



Imagen diagnóstica

www.elsevier.es/imagendiagnostica



ORIGINAL

Correlación entre el índice de masa corporal y la absorción de los rayos X en la radiografía de tórax



CrossMark

Guilherme Oberto Rodrigues^{a,*}, Gustavo Glotz de Lima^b, Carlos Jader Feldman^c, Rogério Fachel de Medeiros^d y Silvia Goldmeier^e

^a Tecnólogo en Radiología, Maestría en Ciencias de la Salud por el Programa de Posgrado del Instituto de Cardiología/Fundación Universitaria de Cardiología (IC/FUC), Porto Alegre, RS, Brasil

^b Cardiólogo, Profesor de Posgrado del IC/FUC y Profesor asociado del Departamento de Medicina Interna del UFCSPA (Universidad Federal de Ciencias de la Salud de Porto Alegre), Porto Alegre, RS, Brasil

^c Radiólogo; Coordinador del Programa de Residencia en Radiología del Instituto de Cardiología/Fundación Universitaria de Cardiología (IC/FUC), Porto Alegre, RS, Brasil

^d Físico; Maestría en Enseñanza de la Física por la Universidad Federal de Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS, Brasil

^e Enfermera, Doctora en Ciencias de la Salud por el Programa de Posgrado del Instituto de Cardiología/Fundación Universitaria de Cardiología (IC/FUC), Porto Alegre, RS, Brasil

Recibido el 6 de junio de 2014; aceptado el 7 de mayo de 2015

Disponible en Internet el 15 de julio de 2015

PALABRAS CLAVE

Radiografía;
Índice de masa
corporal;
Dosis de radiación

Resumen

Objetivo: Evaluar la relación entre el índice de masa corporal (IMC) y el espesor del tórax con la radiación absorbida en la radiografía de tórax.

Materiales y métodos: Estudio transversal con 228 pacientes que se sometieron a una radiografía de tórax en la proyección posteroanterior (PA) y lateral (LAT), en un hospital de cardiología. Las dosis se determinaron por cámara de ionización. Los datos fueron analizados mediante el paquete estadístico para Ciencias Sociales (SPSS) de software 17.0.

Resultados: Los pacientes tenían una edad promedio de 57 ± 16 años, el 51% eran mujeres y el IMC era de $27,36 \pm 5,18$ kg/m². Las dosis medias en las proyecciones de PA y LAT fueron: $0,08 \pm 0,02$ e $0,21 \pm 0,10$ mGy. Los espesores promedio de tórax en la proyección AP fueron de $21,65 \pm 2,28$ y en la proyección LAT, de $27,48 \pm 2,61$, con un promedio de miliamperios/segundo (mAs) entre $1,44 \pm 39$ y $3,90 \pm 2,00$ en las proyecciones PA y LAT, respectivamente.

Conclusión: El presente estudio demostró que existe una correlación positiva entre el IMC y el grosor del tórax, y eran predictores influyentes en la cantidad de absorción de radiación.

© 2014 ACTEDI. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: guilherme.escola@cardiologia.org.br (G. Oberto Rodrigues).

KEYWORDS

X-rays;
Body mass index;
Dosage of radiation

Relationship between BMI and the absorption of radiation from chest X rays**Abstract**

Objective: This study evaluates the relationship between Body Mass Index (BMI) and the thickness of the thorax with the radiation absorbed by chest X-rays.

Materials and methods: Cross-sectional study with 228 patients, who had chest X-rays in the postero-anterior (PA) and lateral (LAT) projections, in a Heart Hospital. Doses were determined using an ionization chamber. The data were analysed using the Statistical Package for Social Sciences (SPSS) 17.0.

Results: The mean age of the patients was 57 ± 16 years, of whom 51% were women, and the BMI was $27.36 \pm 5.18 \text{ kg/m}^2$. The AP and LAT projection means were: 0.08 ± 0.04 and $0.22 \pm 0.13 \text{ mGy}$, respectively ($P < .001$). The mean thoracic thickness in the projection (PA) was $21.65 \pm 2.28 \text{ cm}$, and $27.48 \pm 2.61 \text{ cm}$ in the projection (LAT). The mean milliamperere seconds in PA projection was between 0.95 ± 0.34 and 2.26 ± 0.94 , and in the LAT projection the means were between 2.68 ± 1.40 and 6.00 ± 3.61 .

Conclusion: This study showed that there is a positive relationship between the BMI and the thickness of the thorax, and that these are influential predictors in the amount of radiation absorption.

© 2014 ACTEDI. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Introducción

Los rayos X son ondas electromagnéticas que se propagan en el vacío a alta velocidad y, en medios materiales, interactúan con las partículas del medio. La interacción de fotones de rayos X (con la materia) siempre resulta en su absorción¹. La radiación, a través del campo, transfiere la totalidad o parte de su energía al átomo con el que interactúa. En este caso, la radiación interactúa con los electrones en las capas orbitales. Si la energía de la radiación es mayor que la energía de enlace del electrón al núcleo, el electrón se separa de su capa orbital². El poder de penetración de la radiación varía de acuerdo con su energía, su frecuencia y su longitud de onda. A mayor energía, mayor poder de penetración^{1,2}.

Los fotones son más propensos a ser absorbidos al pasar a través de una capa de hueso con número atómico más alto³. A medida que penetra en el medio, una mayor cantidad de fotones va sufriendo absorción, reduciendo gradualmente el número de rayos X todavía presentes. El cuerpo humano interactúa de manera diferente cuando recibe una dosis de radiación. La radiación aumenta de acuerdo con la densidad y el espesor del material del medio y disminuye al aumentar la energía de los fotones¹⁻³.

El uso de la radiación ionizante en la salud es la principal fuente de exposición humana a los métodos artificiales de radiación³. Actúa directamente sobre las células provocando la reorganización de las bases nitrogenadas, roturas cromosómicas en el ADN, o indirectamente puede formar radicales libres al romper las moléculas de agua⁴⁻⁶.

Ni el tejido óseo ni la grasa subcutánea son homogéneos debido a que se forman por diferentes contenidos, como la grasa, que contiene fluidos circulantes y una red de soporte de tejido conjuntivo fibroso³. Todos los sólidos húmedos u órganos y masas de tejidos llenados por líquidos poseen radiodensidad semejante⁶. Al analizar la radiación entre las medidas antropométricas —calculada por la Comisión Nacional de Energía Nuclear (CNEN)— y la correlación con la grasa

corporal, se observó un fenómeno cuyas medidas tienen que estar relacionadas con los niveles de radiación absorbida^{6,7}. El índice de masa corporal (IMC), método analítico que no es de laboratorio, permite la evaluación de la composición corporal de una manera indirecta^{8,9}.

El IMC se calcula dividiendo el peso corporal en kilogramos por la altura en metros elevada al cuadrado [peso (kg)/altura (m²)]. A menudo se ha utilizado para calcular el peso ideal o la obesidad⁹. Por lo tanto, es un indicador para determinar el porcentaje de grasa corporal, y de acuerdo a sus índices se pueden clasificar en individuos de 18-65 años por la OMS: $< 18,5 \text{ kg/m}^2$ como delgadez, considerando un peso de $18,5$ a $< 25 \text{ kg/m}^2$ saludable, y $< 30 \text{ kg/m}^2$ se considera sobrepeso⁹. La Organización Panamericana de la Salud (OPS) determina los valores de IMC en los pacientes mayores de 65 años¹⁰. El exceso de grasa y músculo en la región del pecho es un factor importante para la absorción de la radiación⁶. Para medir la densidad del tórax se utiliza el plicómetro en el centro del pecho, a la altura de los pezones^{5,11,12}.

Las radiografías de tórax se llevan a cabo en 2 vistas (proyecciones): posteroanterior (PA) y lateral (LAT), con el tubo de rayos X a 180 cm de distancia del receptor de imagen, y con los pacientes en bipedestación y en inspiración. Se utilizan los factores de exposición: tensión (kV) suficiente para que los fotones superen la estructura analizada y miliamperios/segundo (mAs) para proyectar los detalles de los tejidos y órganos^{5,11,12}.

La fórmula para calcular la dosis de radiación consiste en obtener el kV a partir del espesor del área. Si este valor es menor a 10 cm no hay necesidad de utilizar la fórmula, porque en estas pruebas hay poca variación en los factores de exposición^{5,11,12}. A partir del valor del kV, se obtiene el valor de mAs miliamperimétrico aplicando un coeficiente para la región en la que la fórmula utilizada reduce significativamente los errores en la exposición a los rayos X¹¹.

El cálculo del factor de kV se obtiene tomando el espesor del cuerpo que se desea radiografiar y se multiplica por 2. Se suma a este producto el valor de la constante «C» de la prueba^{5,11,12}.

El cálculo de mAs se obtiene a partir del valor del kV multiplicado por una constante, llamada constante miliamperimétrica regional (CMR), que se asigna a diferentes regiones y tejidos del cuerpo humano, correspondiente a 1,0 para el hueso, 0,8 para tejido blando y 0,03 para los pulmones¹¹. En Brasil, la Agencia Nacional de Vigilancia Sanitaria (ANVISA), utilizando como niveles de DEP para miligray (mGy), recomienda en la proyección posteroanterior 0,4 mGy, y en la lateral, 1,5 mGy.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio es evaluar la correlación entre el IMC y el grosor del tórax con la cantidad de radiación absorbida por el paciente teniendo en cuenta los factores de exposición mAs y kV.

Materiales y métodos

Se trata de un estudio transversal desarrollado con 228 pacientes que se sometieron a las radiografías de tórax convencionales en un servicio de radiología en el período agosto-diciembre de 2009.

Los exámenes fueron realizados en las proyecciones AP y LAT, con los pacientes en bipedestación. El equipo de rayos X utilizado fue de Shimadzu 1.000 mA con sistema de cámara de ionización. La distancia foco-película fue de 180 cm, y la tensión, de 125 kV^{5,11,12}. Se realizaron pruebas de control de calidad en los equipos de acuerdo a las recomendaciones de la Ordenanza 453 de la Secretaría Nacional de Vigilancia Sanitaria¹³. Las cargas transportadas (mAs) se determinaron por la cámara de ionización del equipo.

El procesamiento es automático, y los productos químicos, revelador y fijador se utilizaron a una temperatura de 35 °C, con películas sensibles a la luz verde y pantalla emisora de luz verde.

Para el IMC, el peso de los pacientes se dividió por la altura al cuadrado (kg/m^2). La balanza utilizada fue la plataforma mecánica, certificada por INMETRO.

Para medir la dosis de radiación en la entrada de la piel (DEP) en cada paciente se utilizó cámara de ionización modelo 9015 con Sonda 60 cc, con 5% de variación. La cámara de ionización se coloca en el centro del sistema de pared Bucky, el sitio de mayor intensidad de los rayos X, y se expone a la misma carga transportada (mAs) utilizada en los pacientes¹³.

Los diámetros del pecho se midieron con plicómetro, y las mediciones se realizaron en el anteroposterior y lateral en el centro del tórax^{5,11,12}.

Las imágenes se evaluaron al azar por 3 radiólogos con asignación enmascarada (*blind*) que siguieron los criterios de calidad de imagen del tórax recomendados por la Comisión de las Comunidades Europeas.

Criterios de exclusión

El estudio excluyó a los pacientes que tenían cardiomegalia, debido al aumento del área cardíaca, en la que se produce una mayor atenuación de los fotones de rayos X; a los pacientes con derrame pleural, ya que el aumento de la

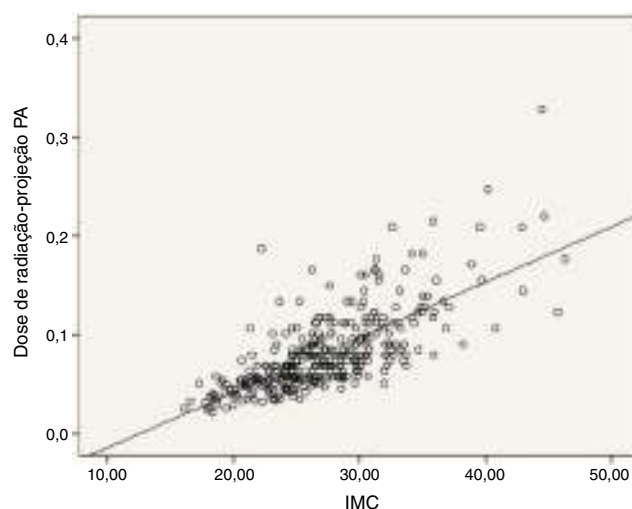


Figura 1 Correlación de la dosis de radiación con el IMC en proyección posteroanterior: $R = 0,761$; $p < 0,001$.

acumulación de líquidos produce un aumento de la absorción de la radiación; a los pacientes con enfermedades pulmonares crónicas, por acumulación de aire, que resulta en una menor atenuación de los tejidos, y a los pacientes expuestos a radiografías inadecuadas para diagnóstico.

Análisis estadístico

Los datos fueron recogidos en forma prospectiva y almacenados en una base de datos. Para correlacionar la dosis con relación al diámetro del tórax y el IMC se utilizó el coeficiente de Spearman. El cálculo del tamaño de la muestra se basó en estudios similares¹⁴. Para el análisis estadístico se utilizó el programa estadístico *Statistical Package Social Science* (SPSS) 17.0¹⁵.

El resultado de la muestra resultó en el predominio del sexo femenino, con un 51% ($n = 120$), y una edad promedio de 57 ± 16 años, con promedio de IMC de $27,36 \pm 5,18 \text{ kg}/\text{m}^2$, peso $69,83 \pm 13,03 \text{ kg}$ y espesor del tórax de $20,63 \pm 3,05 \text{ cm}$ en la medida anteroposterior.

Resultados

La **tabla 1** muestra los valores de la carga transportada en relación con las medidas de IMC. Podemos observar que, como el aumento en el IMC de acuerdo a criterios de la OMS, hay un aumento de la carga útil (mAs) de la DEP y del espesor del pecho en las radiografías de tórax realizadas. En la **tabla 2** se muestran los valores de la carga transportada relacionados con las medidas de IMC. Podemos observar que al grado de IMC elevado, siguiendo los criterios establecidos por la OPS, hay un aumento de la carga útil (mAs), de la DEP y del espesor del pecho en las radiografías de tórax realizadas.

En la **figura 1** se muestran los valores de IMC y de la DEP en el PA de proyección de una muestra de 228 pacientes y 456 imágenes, con una correlación de $R = 0,761$ y $p = \leq 0,001$.

Tabla 1 Relación entre el índice de masa corporal (IMC) y el grosor del volumen torácico relacionado con la radiación en pacientes entre 18 y 65 años (n = 336). Porto Alegre, RS, 2012

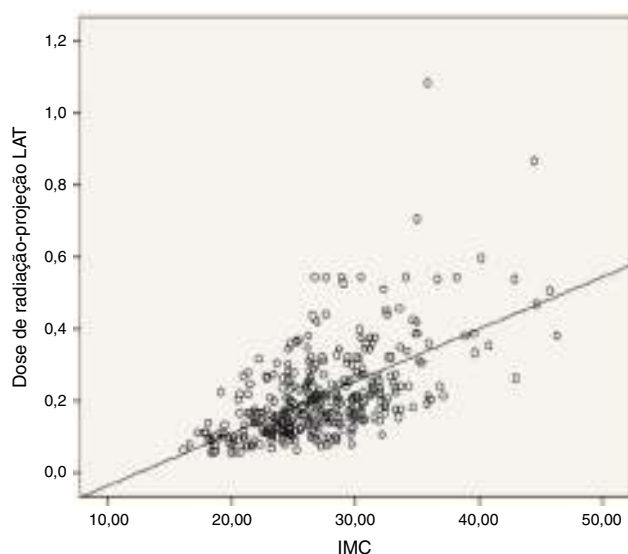
IMC (OMS)	mAs (carga transportada) PA	mAs (carga transportada) LAT	mGy (dosis en la entrada de la piel) PA	mGy (dosis en la entrada de la piel) LAT	Espesor torácico PA	Espesor torácico LAT
> 18,5 kg/m ²	0,95 ± 0,34	2,68 ± 1,40	0,55 ± 0,01	0,14 ± 0,07	18,69 ± 2,41	26,85 ± 2,96
18,5 a 24,9 kg/m ²	1,44 ± 0,39	3,90 ± 2,00	0,08 ± 0,02	0,21 ± 0,10	21,65 ± 2,28	27,48 ± 2,61
> 29,9 kg/m ²	2,26 ± 0,94	6,00 ± 3,61	0,126 ± 0,05	0,32 ± 0,19	24,24 ± 3,00	28,52 ± 2,85

OMS: Organización Mundial de la Salud.

Tabla 2 Relación del índice de masa corporal (IMC) y el espesor del tórax relacionado con la dosis de radiación en pacientes de más de 65 años (n = 336). Porto Alegre, RS, 2012

IMC (OPAS)	mAs (carga transportada) PA	mAs (carga transportada) LAT	mGy (dosis en la entrada de la piel) PA	mGy (dosis en la entrada de la piel) LAT	Espesor torácico PA	Espesor torácico LAT
≤ 23 kg/m ²	1,26 ± 0,48	3,62 ± 1,79	0,07 ± 0,02	0,20 ± 0,10	21,92 ± 2,51	27,90 ± 2,62
>23 a 29,9 kg/m ²	1,23 ± 0,34	3,45 ± 1,25	0,07 ± 0,01	0,19 ± 0,06	22,43 ± 1,10	28,00 ± 2,74
> 29,9 kg/m ²	1,87 ± 0,55	5,10 ± 1,91	0,10 ± 0,03	0,27 ± 0,10	23,77 ± 2,55	30,00 ± 2,80

OPAS: Organização Pan-Americana da Saúde.

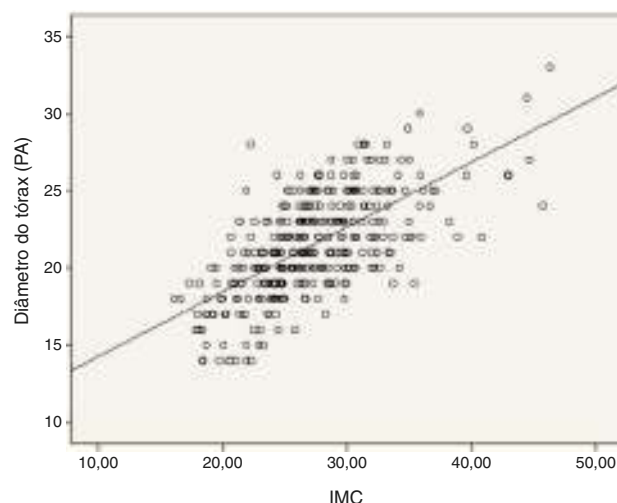
**Figura 2** Correlación de la dosis de radiación con el IMC en proyección lateral; R = 0,582; P < 0,001.

En la [figura 2](#) se muestran los valores de IMC y de la DEP en la proyección LAT de una muestra de 456 imágenes, con una correlación de R = 0,582 y p = ≤ 0,001 ([figs. 3 y 4](#)).

Discusión

Nuestro estudio de corte transversal en 228 pacientes (456 imágenes) tuvo como objetivo evaluar la relación entre el IMC y el espesor del tórax con dosis de radiación absorbidas en las radiografías de tórax.

Esta hipótesis ha sido bien documentado en el registro de Bontrager, pues demostró que el aumento de los factores

**Figura 3** Correlación entre el diámetro (espesor) del tórax posteroanterior con el IMC; R = 0,651; p < 0,001.

de exposición para estructuras con mayor espesor requieren mAs más altos en la realización de la técnica radiológica⁵.

Se describen las recomendaciones de la Ordenanza 453 y Comisión de las Comunidades Europeas (CCE) sobre la base de las recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) para que no se excedan los niveles de referencia en los exámenes de rayos X^{13,16-18}. Existe una preocupación en todo el mundo con respecto a la excesiva radiación utilizada en el examen radiológico. Es importante conocer las estructuras corporales para que se utilice el mejor parámetro indicado para la reducción de la radiación durante los exámenes^{5,11,12}.

En un estudio realizado en Carolina del Norte se tuvo como objetivo evaluar con precisión la dosis de radiación que reciben los pacientes durante un procedimiento de

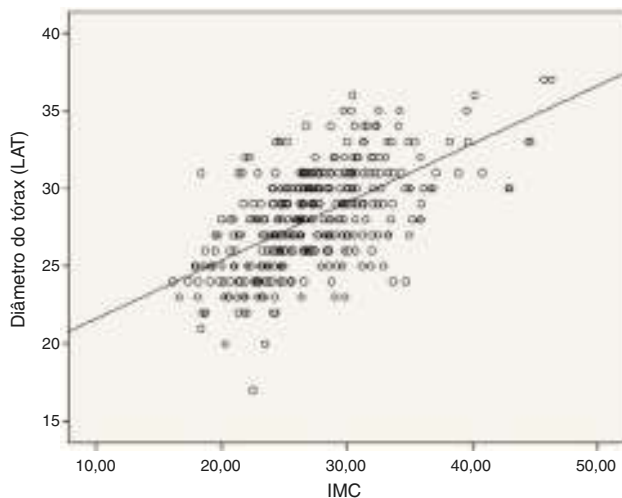


Figura 4 Correlación del diámetro lateral (espesor) del tórax con el IMC; $R = 0,568$; $p < 0,001$.

tomografía computarizada (TC), cuyo conocimiento es un paso crucial en la administración de la dosis en la exposición a la radiación. En este estudio, los autores utilizaron fantasmas, evaluaron las inexactitudes en las dosis de TC y estimaron los riesgos asociados a los rayos X. En este estudio de imágenes de los órganos del cuerpo y del cerebro se evaluó la cantidad de radiación recibida y el índice del riesgo específico para cada órgano, distribuido por sexo, basado en ICRP. Con este método de medición se ha demostrado que existe una diferencia considerable entre las dosis absorbidas en diferentes órganos. Se concluye que la dosis a órganos sensibles irradiados directamente son más pequeñas que la dosis de órganos vecinos parcialmente irradiados. Los índices de riesgo en la muestra femenina variaron considerablemente debido a la exposición al riesgo de cáncer de pulmón y de mama¹⁸.

Las figuras 1 y 2 confirman, por el coeficiente de correlación de Pearson, la correlación positiva entre la dosis de radiación y el IMC en las proyecciones posteroanterior y lateral ($p = 0,001$) y las figuras 3 y 4 confirman correlación positiva entre el diámetro del pecho (espesor) con el IMC en las proyecciones posteroanterior y lateral ($p = 0,001$).

Un factor importante es que el estudio muestra que el mAs está relacionado con la dosis absorbida. A medida que los pacientes presentaban alto IMC y espesor de pecho, la carga transportada aumentó considerablemente, mostrando una correlación directa de mAs con la dosis de radiación en radiografías.

Pina y sus colaboradores desarrollaron un estudio en el Departamento de Radiología del Hospital de Clínicas de Ribeirão Preto en el que comparan 2 opciones de parámetros radiográficos. El estudio concluyó que las radiografías tomadas con menor tensión y mayor carga transportada (mAs) presentaron dosis de radiación que llega al límite sugerido por la ANVISA y la CCE. En nuestro estudio utilizamos altas tensiones y mAs bajos, donde la dosis promedio del estudio arrojó niveles inferiores a los encontrados por Pina et al.¹⁹. Estos datos refuerzan las recomendaciones de la CCE para utilizar altos kilovoltajes en las radiografías de tórax que resultan en menos contraste y aumento de escala de grises, provocando la reducción de la dosis del paciente.

Se debe tener en cuenta que la diferencia en la absorción de hueso y tejidos blandos también se ve alterada por el kilovoltaje utilizado para hacer la radiografía. Se demostró en nuestro estudio que la mayor absorción de la radiación se produjo en pacientes con un alto IMC y espesor de tórax, prevalente entre las edades de 46 a 60 años.

Alta tensión (kV) y bajas cargas transportadas (mAs) se utilizaron en las radiografías de estudio. En las radiografías de tórax se recomiendan las técnicas de alta tensión, debido a que las altas energías reducen el contraste entre el hueso y el tejido blando. De esta manera, hay una mejor visualización del parénquima pulmonar y hay menos posibilidad de efectos estocásticos, porque la cantidad de radiación absorbida es menor^{11,12}.

Creemos que el uso de alto voltaje en las radiografías de tórax y baja carga transportada expone menos a los pacientes a la radiación ionizante, y que la tabla de exposición recomendada por ANVISA debe estructurarse a través de los datos de espesor del pecho y el IMC para producir imágenes de calidad adecuada para el diagnóstico.

Conclusión

El presente estudio demostró que existe una correlación positiva entre el IMC y el grosor del tórax, y estos son predictores influyentes en la cantidad de absorción de radiación.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Agradecimientos

Me gustaría dar las gracias a: El Instituto de Cardiología de RS, de autorizar la investigación sobre la Institución. Enfermera Silvia Goldmeier por su amistad, comprensión y orientación académica esencial. La cooperación: Dr. Gustavo Lima Glotz, Dr. Carlos Jader Feldman, físico Rogério Fachel de Medeiros, los pacientes y los colegas en el Instituto de Cardiología de RS.

Bibliografía

1. Bushong SC. Manual de radiología para técnicos, física, biología y protección radiológica. 8.ª ed Elsevier; 2007.
2. Curry TS, Dowdey JE. Christensen's Physics of Diagnostic Radiology. 4th ed. New Jersey: Lippincott Williams & Wilkins; 1990.
3. Okuno E, Caldas IL, Chow C. Física para ciências biológicas e biomédicas. São Paulo: Harbra; 1986.
4. Bitelli T. Física e dosimetria das radiações. São Paulo: Atheneu; 2006.
5. Bontrager K. Tratado de posicionamento Radiográfico e anatomia associada. 6.ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2006.
6. Robins SL. Patologia estrutural e funcional. 5.ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier; 2005.
7. Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Diretrizes Básicas de Proteção Radiológica [internet]. Brasília, DF, 2011 [Consultado 14 Dic 2012]. Disponible en: <http://www.cnen.gov.br>
8. Johns HE, Cunningham JR. The Physics of Radiology. 4th ed. Illinois: Charles & Thomas; 1983.

9. World Health Organization. Defining the problem of overweight and obesity. En: World Health Organization, editor. *Obesity: Preventing and Managing the Global Epidemic: Report of a WHO Consultation*. Geneva: WHO; 2000. p. 241–3.
10. Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS). SABE: Saúde, Bem-estar e Envelhecimento [internet] [consultado 12 Dic 2012]. Disponible en: <http://www.opas.org.br/publicmo.cfm?codigo=70>
11. Nobrega Al. *Tecnologia radiológica e diagnóstica por imagem*. São Paulo: Difusão; 2006.
12. Rodrigues GO. *Manual prático de técnicas radiológicas*. Porto Alegre: Expansão Editorial; 2012.
13. Brasil. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria n.º 453, de 1º de junho de 1998. Aprueba el Reglamento Técnico que establece las directrices básicas de protección radiológica en los diagnósticos médicos y dentales, prevé la utilización de los diagnósticos de rayosX a nivel nacional y otras medidas. *Diário Oficial da União*, 1998, junio 2: 1-20.
14. Azevedo ACP, Mohamadain KEM, Osibote AO, Cunha ALL, Filho AP. Comparison between radiological techniques and doses used in Brazil and in Australia. *Radiol Bras*. 2005;38:343–6.
15. Callegari J, Sidia M. *Bioestatística: princípios e aplicações*. Porto Alegre: Artmed; 2003.
16. European Commission. Council Directive 97/43/Euratom (Medical Exposure Directive) of June 30, 1997, on health protection of individuals against the dangers of ionizing radiation in relation to medical exposures. *Official J Eur Commun*. 1997;180.
17. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103. *Ann ICRP*. 2007;37:1–332.
18. Samei E, Zhang Y, Li X. Organ doses, effective doses, and risk indices in adult CT: Comparison of four types of reference phantoms across different examination protocols. *Med Phys*. 2012;39:3404–23.
19. Pina DR, Ghilardi Netto T, Rocha SL, Brochi MAC, Trad CS. Construção de um fantoma homogêneo para padronização de imagens radiográficas. *Radiol Bras*. 2000;33:41–4.