcentaje más relevante que supera el índice.

En los de cráneo, el 54.54% de los estudios sobrepasan la dosis recomendada con un promedio de 2.82 mSv. En los de tórax, el 45.8% de los estudios sobrepasan la dosis recomendada con un promedio de 11.36 mSv.

En un promedio general, los estudios que rebasaron el valor recomendado por las guías europeas lo hicieron por 3.76 mSv.

La dosis promedio de los estudios fue de 13.95mSv.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos demuestran que la población general está siendo sometida a elevados niveles de dosis efectivas de radiación al realizarse estudios tomográficos, situación por la cual se debe hacer conciencia a los clínicos, médicos radiólogos y personal técnico radiológico para buscar que en los métodos de diagnóstico que utilizan radiación ionizante se evite la sobreexposición para disminuir el riesgo de efectos estocásticos, que son aleatorios y no tienen relación con la dosis.

Las normas oficiales de salud ambiental, específicamente en lo que se refiere a protección radiológica en México (NOM 229), al día de hoy aprueban un límite de dosis

Cuadro IV. Valores de mAs por rotación, longitud de escaneo y número de series por estudio realizado.

Estudio	mAs por rotación	Longitud de escaneo (cm)	Número de series
Cráneo	210 - 260	20	1
Cráneo contrastado	210 - 260	20	2
Tórax	180 - 220	40	1
Tórax contrastado	180 - 220	40	2
Abdomen y pelvis	210 - 280	40	1
Abdomen y pelvis contrastado	210 - 280	40	3
Urotomografía	210 - 280	40	4
Toracoabdominal	210 - 280	80	3

Cuadro V. Relación entre el número de pacientes y exceso de dosis por grupos de edad.

Edad	Número total de estudios	Número de estudios que superaron el índice	Porcentaje de estudios que superaron el índice	Valor promedio de dosis en estudios realizados	Valor promedio de dosis excedida
1 a 20 años	31	13	41.9	16.08 mSv	2.53 mSv
21 a 49 años	157	39	24.8	16.77 mSv	2.95 mSv
50 a 102 años	231	56	24.2	15.56 mSv	4.61 mSv

para efectos estocásticos de 5 mSv anuales para público en general y 50 mSv para personal ocupacionalmente expuesto; sin embargo, no existe un límite de dosis establecido para pacientes.

Este trabajo demostró que en el 25.7% del total de los casos se excedió la dosis en un promedio de 3.1 mSv por arriba de lo recomendado por las guías europeas; aunque no es clínicamente significativo, debe hacerse énfasis al personal médico que se apegue a las diferentes técnicas de reducción y modulación de dosis, las cuales siguen el principio ALARA (*as low as reasonably achievable*), que se refiere a realizar “el mejor estudio con la menor dosis posible”. Así se conseguirá disminuir la dosis de exposición a radiación, sobre todo en pacientes que continuamente son sometidos a estudios que utilizan radiación ionizante por requerimiento médico, como aquellos con enfermedad cerebro-vascular o en el seguimiento de neoplasias.

CONCLUSIÓN

Los radiólogos que participan en los diferentes grupos académicos y en la formación de residentes deben ser los que tomen el liderazgo en la difusión de las buenas prácticas médico-radiológicas, así como en la vigilancia permanente en lo que se refiere a protección radiológica, verificando que los estudios tomográficos se lleven a cabo de manera responsable, disminuyendo la longitud irradiada, evitando repetición de secuencias o cortes en zonas innecesarias y optimizando los protocolos de exploración con la disminución de los mAs, con cuidado de no disminuir o afectar la calidad diagnóstica.

GLOSARIO

El CTDI representa la dosis absorbida para una exploración axial (una rotación del tubo de rayos X); es decir, la dosis de una serie de irradiaciones contiguas promediada a lo largo del eje z.

El CTDI100 representa la dosis de cortes múltiples acumulada al centro de una exploración de 100 mm; estos límites de integración específicos (± 50 mm) se corresponden con los 100 mm de largo de la cámara de ionización “lápiz” disponible comercialmente (3 cm³ de volumen activo).

Dosis acumulativa. La resultante de escanear un fantoma moviéndose a lo largo del eje z a través de un haz de rayos X se puede conceptualizar como la acumulación de dosis resultante de perfiles de dosis individuales $f(z)$, estacionarios y longitudinalmente desplazados. $DL(z)$ es la dosis acumulativa medida en mGy en la posición z resultante de barrer sobre un rango L. $D(z=0)$ provee la dosis acumulativa en el punto medio del L . $D(z=0) = \int f(z) dz$

REFERENCIAS

1. Haaga JR. Radiation dose management: weighing risk versus benefit. *AJR Am J Roentgenol*. 2001; 177: 289-291.
2. Smith-Bindman R, Lipson J, Marcus R, Kim KP, Mahesh M, Gould R et al. Radiation dose associated with common computed tomography examinations and the associated lifetime attributable risk of cancer. *Arch Intern Med*. 2009; 169 (22): 2078-2086.
3. Amis ES Jr, Butler PF, Applegate KE, Birnbaum SB, Brateman LF, Hevezi JM et al. American College of Radiology white paper on radiation dose in medicine. *J Am Coll Radiol*. 2007; 4 (5): 272-284.
4. Pierce DA, Preston DL. Radiation-induced cancer risks at low dose among atomic bomb survivors. *Radiat Res*. 2000; 154: 178-186.
5. Brenner D, Hall E. Computed tomography –an increasing source of radiation exposure. *N Engl J Med*. 2007; 357 (22): 2277-2284.
6. Norma Oficial Mexicana NOM-229-SSA1-2002 Salud Ambiental.
7. CRP, 1991. Annual limits on intake of radionuclides by workers based on the 1990 recommendations. ICRP Publication 61. Ann. ICRP 21 (4).
8. Lee CI, Haims AH, Monico EP, Brink JA, Forman HP. Diagnosis CT scans: assessment of patient, physician, and radiologist awareness of radiation dose and possible risks. *Radiology*. 2004; 231 (2): 393-398.
9. Berrington de Gonzalez A et al. Tracking radiation exposure from medical diagnostic procedures: workshop reports. *Arch Intern Med*. 2009; 169 (22): 2071-2077.
10. Calzado A. El índice de dosis de tomografía computarizada. Definiciones, medidas y magnitudes asociadas. *Boletín SEFM*. 6-1997.
11. Shope TB, Gagne RM, Johnson GC. A method for describing the doses delivered by transmission X ray computed tomography. *Med Phys*. 1981; 8: 488-495.
12. Mendizábal-Méndez AL. Radiación ionizante en tomografía computada: un tema de reflexión. *Anales de Radiología México*. 2012; 2: 90-97.
13. Bongartz G, Golding SJ, Geleijns J et al. European guidelines on quality criteria for computed tomography.
14. American Association of Physicists in Medicine. The measurement, reporting and management of radiation dose in CT: report of AAPM Task Group 23 of the Diagnostic Imaging Council CT Committee. College Park, MD American Association of Physicists in Medicine 2008; AAPM report 96.
15. Nickoloff EL, Alderson PO. Radiation exposures to patients from CT: reality, public perception, and policy. *AJR Am J Roentgenol*. 2001; 177: 285-287.