

## EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN MÉDICA EN ESTUDIOS DE CARDIO-TC

MSc. Adalberto Machado Tejeda<sup>1</sup>, Lic. Suxer Alfonso García<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Centro para el Control Estatal de Medicamentos, Equipos y Dispositivos Médicos (CECMED)  
Calle 5ta A, entre 60 y 62, Plaza de la Revolución, La Habana  
[adalberto@cecmec.com](mailto:adalberto@cecmec.com)

<sup>2</sup>Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Aplicadas  
[suxer@instec.com](mailto:suxer@instec.com)

### RESUMEN

Este trabajo tiene como objetivo evaluar la calidad de imagen y dosis impartida a pacientes adultos durante la realización de estudios cardiacos mediante el empleo de la Tomografía Computarizada (angiografía coronaria), valorando además la utilización de algoritmos de reducción de dosis. La investigación se llevó a cabo en una institución de salud de la capital cubana que posee un equipo de TC helicoidal multicorte de doble fuente Siemens Definition. La muestra abarcó un total de 37 pacientes, de los cuales a 20 se les realizó una cuantificación del nivel de calcio (score calcio) y a 17 una Angio-TC (estudio retrospectivo).

El análisis de la calidad de imagen fue realizado de forma independiente por tres especialistas del servicio, obteniéndose una apreciable correlación de criterios interobservador. El valor medio estimado del Índice de Kerma Volumétrico en Tomografía Computarizada (Cvol) y del Producto Kerma Longitud ( $P_{KL,TC}$ ) para el Score de Calcio fue de  $8,55 \pm 2,86$  mGy;  $116,8 \pm 42,5$  mGy.cm respectivamente, comparado con  $25,44 \pm 12,01$  mGy y  $436,5 \pm 272,6$  mGy.cm para la angiografía. Los valores de Dosis Efectiva obtenidos para ambos casos fue  $1,99 \pm 0,72$  mSv (score) frente a  $7,42 \pm 4,64$  mSv (angio).

Se comprueba que los valores de Dosis Efectiva obtenidos son inferiores a los reportados por otros autores cuando se utilizan sistemas multidetectores de una sola fuente de radiación. Para el caso de exámenes de Angio-TC en el 64,7% se empleó una reducción de la tensión (kV) implicando una disminución de la dosis aproximadamente del 46% frente al resto de los pacientes. Para la totalidad de la muestra se utilizaron algoritmos de reducción de dosis tales como utilización de la modulación de la corriente del tubo con ECG.

**Palabras claves:** Exposición Médica, Angiografía Coronaria, Índice de Kerma Volumétrico en Tomografía Computarizada, Producto Kerma Longitud, Dosis Efectiva.

### 1. INTRODUCCIÓN

La Tomografía Computarizada (TC) como modalidad diagnóstica ha adquirido gran importancia, constituyendo un método común en la evaluación de afecciones cardiovasculares a partir del avance tecnológico alcanzado y la introducción de equipos multicortes en el ámbito sanitario, lo que permite obtener imágenes de mejor calidad con un mayor aporte de información.

Sin embargo, estos procedimientos de Cardio-TC, implican dosis de radiación altas a los pacientes. Diferentes estudios y publicaciones indican que las mismas varían ampliamente y se encuentran entre 1 y 20 mSv, dependiendo de factores propios del individuo, como su índice de masa corporal (IMC), del equipo con que se adquieran las imágenes y del protocolo de adquisición [1,2], quedando demostrado la efectividad lograda mediante el ajuste de los

parámetros de exposición al peso y constitución del paciente [3], así como de la técnica de modulación de la corriente del tubo [4].

En nuestro país existe poca evidencia sobre los valores de dosis asociados a estos estudios y el impacto que originan las diferentes técnicas que conducen a su reducción. Por tal motivo: cuantificar la dosis impartida en este tipo de procedimiento, así como la valoración del empleo de algoritmos de reducción de dosis constituyen los objetivos fundamentales de este trabajo.

## **2. MATERIAL Y MÉTODOS**

### **2.1 Selección de los datos**

La investigación se llevó a cabo en una institución de salud de la capital cubana, la cual cuenta con un equipo de Tomografía Computarizada Helicoidal Multicorte de Doble Fuente Siemens-Definition, puesto en funcionamiento desde el 2008.

El período de análisis abarcó un mes, el cual incluyó pacientes con riesgo bajo a intermedio de enfermedad cardiovascular, mostrando como principales síntomas: dolor torácico atípico, electrocardiograma (ECG) no concluyente, test de esfuerzo y marcadores séricos ambiguos.

Para facilitar el registro de la información requerida fue elaborada una hoja de datos en Excel, que permitió coleccionar los parámetros de exposición empleados para cada paciente individual (kV, mAs<sub>ef</sub>, t, pitch, T, n° de cortes, longitud de barrido), así como la edad, sexo, peso, talla, tasa y ritmo cardiaco.

La Cuantificación del nivel de Calcio se llevó a cabo a través de una adquisición con reconstrucción prospectiva de la región torácica, mientras que para la Angio-TC se realizó una reconstrucción retrospectiva con sincronización electrocardiográfica.

### **2.2 Calidad de imagen**

Tres observadores pertenecientes al servicio y con experiencia en la actividad llevaron a cabo el análisis de la calidad de imagen para cada paciente. Este se efectuó de forma independiente y asignado una puntuación a las cuatro arterias principales: arteria coronaria izquierda, descendente anterior izquierda, circunfleja y arteria coronaria derecha.

La escala de puntuación estuvo basada en dos clasificaciones:

- Buena: Ausencia total o leve presencia de artefactos
- Inadecuada: Imagen no diagnóstica debido a la presencia de grandes artefactos

## 2.3 Dosimetría

Se determinó el valor del Índice de Kerma Volumétrico en Tomografía Computarizada ( $C_{vol}$ ) y el Producto Kerma-Longitud ( $P_{KL,CT}$ ) según metodología descrita en el Reporte Técnico 457 del OIEA [5] a partir de las medidas realizadas con una cámara lápiz modelo 10x5-3CT de 10 cm de longitud debidamente calibrada y un monitor de radiación Radcal 9010, sobre un maniquí cilíndrico de PMMA de 32 cm de diámetro. Estos resultados fueron comparados con los obtenidos mediante el empleo del software desarrollado por ImPACT [6]. La ubicación del maniquí y la cámara lápiz en el centro del gantry fue verificada a partir de la obtención de una imagen previa. Esta medida tuvo como objeto adicional verificar los valores de dosis proporcionados por el software del equipo.

Finalmente se calculó la Dosis Efectiva (E) con el empleo del factor de dosis efectiva para esta región anatómica [7], teniendo en cuenta su utilidad para realizar comparaciones con otros tipos de procedimientos radiológicos.

## 3. RESULTADOS

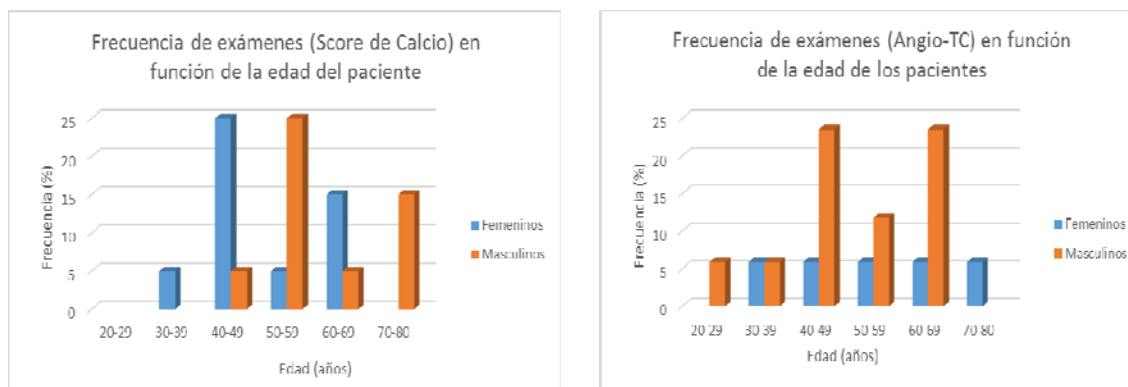
### 3.1 Muestra

Para la evaluación de la dosis impartida en estos estudios, una muestra de 37 pacientes (40,5% mujeres y 59,4% hombres) fue seleccionada y clasificada en función del tipo de examen realizado según se muestra en la tabla 1.

**Tabla 1. Clasificación de los pacientes incluidos en la investigación atendiendo al tipo de estudio**

Protocolo	Sexo	N° de Pacientes	Edad Promedio (años) $\pm$ SD	Peso Promedio (kg) $\pm$ SD	Talla Promedio (m) $\pm$ SD	IMC (kg/m <sup>2</sup> ) $\pm$ SD	Frecuencia Promedio del corazón (bmp)
Score de Calcio	Mujeres	10	49,7 $\pm$ 10,50	64,0 $\pm$ 10,03	1,64 $\pm$ 0,07	23,7 $\pm$ 2,30	68,7 $\pm$ 17,77
	Hombres	10	59,8 $\pm$ 9,95	78,2 $\pm$ 9,73	1,75 $\pm$ 0,06	25,7 $\pm$ 3,90	66,9 $\pm$ 9,72
	Total	20	54,8 $\pm$ 11,20	71,1 $\pm$ 12,07	1,69 $\pm$ 0,08	24,7 $\pm$ 3,28	67,8 $\pm$ 13,97
Angio-TC	Mujeres	5	52,2 $\pm$ 13,88	74,6 $\pm$ 10,88	1,62 $\pm$ 0,11	28,7 $\pm$ 6,17	88,8 $\pm$ 44,88
	Hombres	12	50,8 $\pm$ 13,73	73,7 $\pm$ 11,02	1,71 $\pm$ 0,05	25,2 $\pm$ 3,77	68,4 $\pm$ 19,05
	Total	17	51,2 $\pm$ 13,35	73,9 $\pm$ 10,64	1,68 $\pm$ 0,08	26,2 $\pm$ 4,68	74,4 $\pm$ 29,06

En la figura 1 se presenta la frecuencia de exámenes en función de la edad de los pacientes para cada estudio.



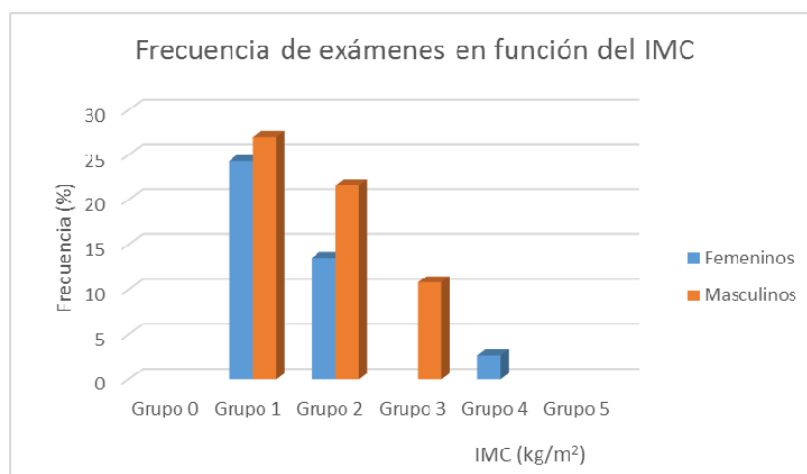
**Figura 1. Distribución de exámenes en función de la edad de los pacientes: Score de Calcio (a la izquierda), Angio-TC (a la derecha)**

Para verificar la relación existente entre la manifestación de la enfermedad coronaria y el peso del paciente se utilizó el IMC, para lo cual se agruparon en función de la clasificación realizada por la Organización Mundial de la Salud [8] (OMS), tabla 2.

**Tabla 2. Características del paciente en correspondencia con el IMC**

Grupo	IMC (estudio actual)		IMC según clasificación según la OMS (kg/m <sup>2</sup> )
	Score Calcio	Angio-TC	
0	-		< 18,5 (peso ideal)
1	12	7	18,5 – 24,9 (peso normal)
2	6	7	25,0 – 29,9 (sobrepeso)
3	2	2	30,0 – 34,9 (obesidad grado I - moderado)
4	-	1	35,0 – 39,9 (obesidad grado II - severa)
5	-		> 40,0 (obesidad grado III – muy severo)

La figura 2 muestra la relación existente entre la frecuencia de exámenes y el IMC para la totalidad de la muestra analizada



**Figura 2. Frecuencia de exámenes en función del IMC.**

### 3.2 Parámetros de barrido

Los datos correspondientes a las exploraciones efectuadas por cada paciente son mostradas en las tablas 3 y 4.

**Tabla 3. Parámetros técnicos empleados para el Score de Calcio (adquisición axial).**

kVp	mAs* (rango)	Colimación (mm)	Espesor de corte (mm)	L* (rango) (cm)	Protocolo de barrido	Filtro de reconstrucción
120	127 (80 - 238)	18	3	13,7 (10,5 - 17,7)	DS_CaSc Sequential	B35 f Heart V medio

\*Valor medio

**Tabla 4. Parámetros técnicos empleados para la Angio-TC.**

kVp	mAs* (rango)	Colimación (mm)	Espesor de corte (mm)	L* (rango) (cm)	Pitch	Protocolo de barrido	Filtro de reconstrucción
100 - 120	148 (83 - 307)	40	0,625	16,4 (13,0 - 24,8)	0,2 - 0,5	QCA DS_Coronarias	B26f

Entre ambos protocolos (100 kV y 120 kV) no fueron encontradas diferencias significativas entre los valores medios del mAs y la longitud de barrido ( $p = 0,70$  y  $p = 0,48$  respectivamente), no siendo así para el peso de los pacientes, donde se encontró una disminución significativa para aquellos examinados con un protocolo de 100 kV, lo que resulta en un IMC promedio de  $24,3 \text{ kg/m}^2$  ( $20,1 - 28,0 \text{ kg/m}^2$ ) frente a  $29,9 \text{ kg/m}^2$  ( $22 - 39 \text{ kg/m}^2$ ),  $p < 0,001$ . La tabla 5 resume las características de los pacientes para ambos grupos.

**Tabla 5. Características de los pacientes bajo estudios de angiografía coronaria por TC para ambos protocolos de examen.**

Parámetro	100 kV	120 kV
Nº de pacientes	11	6
Altura (m)	1,69 (1,55 - 1,80)	1,67 (1,48 - 1,75)
Peso (kg)	69,1 (58,0 - 75,0)	82,8 (60,0 - 94,0)
IMC ( $\text{kg/m}^2$ )	24,3 (20,1 - 28,4)	29,9 (22,0 - 38,8)
Frecuencia cardíaca (lat/min)	76,8 (51,0 - 149,0)	68,8 (50,0 - 125,0)
Longitud de barrido (cm)	16,2 (13,1 - 24,8)	16,7 (13,0 - 21,1)

### 3.3 Calidad de imagen

Se obtuvo un 100% de correspondencia entre los criterios emitidos por los especialistas en cuanto a la calidad diagnóstica de las imágenes obtenidas, no existiendo una diferencia significativa en este sentido entre los exámenes realizados a 100 kV y 120 kV.

### 3.4 Magnitudes dosimétricas

A partir de los datos adquiridos y con ayuda de un simulador cilíndrico de PMMA se determinaron las principales magnitudes dosimétricas asociadas a los estudios bajo investigación. Los resultados obtenidos y mostrados en las tablas 5 y 6, siendo comparados con los ofrecidos por la consola del equipo, así como con los estimados por el software de ImPACT.

**Tabla 5. Valores obtenidos de las magnitudes dosimétricas para estudios de Score de Calcio.**

Parámetros	Maniquí de PMMA		ImPACT		Consola del equipo	
	Valor Medio ± DE	Q <sub>3</sub>	Valor Medio ± DE	Q <sub>3</sub>	Valor Medio ± DE	Q <sub>3</sub>
C <sub>vol</sub> (mGy)	8,55 ± 2,86	10,00	9,45 ± 2,86	10,90	4,62 ± 1,51	5,15
P <sub>KL,TC</sub> (mGy*cm)	116,8 ± 42,5	135,92	129,2 ± 43,01	147,80	63,57 ± 21,66	75,24
E (mSv)	1,99 ± 0,72	2,31	2,20 ± 0,73	2,51	1,08 ± 0,37	1,28

**Tabla 6. Valores obtenidos de las magnitudes dosimétricas para estudios de Angio-TC.**

Parámetros	Maniquí de PMMA		ImPACT		Consola del equipo	
	Valor Medio ± DE	Q <sub>3</sub>	Valor Medio ± DE	Q <sub>3</sub>	Valor Medio ± DE	Q <sub>3</sub>
C <sub>vol</sub> (mGy)	25,44 ± 12,01	39,20	26,34 ± 12,01	40,10	20,4 ± 9,06	30,69
P <sub>KL,TC</sub> (mGy*cm)	436,5 ± 272,6	562,25	451,3 ± 275,2	575,12	363,1 ± 214,0	531,88
E (mSv)	7,42 ± 4,64	9,56	7,67 ± 4,68	9,78	6,17 ± 3,64	9,04

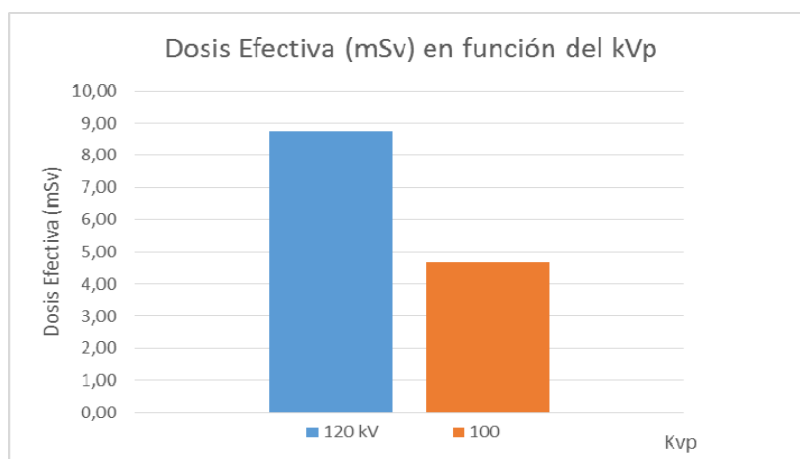
Para el protocolo de 100 kV se obtuvieron como valores medios: C<sub>vol</sub> = 19,25 mGy; P<sub>KL,TC</sub> = 334,24 mGy\*cm; E = 5,68 mSv, mientras que para el protocolo de 120 kV los resultados fueron: C<sub>vol</sub> = 36,80 mGy; P<sub>KL,TC</sub> = 624,11 mGy\*cm; E = 10,61 mSv, apreciándose una reducción significativa en cada caso (p < 0,001)

### 3.5 Algoritmos de reducción de dosis

En las Angiografías Coronarias basadas en TC, al 64,7% de los casos se aplicó una reducción de la tensión del tubo, mientras que el 100% de los estudios se ejecutaron mediante el empleo del método helicoidal retrospectivo con sincronización ECG.

Para los pacientes clasificados en el rango normal, según el IMC (18,5 y 24,9 kg/m<sup>2</sup>), al 85,7% se les practicó una reducción del kV. De igual manera al 50,0% de los casos con IMC > 25 kg/m<sup>2</sup> (pacientes considerados sobrepeso u obesos) también se les aplicó esta variante de reducción de dosis.

La dosis efectiva obtenida en estos casos fue del 46% inferior frente al resto de los individuos, figura 3.



**Figura 3. Dosis Efectiva para estudios de Angio-TC en función de la tensión del tubo.**

#### 4. DISCUSIÓN

Este trabajo representa el primer estudio realizado en el país, del que los autores poseen conocimiento, basado en la determinación de las magnitudes dosimétricas que caracterizan la Angiografía Coronaria mediante el empleo de la TC y su comparación con los resultados emitidos por el equipo, así como los reportados a través de ImPACT.

En relación a la edad, se observa que para pacientes mayores de 40 años existe una tendencia al aumento de la probabilidad de ocurrencia de la enfermedad coronaria, constatándose una mayor incidencia en el caso del sexo masculino.

De forma similar se aprecia el comportamiento entre la frecuencia de exámenes y su relación con el IMC, donde ningún paciente se encuentra dentro de la categoría del peso ideal, el 51,4% es considerado dentro del peso normal y el resto (48,6%) supera dicha clasificación, siendo el sexo masculino el que se destaca con un 32,4% frente al femenino que alcanza el 16,2%. Este resultado evidencia que la obesidad representa un factor de riesgo importante en la enfermedad cardíaca.

Adicionalmente se obtuvo que para los exámenes de Angio-TC la frecuencia promedio del corazón fue de 74,4 bpm, mientras que el intervalo de variabilidad estuvo entre 50 – 149 bpm, de donde solo el 11,7% de los pacientes reunían el criterio de poseer una frecuencia en el intervalo ideal entre 60 – 65 bpm.

La utilización del método de modulación de la corriente del tubo mediante el empleo de ECG, permitió obtener un valor medio de dosis efectiva (7,42 mSv) similar a los reportados por Stolzmann et al [9], los cuales oscilan entre 7 y 9 mSv para sistemas de TC de doble fuente como el nuestro, llegando a ser inferior comparado con equipos de una sola fuente. Hausleiter et al [10] ha conseguido dosis efectiva media de 11.0 mSv en equipos de 64 cortes.

Los valores de  $C_{vol}$  y  $P_{KL,TC}$  para ambos estudios objeto de interés en la investigación, fueron superiores a los mostrados en el panel de control del equipo. Para la Cuantificación de Calcio se obtuvo una discrepancia del 45,9% y 45,6% respectivamente, mientras que para la Coronariografía fue del 5,6% y 16,8% respectivamente.



En cuanto al impacto de la reducción del kV en función del IMC, con el objetivo de disminuir la dosis de radiación, se comprobó que es un método efectivo si se tiene en cuenta que ésta última cambia aproximadamente con el cuadrado de la tensión del tubo [11], sin embargo se constata que no existe un criterio estandarizado en el servicio a la hora de su selección, aplicándose de manera aleatoria según el médico especialista o tecnólogo que lleva a cabo la ejecución del examen radiológico.

## 5. CONCLUSIONES

En este trabajo se documenta la factibilidad del empleo del método de adquisición con sincronización electrocardiográfica retrospectiva en equipos de doble fuente, observándose que la reducción de la dosis de radiación es aún mayor cuando se incluye la disminución de la potencia del tubo de acuerdo con el índice de masa corporal o el peso del paciente (individuos no obesos adecuadamente seleccionados).

Los valores de dosis efectiva obtenidos son similares a los reportados en otras publicaciones cuando se utilizan equipos de tomografía computarizada semejantes al nuestro e inferiores a los ejecutados en dispositivos de una sola fuente, lo que nos permite adaptar estas técnicas para disminuir los riesgos asociados con la exposición a radiación ionizante.

## 4. BIBLIOGRAFÍA

1. 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.
2. Mettler FA Jr., Huda W, Yoshizumi TT, Mahesh M: Effective doses in radiology and diagnostic nuclear medicine: a catalog. *Radiology* 2008;248:254–263
3. Jung, B., Mahnken, A.H., Stargardt, A., Simon, J., Flohr, T.G., Schaller, S., Koos, R., Günther, R.W., Wildberger, J.E. Individually weight-adapted examination protocol in retrospectively ECG-gated MSCT of the heart. *Eur Radiol* 2003; dic 13(12):2560-2566.
4. Jakobs, T.F., Becker, C.R., Ohnesorge, B., Flohr, T., Suess, C., Schoepf, U.J., Reiser, M.F. Multislice helical CT of the heart with retrospective ECG gating: reduction of radiation exposure by ECG-controlled tube current modulation. *Eur Radiol* 2002; may 2(5):1532-1540.
5. IAEA, Dosimetry in diagnostic radiology: an international code of practice. Technical Reports series n°457, IAEA, Viena (2007).
6. Menzel HG, Schibilla H, Teunen D, eds. European guidelines on quality criteria for computed tomography. Luxembourg: European Commission; 2000. Publication No. EUR 16262 EN.
7. Morin RL (1988) Monte carlo simulation in the radiological sciences. CRC Press, Boca Raton, FL.

8. WHO. Obesity: preventing and managing the global epidemic. Report of a WHO Consultation. Who Technical Report Series 894. Geneva: World Health Organization, 2000.
9. Stolzmann P, Scheffel H, Schertler T, et al. Radiation dose estimates in dual-source computed tomography coronary angiography. *Eur Radiol* 2008; 18:592–9.
10. Hausleiter J, Meyer T, Hadamitzky M, et al. Radiation dose estimates from cardiac multislice computed tomography in daily practice: impact of different scanning protocols on effective dose estimates. *Circulation* 2006; 113:1305–10.
11. Johns H, Cunningham J. *The Physics of Radiology*, 4th edition. Springfield, IL: Charles C. Thomas, 1983.