Dosis de radiación al cristalino y al cerebro en estudios de tomografía computarizada. La importancia de la justificación de los estudios

*Radiation dose to the eye lens and brain due to computed tomography.
The importance of the justification of the exams*

Xochitl Lopez-Rendon^{1*} y Thamar Gómez-Villegas²

¹Departamento de Neuroimagen; ²Departamento de Neuro-oftalmología. Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía Manuel Velasco Suárez, Ciudad de México, México

RESUMEN

Objetivo: Conocer las dosis acumuladas que pueden estar asociadas a estudios repetidos de tomografía computarizada (TC) para mostrar la importancia de la justificación.

Método: A una paciente se le realizaron varios estudios de TC, 35 TC de cráneo, 4 TC de tórax, 2 angiotomografías computarizadas (ATC) de tórax, 2 ATC de cráneo y 1 TC de senos, durante 5 meses. Debido a esto, se llevó a cabo una estimación de la dosis al cristalino y al cerebro para mostrar la importancia de la justificación de los estudios. La dosis al cristalino y al cerebro se estimó utilizando CT-Expo v.2.4, un *software* para dosimetría en TC, donde son considerados todos los parámetros de la adquisición de los estudios.

Resultados: La dosis acumulada al cristalino y al cerebro atribuida a las 44 exploraciones por TC fue de 1860 mGy y 1580 mGy, respectivamente. No siempre hubo una justificación clara de todas las TC realizadas. **Conclusiones:** La dosis acumulada al cristalino fue más de 3 veces el umbral establecido por la Comisión Internacional de Protección Radiológica para las opacidades detectables. Los médicos deben comprender y justificar siempre los estudios para evadir cualquier daño a los pacientes y evitar altas dosis acumuladas cuando no estén justificadas.

Palabras clave: Tomografía computarizada. Dosis de radiación. Justificación. Cristalino.

Correspondencia:

*Xochitl Lopez-Rendon

E-mail: xochitl.lopez@innn.edu.mx

Recibido: 14-05-2019

Aceptado: 27-05-2019

DOI: 10.24875/ARM.19000131

1665-2118/© 2019 Sociedad Mexicana de Radiología e Imagen, AC. Publicado por Permayer. Éste es un artículo open access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

ABSTRACT

Objective: To know the accumulated doses that can be associated to repetitive computed tomography (CT) scans to show the importance of the justification. **Method:** A single patient underwent several CT studies, 35 head CTs, 4 chest CT, 2 chest CT angiography (CTA), 2 head CTA and 1 sinuses CT, during 5 months. Due to this, an estimation of the dose to the eye lens and brain was performed to show the importance of the justification of the exams. The dose to the eye lens and brain was estimated using CT-Expo v.2.4, a dedicated CT dosimetry software, where all the CT parameters of each of the scans were considered. **Results:** The cumulative dose to the eye lens and brain attributed to the 44 CT scans was 1860 mGy and 1580 mGy, respectively. There was not always a clear justification of all the performed CT scans. **Conclusions:** The cumulative dose to the eye lens was more than 3 times the threshold established by the International Commission on Radiological Protection for detectable opacities. Medical doctors should understand and always justify the examinations to avoid any detriment to the patients and avoid high cumulative doses when not justified.

Key words: Computed tomography. Radiation dose. Justification. Eye lens.

INTRODUCCIÓN

Debido al rápido desarrollo de la tecnología, el uso de los estudios de diagnóstico ha ido incrementando. En particular, el uso de la tomografía computarizada (TC) ha aumentado por tres veces en los últimos años¹, y se ha convertido en una herramienta esencial en los departamentos de emergencia². Sin embargo, el uso de la TC tiene que estar siempre justificado, como se indica en las Recomendaciones y Regulaciones Internacionales³⁻⁴, debido a que se considera una técnica de imagen que imparte una dosis de radiación relativamente alta al paciente. Por esta razón es importante conocer cómo funciona esta modalidad del diagnóstico para poder usarla de manera consecuente⁵.

La comprensión inadecuada de la radiación ionizante por parte de los profesionales médicos contribuye tanto al uso excesivo, como al mal uso de las TC. Puri, et al. implementaron

una evaluación de lo apropiado de los estudios de TC y del proceso de justificación, después de que una revisión retrospectiva de las solicitudes de TC mostrara que los médicos de los departamentos de emergencias consideraron que entre el 25 y el 50% de los estudios realizados eran innecesarios⁶. Otros estudios también han demostrado que la confianza sobre el conocimiento de la radiación ionizante en los médicos del servicio de urgencias es baja⁷ y la falta de conocimiento se generaliza, independientemente del departamento⁸⁻⁹. Por lo tanto, el uso de TC no siempre es apropiado y la falta de justificación puede ser una práctica común.

Se ha descrito que la dosis al cristalino debida a las TC oscila entre 10 y 60 mGy, según el protocolo y el tomógrafo utilizado, y si se realizan exploraciones de manera repetitiva, existe un riesgo potencial de desarrollar cataratas inducidas por radiación¹⁰. Además, recientemente se ha estimado que la dosis

TABLA 1. Parámetros de los cinco protocolos de tomografía

Protocolo	kVp	mAs (rango)	TCM	CTDI _{vol} promedio (mGy)	DLP promedio (mGy cm)
Cráneo	120	(227-497)	Sí	42.6	874.1
Tórax	120	(128-240)	Sí	12.6	353.5
Angiotomografía de cráneo	120	200	No	15.3	442
Angiotomografía de tórax	100	155	Sí	6.9	228
Senos paranasales	120	250	No	40.7	619

CTDI_{vol}: índice volumétrico de dosis en tomografía computarizada; DLP: producto dosis- longitud; mAs: producto corriente- tiempo; TCM: modulación de la corriente.

umbral para producir opacidades en el cristalino es de 500 mGy para dosis agudas o fraccionadas, que es un valor más bajo de lo que se pensaba anteriormente¹¹.

La falta de conocimiento sobre la radiación ionizante por parte de los médicos puede resultar en una exposición innecesaria del paciente a la misma si se ordenan exploraciones repetidas sin justificación. En consecuencia, es importante que los médicos estén conscientes de las dosis asociadas a los estudios de TC. El objetivo de este estudio fue estimar la dosis al cristalino y al cerebro de una paciente que se sometió a 44 TC durante sus 5 meses de estadía en un hospital, para mostrar la importancia de la justificación de los exámenes de TC.

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante una primera revisión de la dosimetría en TC en el Departamento de Neuroimagen del Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía, se encontró un pico para una paciente a la que se le realizaron 44 estudios de TC en un período de 5 meses. La investigación consistió en una revisión de los parámetros técnicos de los estudios de TC, esfuerzos de justificación y dosimetría de órganos.

La paciente se sometió a 35 TC de cráneo, 4 TC de tórax, 2 angiotomografías computarizadas (ATC) de tórax, 2 ATC de cráneo y 1 TC de senos paranasales. Debido a que el cráneo de la paciente estuvo expuesto a la radiación primaria o dispersa durante todas estas exploraciones, se estimó la dosis al cristalino y al cerebro.

Parámetros de los estudios de tomografía computarizada

Todas las exploraciones se realizaron en un Siemens Somatom Sensation 64 (Forchheim, Alemania). Los principales parámetros de los cinco protocolos se presentan en la Tabla 1. Uno de los principales problemas asociados con las TC en el departamento es que no había una armonización en los protocolos de TC entre los turnos de la mañana y de la tarde. Por lo tanto, no hubo un conjunto único de parámetros, ni para el protocolo de TC de cráneo, ni para los otros protocolos.

Estimación de dosis a órganos utilizando un *software* comercial

CT-Expo es una aplicación dedicada de MS Excel que permite la estimación de dosis a

órganos y dosis efectivas para dos maniqués, un hombre y una mujer (ADAM: 170 cm de altura y 70 kg de peso, y EVA: 160 cm de altura y 60 kg de peso), y para todos los modelos existentes de TC (actualizados hasta 2015 en la versión utilizada de este *software*). La estimación se basa en una base de datos de dosis de órganos provenientes de Simulaciones Monte Carlo, obtenidos con la base de datos *National Research Center for Environment and Health*, y que permite la dosimetría para la irradiación de los maniqués matemáticos. El modelo de TC se elige junto con parámetros técnicos como el producto corriente-tiempo, la colimación del detector, el avance de la mesa, el *pitch* y el grosor de corte reconstruido. La versión utilizada en este trabajo fue la v.2.4, que toma en consideración la modulación de la corriente utilizando un perfil de modulación de corriente que es fijo y específico para el género del maniquí matemático. Estos dos perfiles se basaron en datos de atenuación medidos en pacientes adultos estándar escaneados utilizando CareDose4D en el escáner de interés de Siemens CT (Forchheim, Alemania)¹². El área anatómica para el escaneo debe definirse en un complemento especial (Fig. 1). Cuando se seleccionan todos los parámetros, se muestra el índice volumétrico de tomografía computarizada (CTDI_{vol}), el producto dosis- longitud (DLP), la dosis a órganos y la dosis efectiva para los parámetros específicos y el maniquí especificado.

RESULTADOS

Dosis al lente ocular y al cerebro

Las dosis al cristalino y al cerebro se calcularon para todas las TC con los parámetros específicos de cada estudio, como se

FIGURA 1. Maniquí matemático femenino (EVA) de CT-Expo. La caja en gris oscuro que se despliega en la imagen es un ejemplo de la longitud de escaneo para una tomografía computarizada de cráneo.

mencionó en la Sección 2.1. En la tabla 2, se muestran los resultados de la dosis promedio para el cristalino y el cerebro debido a los 5 protocolos de TC.

TABLA 2. Dosis promedio al cristalino y al cerebro para los diferentes protocolos de tomografía computarizada

Protocolo	Dosis promedio al cristalino (mGy)	Dosis promedio al cerebro (mGy)
Cráneo	45.6	36.5
Tórax	0.3	0.3
Angiotomografía de cráneo	38.2*	45.8
Angiotomografía de tórax	0.2†	0.2
Senos paranasales	33.6	26.8

*Para una exploración de las 2 exploraciones que se realizan para ese protocolo.

La dosis acumulada al cristalino y al cerebro fue de 1860 y 1580 mGy, respectivamente, para las 44 exploraciones de tomografía.

DISCUSSION

El objetivo de este estudio fue determinar la dosis al cristalino y al cerebro de una paciente a la que se le realizaron 44 TC durante 5 meses, con el objetivo de remarcar la importancia de la justificación de los estudios de TC. La importancia de justificar los estudios se hace evidente al observar el potencial de la exposición a la radiación por estudios de tomografía cuando las dosis acumuladas se acercan a un umbral para un efecto observable.

Las dosis al cristalino y al cerebro alcanzaron altos niveles, 1860 mGy y 1580 mGy, respectivamente, y, por lo tanto, es importante tener en cuenta casos como este. Anteriormente se suponía que el umbral para las opacidades detectables era de 2 Gy para exposiciones agudas y de 5 Gy para exposiciones altamente fraccionadas o crónicas¹³. Sin embargo, debido a evidencia epidemiológica reciente, la

Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) propuso un valor umbral de 0.5 Gy para la inducción de cataratas, independientemente de la tasa de dosis, y también sin distinción entre las exposiciones crónicas y agudas. En este caso, la paciente recibió una dosis de más de 3 veces el umbral establecido por la ICRP. Para el cerebro no hay un umbral para efectos deterministas, sin embargo, se incluyó la dosis al cerebro porque es un órgano de interés debido a la región anatómica explorada de manera repetida.

Esta paciente es un caso particular, ya que tuvo un gran número de tomografías y, por lo tanto, altas dosis acumuladas. Es por esta razón que se realizó un seguimiento de todas las solicitudes de examen de TC para ver si todas estaban debidamente justificadas, pero esto no se logró, ya que no todas las solicitudes estaban cumplimentadas correctamente.

Después de este caso, se organizó una clase sobre protección radiológica con los médicos residentes del instituto que pueden pedir estudios de TC. El Departamento de Neuroimagen solicitó que las solicitudes fueran cumplimentadas de manera apropiada para poder garantizar el control de calidad en el departamento y poder investigar casos como este. Se hizo énfasis en que todos los estudios de TC deben justificarse, es decir, el beneficio siempre debe ser mayor que el detrimento.

La falta de disponibilidad del paciente para el seguimiento es otro desafío para el manejo integral de la dosis de radiación. En este caso se tomaron medidas y se llamó a la paciente para una revisión oftalmológica y un plan de

seguimiento. Sin embargo, en el momento de este artículo, no se había podido establecer contacto con la paciente, ya que vive fuera de la Ciudad de México.

La estandarización de los protocolos de TC es complicado debido a las preferencias en la calidad de imagen. Debido a que los protocolos de la mañana fueron diferentes de los protocolos de la tarde, se está realizando un esfuerzo para poder armonizar los protocolos de TC. Esto se está discutiendo con los médicos, debido a que tienen diferentes preferencias respecto a la calidad de imagen.

Un sistema de gestión de dosis puede ayudar al personal a registrar eventos como estos, pero desafortunadamente todavía no se cuenta con un sistema así en la institución, por lo que el registro de cada uno de los estudios de TC para este estudio fue realizado de manera manual.

Existen algunas limitaciones dentro de este estudio. La primera es que el modelo para estimar la dosis al cristalino y al cerebro fue con un maniquí antropomórfico, que puede diferir con la anatomía real del paciente. Esto puede conllevar a una sub o sobreestimación de la dosis a órganos. Segundo, las solicitudes de los estudios de tomografía estaban escritos de forma manual y muchas veces no se cumplimentaban correctamente las solicitudes, por lo que no se pudo recopilar toda la información referente a la justificación de los estudios. Esto impidió que se pudiera realizar una evaluación completa de dicho aspecto.

En conclusión, los factores personales individuales y las deficiencias de los procedimientos contribuyeron a esta alta exposición al

cristalino y al cerebro. La armonización de los protocolos de tomografía de ambos turnos no estaba implementada, en parte debido a las preferencias de los médicos por la calidad e imagen. El registro manual de los estudios, la falta de un sistema de seguimiento de la dosis, así como la falta de un proceso formal de justificación, contribuyeron al manejo de la dosis de radiación de esta paciente. La conciencia de los efectos de la radiación por parte de los médicos es también muy importante. La dosis acumulada al cristalino fue 3 veces el umbral para producir opacidades que establece la ICRP, y la dosis al cerebro no fue tan baja como podría haber sido para lograr la tarea de obtención de imágenes. Los médicos deben comprender y justificar siempre los estudios de TC para evitar cualquier daño innecesario a los pacientes y así evitar las altas dosis acumuladas. Todos los hospitales deben tener una armonización en los protocolos implementados, así como procedimientos formales de justificación, incluyendo documentación confiable y revisiones dosimétricas regulares para poder hacer un seguimiento del paciente cuando sea necesario.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no hay conflicto de intereses.

RESPONSABILIDADES ÉTICAS

Protección de personas y animales. Los autores declaran que para esta investigación no se han realizado experimentos en seres humanos ni en animales.

Confidencialidad de los datos. Los autores declaran que han seguido los protocolos de su centro de trabajo sobre la publicación de datos de pacientes.

Derecho a la privacidad y consentimiento informado. Los autores han obtenido el consentimiento informado de los pacientes y/o sujetos referidos en el artículo. Este documento obra en poder del autor de correspondencia.

BIBLIOGRAFÍA

1. Berrington de González A, Mahesh M, Kim K.P et al. Projected cancer risks from Computed Tomographic scans performed in the United States in 2007. *Arch Intern Med*, 2009; 169- 207.
2. Martin L D Gunn and Jennifer R Kohr. State of the art: technologies for computed tomography dose reduction. *Emerg Radiol*, 2010; 17(3):209-218.
3. ICRP, 2000. Managing Patient Dose in Computed Tomography. ICRP Publication 87. *Ann. ICRP* 30 (4).
4. Mundigl S, Modernisation and consolidation of the European Radiation Protection Legislation: the New Euratom basic safety standards directive, *Rad Prot Dosim*, 2015: 9- 12.
5. Mendizábal Ana Luisa. Radiación ionizante en tomografía computarizada: un tema de reflexión. *An. Radiol. Méx.* 2012;2: 90-97.
6. Puri S, Hu R, Quazi R, Voci S et al, Physician and midlevel provider's awareness of lifetime radiation attributable cancer risk from commonly performed CT scan and its relationship to their practice behavior, *AJR Am J Roentgenol*, 2012: 1328- 1336.
7. Badawy MK, Sayakkara D, Ozmen M, Awareness of radiation dose associated with common diagnostic procedures in emergency departments: A pilot study, *AMJ*, 2015: 338- 344.
8. Szarmach A, Piskunowicz M, Swieton D, et al., Radiation safety awareness among medical staff, *Pol J Radiol*, 2015; 80: 57-61.
9. Faggioni L, Paolicchi F, Bastiani L, Guido D, Caramella D, Awareness of radiation protection and dose levels in imaging procedures among medical students, radiography students and radiology residents at an academic hospital: Results of a comprehensive survey. *Eur J Radiol* 2017: 135- 142.
10. Michel M, Jacob S, Roger G, Pelosse B, Laurier D, Ducou H, Eye lens radiation exposure and repeated CT scans: A problem to keep in mind, *Eur J Radiol*, 2012, 81: 1896- 1900.
11. Stewart FA, Akleyev AV, Hauer-Jensen M, et al; ICRP. ICRP Publication 118: ICRP statement on tissue reactions/early and late effects of radiation in normal tissues and organs: threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. *Ann ICRP* 2012; 41:1-322.
12. G Stamm and Nagel HD. CT-Expo v 2.2 a tool for dose evaluation in Computed Tomography. User's guide, 2013.
13. Ainsbury E, Barnard S, Bright S, Dalke C, Jarrin M, Kunze S, Ionizing radiation induced cataracts: Recent biological and mechanistic developments and perspective for future research, *Mutat Res*, 2016: 238- 261.