

Comprobación del control automático de exposición en el tomógrafo Canon Aquilion ONE

(Verification of the automatic exposure control on the Canon Aquilion ONE tomograph)


Dagoberto González-López¹, José Alonso Camacho-Soto², Lourdes Salvador-Hernández³, Fredys Santos-Gutiérrez⁴

Afiliación Institucional:


¹Caja Costarricense de Seguro Social. Hospital México. Servicio de Medicina Nuclear, San José, Costa Rica, degonzal@ccss.sa.cr

 0000-0002-0711-7899

²Caja Costarricense de Seguro Social. Dirección de Administración de Proyectos Especiales, Ambiente y Seguridad Humana. Área de Control de Calidad y Protección Radiológica. San José, Costa Rica, jacamach@ccss.sa.cr

 0000-0003-3453-0926

³Caja Costarricense de Seguro Social. Área de Control de Calidad y Protección Radiológica. Dirección de Administración de Proyectos Especiales, Ambiente y Seguridad Humana. San José, Costa Rica, lsalvador@ccss.sa.cr

 0000-0001-7894-9046

⁴Caja Costarricense de Seguro Social. Dirección de Administración de Proyectos Especiales, Ambiente y Seguridad Humana. Área de Control de Calidad y Protección Radiológica. San José, Costa Rica, fsantos@ccss.sa.cr

 0000-0002-3954-5759

Abreviaturas:

CAE, control automático de exposición.

DLP, producto dosis-longitud.

TC, tomografía computarizada

DFOV, campo de visión de visualización.

SD, desviación estándar.

mA, miliamperios.

Fuentes de apoyo: Caja Costarricense de Seguro Social.

Conflicto de interés: Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

✉ degonzal@ccss.sa.cr



Esta obra está bajo una licencia internacional: Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0.

Resumen

Dado el uso incrementado de la tomografía computarizada en la Caja Costarricense del Seguro Social durante los últimos 10 años, se ha vuelto cada vez más importante obtener imágenes de la calidad diagnóstica requerida con la mínima dosis de radiación posible al paciente. Para lograr esto, en los sistemas de tomografía computarizada se utiliza, rutinariamente, el control automático de exposición, el cual modula la corriente del tubo según la atenuación del haz que produce el paciente y que se obtiene en el escanograma.

Objetivo: Comprobar el funcionamiento del control automático de exposición de un tomógrafo Canon Aquilion ONE en la dosis suministrada al paciente y verificar la importancia de realizar un simple o doble escanograma para diferentes protocolos clínicos.

Métodos: Se analizó el comportamiento de la dosis, el ruido y la intensidad de la corriente obtenida en un maniquí con diferentes secciones elípticas que varían sus dimensiones en los ejes X-Y. Se determinó el producto dosis longitud en diferentes protocolos clínicos con el control automático de exposición activado debido a un simple o doble escanograma.

Resultados: Para intensidades de corrientes fijas, a medida que aumenta el tamaño de cada sección del maniquí, la dosis se reduce, aproximadamente hasta el 72% y, cuando disminuye el tamaño de cada sección, mejora hasta en un 21% la calidad de la imagen debido a la reducción del ruido.

Conclusiones: Se pudo observar que, a pesar de que las dosis para localización son bajas, la utilización de un simple escanograma, en la mayoría de los protocolos, no solo permite reducir la dosis suministrada al paciente, sino también efectuar menor cantidad de disparos en el equipo e incrementar la vida útil del tubo de rayos X, pues el aporte de un segundo escanograma no representa un impacto significativo en la calidad de imagen.

Descriptor: Tomografía computarizada, control automático de exposición, calidad de imagen, dosis.

Abstract

Given the increased use of computed tomography in the Costa Rican Social Security Fund during the last 10 years, it has become increasingly important to obtain images of the required diagnostic quality with the minimum radiation dose to the patient. To achieve this, computed tomography systems routinely use automatic exposure control, modulating the tube current according to the attenuation of the beam produced by the patient and obtained on scanogram.

Aim: Check the operation of the automatic exposure control of a Canon Aquilion ONE scanner at the dose delivered to the patient and to verify the importance of performing a single or double scanogram for different clinical protocols.

Methods: The behavior of the dose, the noise and the intensity of the current was analyzed in a phantom with different elliptical sections that vary their dimensions in the X-Y axes. The dose-length product was determined in different clinical protocols with the automatic exposure control activated due to a single or a double scanogram.

Results: For fixed current intensities, as the size of each section of the phantom increases, the dose is reduced, approximately, up to 72% and when the size of each section decreases, the quality of image improves, due to noise reduction, up to 21%.

Conclusions: It was observed that, despite the fact that the doses for localization are low, the use of a simple scanogram in most protocols not only reduces the dose to the patient, but also makes fewer shots in the equipment and increases the useful life of the X-ray tube, since the contribution of a second scanogram does not represent a significant impact on image quality.

Keywords: Computerized tomography, automatic exposure control, image quality, dose.

Fecha de recibido: 13 de abril 2022

Fecha de aceptado: 25 de mayo 2023

Durante la última década, se ha incrementado el uso de la tomografía computarizada (TC) en la Caja Costarricense del Seguro Social (comunicación en medios, CCSS duplicará capacidad en servicios de tomografía. San José: CCSS; 2020. [accesado 10-12-2021]. Disponible en: <https://delfino.cr/2020/04/ccss-duplicara-capacidad-en-servicios-de-tomografia-adquiere-cinco-equipos-por-14-millones>), por lo que se ha vuelto cada vez más importante garantizar que los protocolos clínicos estén optimizados para el logro de imágenes con la calidad diagnóstica requerida, de manera que se mantengan las dosis de radiación para el paciente tan bajas como sea razonablemente posible.

Existen varios métodos para el control automático de la corriente del tubo, expresada

en miliamperios (mA), según la configuración establecida en los protocolos clínicos, a fin de lograr una calidad de imagen deseable con una técnica de exploración que refleje el volumen y la dimensión del paciente. Estos métodos se conocen como control automático de exposición (CAE) y están diseñados para ajustar la salida de radiación del tomógrafo de acuerdo con la atenuación de los rayos X presentada por la anatomía del paciente en la radiografía de localización.

Los fabricantes de equipos de TC han desarrollado diferentes métodos para el CAE, los cuales pueden ser de tipo angular, longitudinal o combinado. Los métodos de CAE en los tomógrafos marca Canon utilizan un sistema de modulación combinado, conocido como SureExposure 3D. En

este tomógrafo, se puede lograr el CAE por medio de la modulación dinámica de la corriente de tubo durante la exploración en las dimensiones de los ejes X-Y en combinación con el eje Z para adaptarse a las variaciones en la atenuación del paciente.

El CAE ofrece al operador dos técnicas para establecer la calidad de imagen requerida: desviación estándar (SD) de los números TC y nivel de calidad de imagen. Ambas técnicas se basan en mediciones de la SD de valores de píxeles medidos en un maniquí de agua equivalente al paciente.¹ El operador debe, inicialmente, especificar el valor de la SD para el ruido de la imagen en unidades Hounsfield (UH) y también la corriente mínima y máxima del tubo. Una corriente de tubo demasiado baja puede generar un ruido de imagen intenso y una calidad de imagen muy pobre. Las corrientes de tubo muy altas generan una alta exposición a la radiación. El proceso seguirá con la adquisición de una radiografía de localización (escanograma) frontal y otra lateral del paciente. Los estudios con el CAE del tomógrafo Canon han demostrado que se puede reducir hasta un 40% la dosis debido a la región anatómica y la forma del paciente, si se comparan con estudios realizados con una corriente de tubo fija (Master of Science Thesis. Automatic exposure control in CT: an investigation between different manufacturers considering radiation dose and image quality. Söderberg M. 2008).

Los controles de calidad en equipos radiográficos, mamográficos y fluoroscópicos con CAE están bien establecidos y documentados en la literatura (Technical report. Optimization of the radiological protection of patients undergoing radiography, fluoroscopy and computed tomography. Oresegun M, Rehani MM. 2004. IAEA-TECDOC-1423). Sin embargo, en Latinoamérica existen pocas publicaciones en las que se expliquen controles de calidad enfocados en la verificación del CAE en equipos de TC. En publicaciones europeas sobre controles de calidad para equipos de TC, se hace referencia a la prueba de CAE como una prueba opcional y se sugiere que se podría usar un maniquí en forma de cono o antropomórfico para evaluar la funcionalidad del sistema CAE a través de mediciones de ruido a lo largo del maniquí.^{2,3} Dado que el CAE determina la dosis adecuada para el examen de cada paciente, es un componente importante en la determinación de la dosis y la calidad de imagen en la exploración clínica. Por lo

tanto, consideramos que es importante verificar la funcionalidad del CAE, tanto en pruebas de aceptación como de forma rutinaria.³

Teniendo en cuenta lo anterior, el propósito de este trabajo es verificar la funcionalidad del CAE de un tomógrafo Canon Aquilion ONE a través del comportamiento de la dosis, del ruido y de la intensidad de la corriente de tubo obtenida con un maniquí de diferentes secciones elípticas que varían sus dimensiones en los ejes X-Y; además también lo es verificar la necesidad de realización de un simple o doble escanograma, ya sea frontal o lateral, para diferentes protocolos clínicos.

Métodos

Para comprobar el control automático de exposición, se utilizó un maniquí compuesto por una serie de secciones elípticas de polimetacrilato de metilo, cada una de 2.5 cm de espesor con dimensiones que van desde 11.7 cm x 17.5 cm hasta 28.6 cm x 42.9 cm (Figura 1). El maniquí tiene marcas centrales y pies ajustables para permitir una alineación reproducible con los láseres del tomógrafo en todas las direcciones y garantizar que esté nivelado con su eje central alineado con el isocentro.⁴ Cada sección contiene un orificio central donde se ubica la cámara de ionización tipo lápiz para medir la magnitud empleada en este estudio: producto de dosis longitud (DLP).

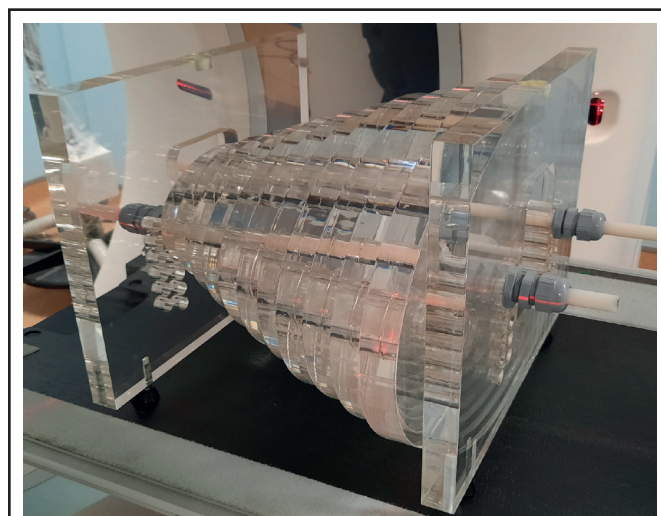


Figura 1. Maniquí de polimetilmetacrilato de secciones elípticas utilizado para las mediciones del control automático de la exposición en el tomógrafo Canon Aquilion ONE. (Mod XY: Modulación XY).

Para verificar el comportamiento de la dosis, el ruido y la intensidad de la corriente, el sistema calcula el valor de mA necesario basándose en el índice de ruido seleccionado, por lo que se ha tomado como procedimiento de referencia realizar exploraciones en modo axial de cada sección del maniquí, con parámetros fijos del protocolo de abdomen de 120 kV, tiempo de exploración de 1 s, espesor de corte de 0.5 mm, campo de visión de visualización (DFOV) de 44.34 cm, filtro de reconstrucción FC18, rango del escanograma de 0 a 260 mm, con el CAE desactivado o activado. En el caso del CAE activado, el rango de la intensidad de corriente es de 60 a 440 mA, el índice de ruido de referencia de 19.73 y el tipo de modulación estándar para este protocolo.

La radiografía de localización permite una exploración más precisa y habilita el sistema de modulación de dosis (modulación XY), generando así una tabla de valores de mA según la atenuación de cada corte. Para verificar el sistema de modulación de dosis, a través de una simple o doble radiografía de localización, se realizaron exploraciones helicoidales según los parámetros establecidos en el manual de operación del tomógrafo Aquilion ONE para diferentes protocolos clínicos, como se muestra en el Cuadro 1. Las intensidades de corriente fijas se establecieron como el valor medio entre el límite mínimo y máximo de mA, lo cual es clínicamente representativo.

Cuadro 1. Parámetros seleccionados para verificar el escanograma en diferentes protocolos clínicos

Parámetros	Protocolos			
	Tórax (COVID y rastreo de nódulos)	Abdomen y/o tórax	Cuello	Columna lumbar
Tensión (kV)	120	120	120	120
Tiempo de exploración (s)	0.5	0.5	0.5	1
Espesor de corte	0.5 mm x 80	0.5 mm x 80	0.5 mm x 80	0.5 mm x 80
DFOV (cm)	45.9	45.9	45.9	44.53
Filtro de reconstrucción	FC18	FC18	FC04	FC08
Rango de mA	40 - 440	60 - 440	40 - 440	80 - 500
Índice de ruido de referencia	15	12.5	10	7.5
Tipo de modulación	Baja dosis	Estándar	Calidad	Alta calidad

DFOV: Campo de visión de visualización.

Resultados

Modulación de la intensidad de corriente de tubo según la atenuación del paciente

La intensidad de corriente de tubo es uno de los factores que modifica la dosis suministrada al paciente. Por tal motivo, en la Figura 2.a se muestran los resultados obtenidos de la distribución de las dosis, expresada en DLP, frente a la dimensión del eje Y de cada sección del maniquí.

Verificación del ruido según la atenuación del paciente

La Figura 2.b muestra la SD promediada de 5 regiones de interés medidas en cada sección elíptica

del maniquí para intensidades de corriente fijas de 60 mA, 250 mA y 440 mA (línea naranja, azul y verde, respectivamente) cuando el CAE está desactivado y para intensidades de corriente variables (línea roja) cuando el CAE está activado.

Verificación del sistema de modulación de dosis a través del escanograma

Dado que las imágenes de localización se usan sólo para la planificación, los parámetros técnicos suelen ser bajos, comúnmente 120 kV y 50 de mA. El plano de localización indica el tipo de imagen de escanograma adquirido, donde 0° y 180° designan exploraciones en el eje Y del maniquí y 90° o 270° designan exploraciones en el eje X del maniquí.

En el Cuadro 2 se muestran los resultados de las dosis medidas, según el tipo de escanograma (simple o doble) para los diferentes protocolos, con intensidades de corrientes fijas y modulación XY.

Cuadro 2. Dosis medidas con simple y doble escanograma en diferentes protocolos clínicos					
Protocolo	Tipo de exploración	Escanograma	DLP _{30 cm} (mGy·cm)		
			1	2	Promedio
Tórax	mA fijo	Simple	539.8	539.2	539.5
		Doble	540.5	540.6	540.6
	Modulación XY	Simple	117.8	118.0	117.9
		Doble	118.8	118.6	118.7
Abdomen y/o Tórax	mA fijo	Simple	553.4	554.3	553.9
		Doble	594.0	593.8	593.9
	Modulación XY	Simple	149.2	148.9	149.1
		Doble	147.5	147.8	147.7
Cuello	mA fijo	Simple	594.6	594.8	594.7
		Doble	599.1	599.2	599.2
	Modulación XY	Simple	272.6	272.4	272.5
		Doble	282.8	283.5	283.2
Columna Lumbar	mA fijo	Simple	1719.0	1724.0	1721.5
		Doble	1720.0	1721.0	1720.5
	Modulación XY	Simple	408.3	407.4	407.9
		Doble	412.6	413.8	413.2

DLP: Producto dosis-longitud.

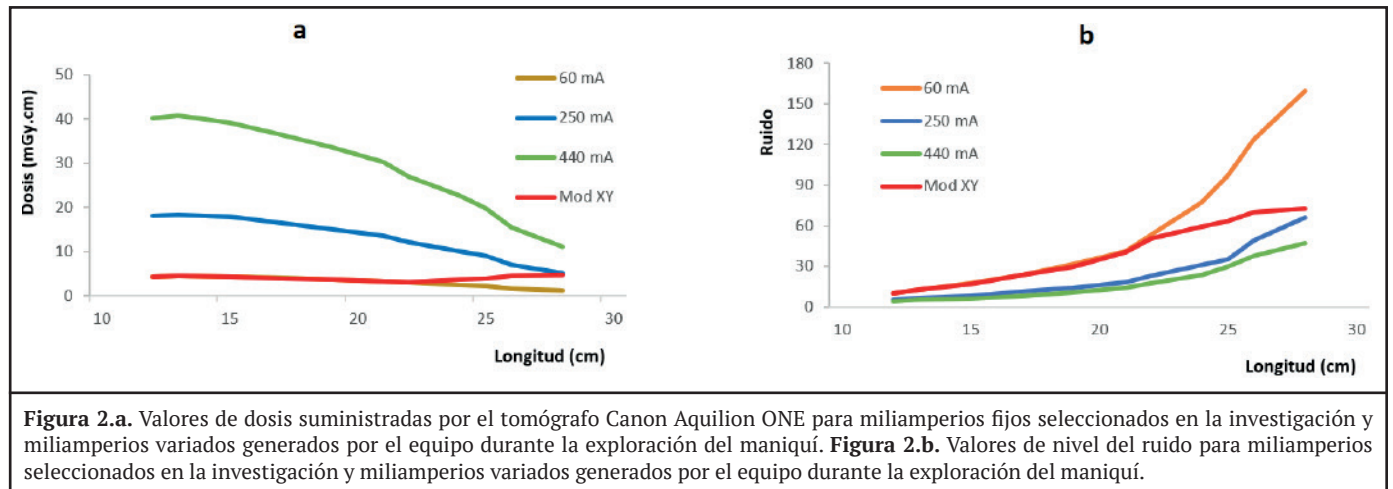


Figura 2.a. Valores de dosis suministradas por el tomógrafo Canon Aquilion ONE para miliamperios fijos seleccionados en la investigación y miliamperios variados generados por el equipo durante la exploración del maniquí. **Figura 2.b.** Valores de nivel del ruido para miliamperios seleccionados en la investigación y miliamperios variados generados por el equipo durante la exploración del maniquí.

Discusión

Modulación de la intensidad de corriente de tubo según la atenuación del paciente

Cuando el sistema de modulación de dosis está activado, para menores longitudes del eje Y

de las secciones del maniquí (de 12 cm a 22 cm), la intensidad de la corriente se mantiene en el menor valor de mA establecido por el tomógrafo. Para longitudes mayores del eje Y de las secciones del maniquí (de 24 cm a 28 cm), la intensidad de la corriente se incrementa a medida que la longitud aumenta, lo que comprueba la variación de la intensidad de la corriente.

Como se observa en la Figura 2.a, para intensidades de corrientes fijas, a medida que aumenta la longitud del eje de cada sección del maniquí, la dosis se reduce, aproximadamente, hasta el 72%. En el caso de utilizar el CAE, la dosis aumenta ligeramente con el incremento de la longitud de los ejes para garantizar la calidad de imagen requerida.

Verificación del ruido según la atenuación del paciente

Como se observa en la Figura 2.b, a medida que disminuye la longitud del eje Y de cada sección, mejora la calidad de la imagen debido a la reducción del ruido, de alrededor de un 21%.

Con los parámetros de exploración predeterminados para el protocolo de abdomen y con el sistema de modulación activado, el ruido varía cerca de un factor de 7 desde la sección más pequeña hasta la sección de mayor longitud del maniquí. Es importante señalar que, a pesar de obtener menor ruido, con valores de 250 mA y 440 mA, los valores de dosis son muy superiores a los valores que se logran con el CAE activado.

Verificación del sistema de modulación de dosis a través del escanograma

Los valores de porcentaje de reducción de la dosis se estimaron sobre la base de los valores obtenidos de DLP. A continuación, se discuten los resultados en cada protocolo clínico analizado:

a) Protocolo de tórax (para COVID y rastreo de nódulos)

Según el fabricante del tomógrafo, los parámetros predeterminados en este protocolo clínico tienen la finalidad de realizar estudios en pacientes con COVID y para rastreo de nódulos. Como se muestra en el Cuadro 2, la dosis suministrada por el tomógrafo en este protocolo, con un simple escanograma a 0°, es similar a las dosis con doble localización, una exploración a 0° y otra lateral a 90°.

Además, se vuelve a demostrar que la activación del CAE reduce la dosis proporcionada al paciente, comparada con la suministrada con el sistema manual (CAE desactivado), en un 78% aproximadamente.

b) Protocolo de abdomen y/o tórax

Como se muestra en el Cuadro 2, la dosis suministrada por el equipo en los protocolos de abdomen y tórax, con un escanograma simple a 0°, es similar a las dosis con doble localización, una exploración a 0° y otra lateral a 90°.

Si para estos protocolos se pretende desactivar la modulación de dosis, lo cual no es aconsejable, se debe tener en cuenta que no se justifica una doble radiografía de localización, ya que la dosis suministrada al paciente será mayor y no aporta información útil adicional para optimizar la dosis entregada en el estudio.

La activación del CAE reduce la dosis proporcionada al paciente, comparada con la suministrada con el sistema manual en un 73% aproximadamente.

c) Protocolo de cuello

Como se muestra en el Cuadro 2, la dosis suministrada por el equipo en el protocolo de cuello, para un simple escanograma de localización a 90°, es inferior a las dosis con doble localización, una exploración lateral a 90° y otra 0°.

La activación del CAE reduce la dosis proporcionada al paciente, comparada con la suministrada con el sistema manual, aproximadamente en un 54%.

d) Protocolo de columna lumbar

Como se muestra en el Cuadro 2, la dosis suministrada por el equipo en el protocolo de columna lumbar, para un simple escanograma a 90°, es inferior a las dosis con doble localización, una exploración lateral a 90° y otra a 0°, cuando el CAE está activado.

La activación del CAE reduce la dosis proporcionada al paciente, en comparación con la suministrada con el sistema manual, aproximadamente en un 76%.

De los resultados obtenidos en los protocolos clínicos analizados, se pudo observar que, a pesar de que las dosis por escanograma son bajas, la utilización de una simple radiografía de localización no solo permite reducir la dosis al paciente, sino también realizar menor cantidad de disparos en el equipo e incrementar su vida útil, pues el aporte de un segundo escanograma no representa un impacto significativo en la calidad de imagen.

En este estudio se demostró la importancia de verificar la funcionalidad del control automático de exposición para comprobar la modulación de la dosis suministrada por el tomógrafo, según las características físicas del paciente. Se compararon las dosis en un maniquí de secciones elípticas de diferentes tamaños cuando se utiliza el CAE y cuando se emplea un valor de intensidad de la corriente del tubo fija, demostrándose la modulación de las dosis según el tamaño de las secciones (menor dosis para secciones menores). Según los parámetros clínicos recomendados por el fabricante, se ha obtenido una reducción de la dosis de hasta un 78 % para el protocolo de tórax y hasta un 54 % para el protocolo de cuello.

Se identificó que, para intensidades de corrientes fijas, a medida que aumenta el tamaño de cada sección del maniquí, la dosis se reduce, aproximadamente hasta el 72 % y cuando disminuye el tamaño de cada sección, mejora la calidad de la imagen debido a la reducción del ruido, cerca de hasta un 21%.

Se comprobó que la utilización de una simple radiografía de localización permite reducir la dosis suministrada al paciente y realizar menor cantidad de disparos en el tomógrafo. Es esencial que los

operadores conozcan esto para incrementar la vida útil del tubo de rayos X sin afectar la calidad de la imagen y reduciendo la dosis en los pacientes.

Referencias

1. McCollough CH, Bruesewitz MR, Kofler JM, Jr. CT dose reduction and dose management tools: overview of available options. *Radiographics*. 2006; 26:503-512. DOI: 10.1148/rg.262055138
2. Kuttner S, Bujila R, Kortensniemi M, Andersson H, Kull A, Helge B, *et al*. A proposed protocol for acceptance and constancy control of computed tomography systems: a Nordic Association for Clinical Physics (NACP) work group report. *Acta Radiol*. 2013; 54:188-98. DOI: 10.1258/ar.2012.120254
3. Iball GR, Moore AC, Crawford EJ. A routine quality assurance test for CT automatic exposure control systems. *Journal of Applied Clinical Medical Physics*. 2016; 17. DOI: 10.1120/jacmp.v17i4.6165
4. Wood TJ, Moore CS, Stephens A, Saunderson JR, Beavis AW. A practical method to standardize and optimize the Philips DoseRight 2.0 CT automatic exposure control system. *J. Radiol. Prot.* 2015; 35:495-506. DOI: 10.1088/0952-4746/35/3/495