

Principales medidas anatómicas de las cavidades cardíacas y grandes vasos por tomografía computarizada cardíaca de doble fuente

Dr. Mario E Nápoles Lizano¹ , Dra. Margarita Puerto Díaz²  y Dr. Rafael A. Ibáñez Azán¹

¹Departamento de Tomografía Cardíaca y ²Departamento de Docencia e Investigaciones, Hospital Universitario Cardiocentro Ernesto Che Guevara. Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

Full English text of this article is also available

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Recibido: 19 de noviembre de 2020
Aceptado: 30 de diciembre de 2020

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Abreviaturas

TC: tomografía computarizada
VI: ventrículo izquierdo
VD: ventrículo derecho

RESUMEN

Introducción: Los avances tecnológicos en tomografía computarizada han hecho posible la evaluación de estructuras pequeñas y móviles, como las arterias coronarias y el resto del corazón. La tomografía cardíaca aporta información anatómica y funcional.

Objetivo: Identificar los valores de las principales medidas anatómicas de las cavidades cardíacas y los grandes vasos, y compararlos con los valores de referencia utilizados.

Método: Se realizó un estudio analítico de investigación y desarrollo con un universo de 325 pacientes normotensos, no obesos, sin enfermedad estructural cardiopulmonar o de grandes vasos, arritmia o enfermedad coronaria significativa, de donde se seleccionaron 100 pacientes por muestreo probabilístico aleatorio simple, a quienes se les realizó tomografía computarizada cardíaca de doble fuente en el Cardiocentro Ernesto Che Guevara, Santa Clara, Cuba.

Resultados: Las mediciones ventriculares izquierda y derecha mostraron diferencias con la mayoría de los valores referenciales. Los diámetros de la aorta, aumentaron con la edad, fueron superiores en los hombres y difieren de los valores de referencia con excepción del medido en eje corto de la raíz aórtica en telediástole, y el diámetro en eje corto de la aorta descendente en telesístole. La arteria pulmonar mostró diferencias significativas con relación a los valores de referencia.

Conclusiones: Las mediciones de las cavidades cardíacas y los grandes vasos basados en las técnicas tomográficas constituyen una necesidad en determinados grupos poblacionales para lograr una estandarización adecuada debido a su gran variabilidad en relación a distintas variables. La diferencia significativa con los valores de referencia indica la necesidad de estudios multicéntricos con poblaciones mayores para lograr su homogeneidad.

Palabras clave: Tomografía computarizada multidetector, Angiografía por tomografía computarizada, Arterias coronarias, Cavidades cardíacas, Valores de referencia

Main anatomical sizes of the cardiac chambers and great vessels by dual-source cardiac computed tomography

ABSTRACT

Introduction: Technological advances in computed tomography have made it possible to assess small, mobile structures such as the coronary arteries and the rest of the heart. Cardiac tomography provides anatomical and functional information.

Objectives: To identify the values of the main anatomical sizes of the cardiac cham-

✉ ME Nápoles Lizano
Cardiocentro Ernesto Che Guevara
Calle Cuba N° 610 e/ Barcelona y
Capitán Velasco. Santa Clara, CP
50200. Villa Clara, Cuba.
Correo electrónico:
marioenapoles@gmail.com

Contribución de los autores

MENL y RAlA: Concepción y diseño de la investigación; obtención, análisis e interpretación de los datos, y redacción del manuscrito.

MPD: Concepción y diseño de la investigación, y ayuda en la redacción del manuscrito.

Todos los autores revisaron críticamente el manuscrito y aprobaron el informe final.

bers and great vessels, and compare them with the reference values.

Methods: An analytical research and development study was conducted with a population of 325 normotensive, non-obese patients without cardiopulmonary or great vessel structural disease, arrhythmia or significant coronary artery disease. One hundred patients were selected by simple random probability sampling, who underwent dual-source cardiac computed tomography at the Cardiocentro Ernesto Che Guevara, Santa Clara, Cuba.

Results: Left and right ventricular measurements showed differences when compared with most reference values. Aortic diameters increased with age. They were higher in men and were different from the reference values except for the short-axis diameter of the aortic root in end-diastole and short-axis diameter of the descending aorta in end-systole. The pulmonary artery showed significant differences in relation to the reference values.

Conclusions: Measurements of cardiac chambers and great vessels by tomographic techniques are necessary in certain population groups to achieve adequate standardization due to their great variability in relation to different variables. The significant difference with the reference values indicates the need for multicenter studies with larger populations to achieve homogeneity.

Keywords: Multidetector computed tomography, Computed tomography angiography, Coronary arteries, Heart chambers, Reference values

INTRODUCCIÓN

El 8 de noviembre de 1895 Wilhelm Conrad Roentgen descubrió los rayos X en su laboratorio (Wurzburg, Alemania), este descubrimiento permitió la visualización interna del cuerpo humano y, años después, su utilización en el diagnóstico de enfermedades¹.

La progresión de esta técnica ha sido espectacular, a partir de la cual surgió la tomografía computarizada (TC). La TC secuencial evolucionó a la tecnología helicoidal, que comenzó en la segunda mitad de los ochenta; pues, cuando se creía que esta técnica había entrado en su etapa final debido al surgimiento de otras como la resonancia magnética, Kalender *et al.*² revolucionaron la tomografía con el modelo de adquisición en espiral, con una reducción considerable de la resolución temporal, a la que se añadió paulatinamente la mejoría en la resolución espacial, al pasar de los equipos de una sola fila de detectores al de dos filas, y un poco más tarde a los modelos de 4, 16, 32, 40, 64, 128, 256 y 320 imágenes por rotación^{2,3}. Otro hito tecnológico es el doble tubo, que permite un método de adquisición especial^{4,7}, similar al equipo utilizado en este estudio, que se describe más adelante.

Los grandes avances tecnológicos en TC han hecho posible la evaluación de estructuras pequeñas y móviles, como las arterias coronarias y del resto del corazón. La TC coronaria aporta información anatómica y funcional, y permite el diagnóstico de enfer-

medades congénitas y adquiridas⁸. Actualmente es posible realizar los estudios con baja dosis de radiación y de contraste endovenoso, lo que disminuye las complicaciones y contraindicaciones de este examen.

La evaluación del corazón y de las arterias coronarias con TC se hace posible al sincronizar la obtención de las imágenes con el electrocardiograma del paciente. Esto es lo que diferencia una TC coronaria de la de cualquier otra parte del cuerpo. El corazón, como órgano en constante movimiento y con estructuras de pequeño tamaño, constituye un desafío para la evaluación con imágenes⁸⁻¹⁰.

Las mediciones de las estructuras cardíacas basadas en técnicas tomográficas varían en determinados grupos poblacionales, en dependencia de algunas variables, como la edad, el color de la piel y el sexo, entre otras; por estas razones, el objetivo de esta investigación fue identificar los valores de las principales medidas anatómicas de las cavidades cardíacas y los grandes vasos, y compararlos con los valores de referencia utilizados.

MÉTODO

Se realizó un estudio analítico comparativo, de investigación y desarrollo, en pacientes no obesos, normotensos, sin enfermedad estructural cardiopulmonar o de grandes vasos, arritmia o enfermedad coronaria significativa, procedentes de las pro-

vincias Cienfuegos, Sancti Spíritus, Villa Clara, Ciego de Ávila y Camagüey, a los que se le realizó angiografía coronaria, en el Hospital Provincial Universitario Cardiocentro Ernesto Guevara, desde noviembre de 2016 a enero de 2019.

El universo estuvo constituido por 325 pacientes con las características señaladas, y la muestra quedó constituida por 100 pacientes seleccionados mediante un muestreo probabilístico aleatorio simple.

Tomógrafo

En el Departamento de Tomografía Cardíaca y Vascular del Cardiocentro Ernesto Che Guevara, donde se realizó este estudio, se encuentra instalado un equipo *Somatom Definition* (Siemens, Alemania) equipado con dos tubos de rayos X y sus dos detectores correspondientes, montados en el pórtico giratorio con un desplazamiento angular de 90°. Con respecto a las capacidades de imágenes cardíacas, este sistema de escáner ofrece una alta resolución temporal de 83 ms, en un modo de reconstrucción de segmento único. La resolución temporal es independiente de la frecuencia cardíaca, que es una gran diferencia de los sistemas de TC de una sola fuente, que se basan en técnicas de reconstrucción de múltiples segmentos.

Se utilizan protocolos de adquisición de imágenes de SIEMENS con la inyección de contraste yodado de baja densidad ULTRAVIST 370, mediante una bomba de inyección ULRISCH de última generación y protocolos de disparo ultrarrápidos, con calibración automática del tubo, con lo que se logran dosis mínimas de radiaciones. La adquisición de las imágenes se sincroniza al intervalo R-R del electrocardiograma, que es dependiente de la frecuencia cardíaca del paciente.

Análisis angiográfico

Las mediciones fueron realizadas en reconstrucciones multiplanares en los ejes corto y largo, así como en los planos de dos, tres y cuatro cámaras. Se utilizaron, además, planos cardíacos perpendiculares del tronco de la arteria pulmonar y de la aorta en las vistas axiales. Para la evaluación funcional o dinámica del ventrículo y los grandes vasos se realizó el análisis en las dos etapas del ciclo cardíaco, sístole y diástole, y se utilizaron las reconstrucciones volumétricas para la ubicación anatómica.

En general, el análisis de las características anatómicas del corazón y los grandes vasos, en este estudio, se basó en la interpretación de las imágenes a partir de los planos cardíacos estándares, con la

utilización de la misma nomenclatura que en las demás modalidades de imagen cardíaca no invasiva y las recomendaciones del consenso de expertos en angiografía coronaria por TC¹¹.

Análisis estadístico

Para el procesamiento y análisis de los datos se utilizó el programa estadístico SPSS Versión 15.0 y se realizaron pruebas de inferencia para variables cuantitativas, mediante la aplicación de las pruebas *t de Student* y ANOVA (*ANalysis Of VAriance*). Además, los resultados fueron comparados con los valores hipotéticos utilizados como referentes a nivel internacional mediante el empleo de la prueba *t de Student* para una muestra.

RESULTADOS

En la **figura** se muestra la distribución de los pacientes según edad y sexo, donde predominaron el grupo de edad entre 40 y 60 años, y el sexo femenino, ambos con igual frecuencia (55%).

Los valores de ambos ventrículos encontrados en la población de estudio difieren significativamente de los valores de referencia (**Tabla 1**), con excepción del diámetro septal-lateral del ventrículo derecho.

Los valores medios de la aorta torácica, medidos en eje corto, según el sexo, fueron superiores en el masculino para todas las mediciones (**Tabla 2**), y se encontró diferencia significativa en el diámetro telediastólico y el área de la raíz aortica, así como en los diámetros telesistólicos de la aorta ascendente y la

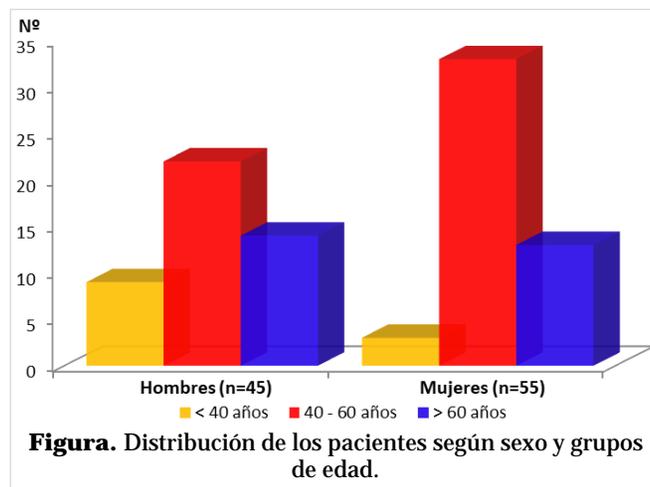


Tabla 1. Valores de los ventrículos izquierdo y derecho, en comparación con los valores de referencia.

Medidas en eje corto (mm)	Media	Intervalo de confianza 95%		Valor de referencia	t	p
Fracción eyección del VI	60,88	58,89	62,87	63,8	-2,909	0,040
Volumen telediastólico del VI	122,49	116,62	128,36	143,6	-7,136	<0,0001
Volumen telesistólico del VI	49,19	45,89	52,49	52,6	-2,052	0,043
Grosor parietal del VI	10,17	9,80	10,53	7,3	15,39	<0,0001
Grosor parietal del VD	3,59	3,37	3,81	2,4	10,54	<0,0001
Diámetro septal-lateral del VI	43,77	42,60	44,94	47,4	-1,37	<0,0001
Diámetro septal-lateral del VD	38,05	36,87	39,23	37	1,76	0,081
Diámetro anteroinferior del VI	53,03	51,64	54,42	57,7	-6,65	<0,0001
Diámetro anteroinferior del VD	50,89	48,36	53,42	72,6	-17	<0,0001
Diámetro apical anular del VI	74,65	72,89	76,41	87,6	-14,56	<0,0001
Diámetro apical anular del VD	67,46	65,80	69,12	77,7	-12,25	<0,0001

VD, ventrículo derecho; VI, ventrículo izquierdo

Tabla 2. Valores medios de aorta según sexo.

Medidas en eje corto (mm)	Masculino	Femenino	Total	t	p
Diámetro TD de raíz Ao	32,51	29,62	30,92	3,93	<0,0001
Área TD de raíz Ao (mm ²)	93,27	75,45	83,47	5,06	<0,0001
Diámetro TD de Ao ascendente	30,49	29,22	29,79	1,53	0,13
Diámetro TS de Ao ascendente	31,84	30,24	30,96	2,07	0,04
Diámetro TD de Ao descendente	23,27	22,13	22,64	1,44	0,15
Diámetro TS de Ao descendente	24,04	21,55	22,67	4,86	<0,0001

Ao, aorta; TD, telediastólico; TS, telesistólico.

Tabla 3. Comparación de valores de la aorta, según sexo, con los valores de referencia.

Medidas en eje corto (mm)	Media	Intervalo de confianza 95%		Valor de referencia	t	p
Femenino						
Diámetro TD de raíz Ao	29,62	28,80	30,44	29	1,51	0,137
Área TD de raíz Ao (mm ²)	75,45	71,89	79,02	69	3,63	0,010
Diámetro TD de Ao ascendente	29,22	28,25	30,18	28	2,53	0,014
Diámetro TS de Ao ascendente	30,24	29,26	31,21	29	2,54	0,014
Diámetro TD de Ao descendente	22,13	20,94	23,31	20	3,59	0,010
Diámetro TS de Ao descendente	21,55	20,86	22,23	22	-1,34	0,187
Masculino						
Diámetro TD de raíz Ao	32,51	31,28	33,74	32	0,87	0,009
Área TD de raíz Ao (mm ²)	93,27	87,15	99,38	85	2,72	<0,0001
Diámetro TD de Ao ascendente	30,49	29,07	31,90	28	3,54	0,001
Diámetro TS de Ao ascendente	31,84	30,59	33,10	30	2,96	0,005
Diámetro TD de Ao descendente	23,27	22,28	24,25	22	2,58	0,013
Diámetro TS de Ao descendente	24,04	23,26	24,83	23	2,69	0,010

Ao, aorta; TD, telediastólico; TS, telesistólico

descendente. Al comparar estas variables entre ambos sexos, todas mostraron diferencias significativas con los valores de referencia, excepto los diámetros telediastólico de la raíz aórtica y telesistólico de la aorta descendente en el sexo femenino (**Tabla 3**).

En la **tabla 4** se muestran los valores medios de los diferentes segmentos aórticos medidos, según los tres grupos de edad, donde se puede apreciar su

incremento a medida que avanza la edad, con diferencias significativas en los diámetros de aorta ascendente ($p=0,009$) y descendente ($p<0,0001$), más evidente respecto al grupo menor de 40 años; sin embargo, al comparar estos resultados con los valores de referencia, en este grupo etario no hubo diferencias significativas, mientras que sí las hubo en el de 40 a 60 años, específicamente en los valores me-

Tabla 4. Valores medios de la aorta según grupos de edad, en comparación con los valores de referencia.

Medidas telediastólicas en eje corto (mm)	Media	Intervalo de confianza 95%		Valor de referencia	t	p
Menores de 40 años						
Diámetro de raíz Ao	30,06	28,30	31,82	31	-1,13	0,273
Área de raíz Ao (mm ²)	76,33	68,15	84,52	78	-0,43	0,673
Diámetro de Ao ascendente*	27,33	25,56	29,11	26	1,58	0,131
Diámetro de Ao descendente**	19,39	18,23	20,55	20	1,11	0,28
40 - 60 años						
Diámetro de raíz Ao	30,53	29,49	31,57	31	-0,91	0,36
Área de raíz Ao (mm ²)	83,89	78,97	88,82	80	1,58	0,12
Diámetro de Ao ascendente*	29,95	28,83	31,06	28	3,48	0,01
Diámetro de Ao descendente**	23,24	22,09	24,38	20	5,65	<0,0001
Mayores de 60 años						
Diámetro de raíz Ao	32,30	30,83	33,76	30	3,22	0,03
Área de raíz Ao (mm ²)	87,37	79,01	95,73	76	2,79	0,01
Diámetro de Ao ascendente*	31,11	29,55	32,67	31	0,146	0,88
Diámetro de Ao descendente**	23,59	22,37	24,81	22	2,68	0,01

Ao, aorta

* $p=0,009$ al comparar entre grupos de edad

** $p<0,0001$ al comparar entre grupos de edad

Tabla 5. Valores medios de la arteria pulmonar y la vena cava superior en comparación con los valores de referencia.

Vasos	Media	Intervalo de confianza 95%		Valor de referencia	t	p
Arteria pulmonar						
Diámetro en eje corto	28,09	27,36	28,82	25	8,41	<0,0001
Diámetro anteroposterior	27,90	27,23	28,57	26	5,6	<0,0001
Diámetro lateral	26,44	25,66	27,22	24	6,1	<0,0001
Relación aorta-AP en eje corto	1,13	1,10	1,15	0,9	17,4	<0,0001
Vena cava superior						
Eje menor	15,2	14,72	15,68	17	-7,43	<0,0001
Eje mayor	21,18	20,64	21,72	21	0,6	0,511
Área por planimetría	27,6	26,24	28,96	27	0,87	0,381

AP, arteria pulmonar.

dios de los diámetros de aorta ascendente ($p=0,01$) y descendente ($p<0,0001$). De igual forma, se encontraron diferencias significativas respecto a los valores de referencia en tres de las cuatro variables analizadas, en pacientes mayores de 60 años: diámetro ($p=0,03$) y área ($p=0,01$) de la raíz aórtica y diámetro de la aorta descendente ($p=0,01$).

Todos los valores medios obtenidos de la arteria pulmonar difieren muy significativamente ($p<0,0001$) de los valores de referencia (**Tabla 5**). En el caso de la vena cava superior solo se encontró diferencia significativa en el valor medio de su eje menor ($p<0,0001$).

DISCUSIÓN

El primer escáner de TC fue diseñado, en 1972, por el ingeniero Geoffrey N. Hounsfield⁴ —Premio Nobel de Medicina en 1979— en una compañía inglesa llamada EMI Ltd, junto con Allan C. Cormack, un físico de Ciudad del Cabo que desarrolló la base matemática, basado en las modificadas de Radon, publicadas en 1917 para la reconstrucción de imágenes transversales de mediciones de transmisión¹². Los primeros escáneres de TC, actualmente conocidos como escáneres de tomografía axial computarizada, se limitaron a imágenes craneales, hasta que se produjeron para el cuerpo entero en el año 1975. Pero la velocidad de rotación de estos primeros equipos de TC mecánicos era insuficiente para la imagen de órganos en movimiento; por lo que, a fines de la década de 1970, se desarrolló un sistema de TC muy rápido, sin partes rotativas, dedicado a la obtención de imágenes del corazón, seguido por las técnicas multicorte de fuentes giratorias simultáneamente con la fuente de rayos^{13,14}. Introducida a principios de la década de 1990, la TC helicoidal permitió una rápida cobertura de grandes secciones del cuerpo, lo cual fue particularmente útil para aplicaciones de TC angiográficas y cardíacas, gracias a su resolución temporal y espacial, lo que facilitó la obtención de imágenes de alta calidad de órganos en movimiento y latientes, como el corazón y los grandes vasos^{13,14}.

Al desarrollo en la adquisición de las imágenes le siguió el del software para las reconstrucciones en el departamento de posprocesamiento, donde estas se analizan para llegar a conclusiones diagnósticas. A todo esto se unen los protocolos de inyección y de adquisición con el uso de bajas dosis de radiaciones, sincronizados al electrocardiograma del paciente con reconstrucciones submilimétricas, que facili-

tan la visualización de detalles anatómicos con gran nitidez, sobre todo en el corazón y los vasos del tórax y el mediastino. Como ya se ha planteado, esto se logra por la mejoría en la resolución espacial y temporal, y la adquisición volumétrica del tomógrafo de doble fuente, que tiene una resolución temporal de 83 ms por 64 filas de detectores a 0,625 mm de grosor, y adquiere por cada rotación de 360 grados 40 mm de volumen en el eje Z o longitudinal del cuerpo^{8-10,15-17}.

Lin *et al.*¹⁸ realizaron una investigación parecida a la nuestra con un número y características similares de los pacientes estudiados. De forma general, las medidas y volúmenes de ambos ventrículos difieren levemente de nuestros resultados y, algunas de ellas, presentan diferencias estadísticas significativas. Estos autores establecieron valores específicos, según edad y sexo, del tamaño, función y masa de todas las cámaras cardíacas, en adultos sin enfermedades cardiovasculares, hipertensión u obesidad; y proponen que estos datos pueden utilizarse como referencia para futuros estudios de tomografía computarizada multidetector. Por su parte, Stojanovska *et al.*¹⁹ normalizaron el rango de referencia para el volumen, la función y la masa de ambos ventrículos, según la edad, el sexo y la superficie corporal, y observaron diferencias estadísticamente significativas entre hombres y mujeres tanto en la masa del ventrículo izquierdo, como en el volumen del derecho ($p < 0,0001$). Además, la edad y el sexo se asociaron a diferencias significativas en el volumen diastólico final del ventrículo derecho ($p=0,027$) y la fracción de eyección del izquierdo ($p=0,03$). Resultados similares han sido encontrados por otros autores²⁰⁻²².

Los valores de la aorta torácica fueron significativamente mayores en los pacientes del sexo masculino, lo cual se justifica por la diferencia de superficie corporal. Sin embargo, estos parámetros tuvieron una diferencia menos significativa con el patrón de referencia, probablemente relacionado con la menor variabilidad de los diámetros aórticos de estos segmentos con respecto a la superficie corporal. Al analizar estas mismas variables según los tres grupos de edad, se observó que la variación de los diámetros aórticos de cualquiera de los segmentos estudiados aumenta proporcionalmente con la edad, y se encontró una diferencia significativa en cuanto a los diámetros de la aorta ascendente y la descendente. Estos resultados también coinciden con otro estudio de Lin *et al.*²³.

Los valores para cada parámetro de la arteria

pulmonar y la vena cava superior mostraron diferencias significativas comparándolas con los patrones de referencia, pero son similares a los encontrados por Edwards *et al.*²⁴ y a lo descrito por Sonavane *et al.*²⁵, respectivamente.

CONCLUSIONES

Las mediciones de las cavidades cardíacas y grandes vasos basados en las técnicas tomográficas multicorte de doble fuente es una necesidad en determinados grupos de población para lograr una estandarización adecuada debido a su gran variabilidad en relación a diferentes variables, como el color de la piel (o la raza), edad y sexo, entre otras variables. Sus diferencias significativas con los valores referenciales y dentro del mismo grupo poblacional nos indican que se deben realizar estudios multicéntricos con poblaciones mayores para lograr una adecuada homogeneidad de dichas medidas.

BIBLIOGRAFÍA

- Rontgen WC. *Über Eine Neue Art Von Strahlen*. Sitzungsberichte der physikalisch-medizinischen gesellschaft zu Wurzburg. Berlin: Springer-Verlag. 1895.
- Kalender WA, Seissler W, Klotz E, Vock P. Spiral volumetric CT with single-breath-hold technique, continuous transport, and continuous scanner rotation. *Radiology*. 1990;176(1):181-3. [DOI]
- Flohr TG, Schaller S, Stierstorfer K, Bruder H, Ohnesorge BM, Schoepf UJ. Multi-detector row CT systems and image-reconstruction techniques. *Radiology*. 2005;235(3):756-73. [DOI]
- Brooks RA. A quantitative theory of the Hounsfield unit and its application to dual energy scanning. *J Comput Assist Tomogr*. 1977;1(4):487-93. [DOI]
- McCullough CH, Primak AN, Saba O, Bruder H, Stierstorfer K, Raupach R, *et al.* Dose performance of a 64-channel dual-source CT scanner. *Radiology*. 2007;243(3):775-84. [DOI]
- Kalender WA, Perman WH, Vetter JR, Klotz E. Evaluation of a prototype dual-energy computed tomographic apparatus. I. Phantom studies. *Med Phys*. 1986;13(3):334-9. [DOI]
- Johnson TR, Krauss B, Sedlmair M, Grasruck M, Bruder H, Morhard D, *et al.* Material differentiation by dual energy CT: initial experience. *Eur Radiol*. 2007;17(6):1510-7. [DOI]
- Gerber TC, Carr JJ, Arai AE, Dixon RL, Ferrari VA, Gomes AS, *et al.* Ionizing radiation in cardiac imaging: a science advisory from the American Heart Association Committee on Cardiac Imaging of the Council on Clinical Cardiology and Committee on Cardiovascular Imaging and Intervention of the Council on Cardiovascular Radiology and Intervention. *Circulation*. 2009;119(7):1056-65. [DOI]
- Choi TY, Malpeso J, Li D, Sourayanezhad S, Budoff MJ. Radiation dose reduction with increasing utilization of prospective gating in 64-multi-detector cardiac computed tomography angiography. *J Cardiovasc Comput Tomogr*. 2011;5(4):264-70. [DOI]
- Jakobs TF, Becker CR, Ohnesorge B, Flohr T, Suess C, Schoepf UJ, *et al.* Multislice helical CT of the heart with retrospective ECG gating: reduction of radiation exposure by ECG-controlled tube current modulation. *Eur Radiol*. 2002;12(5):1081-6. [DOI]
- Mark DB, Berman DS, Budoff MJ, Carr JJ, Gerber TC, Hecht HS, *et al.* ACCF/ACR/AHA/NASCI/SAIP/SCAI/SCCT 2010 expert consensus document on coronary computed tomographic angiography: A report of the American College of Cardiology Foundation Task Force on Expert Consensus Documents. *Circulation*. 2010;121(22):2509-43. [DOI]
- Radon J. Über die Bestimmung von Funktionen durch ihre Integralwerte längs gewisser Mannigfaltigkeiten (On the determination of functions from their integral values along certain manifolds). *Berichte über die Verhandlungen der Königlich-Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig. Mathematisch-Physische Klasse*. 1917;69:262-7.
- Wicky S, Rosol M, Hoffmann U, Graziano M, Yucel KE, Brady TJ. Comparative study with a moving heart phantom of the impact of temporal resolution on image quality with two multidetector electrocardiography-gated computed tomography units. *J Comput Assist Tomogr*. 2003;27(3):392-8. [DOI]
- Nieman K, Rensing BJ, van Geuns RJ, Vos J, Patynama PM, Krestin GP, *et al.* Non-invasive coronary angiography with multislice spiral computed tomography: impact of heart rate. *Heart*. 2002;88(5):470-4. [DOI]
- Bastarrিকা G, Arraiza M, Arias J, Broncano J, Zudaire B, Pueyo JC, *et al.* Coronariografía mediante tomografía computarizada de doble fuente: cali-

- dad de imagen e intervalo de reconstrucción óptimo. *Radiología*. 2009;51(4):376-84. [DOI]
16. Ropers D, Baum U, Pohle K, Anders K, Ulzheimer S, Ohnesorge B, *et al*. Detection of coronary artery stenoses with thin-slice multi-detector row spiral computed tomography and multiplanar reconstruction. *Circulation*. 2003;107(5):664-6. [DOI]
 17. Nieman K, Cademartiri F, Lemos PA, Raaijmakers R, Pattynama PM, de Feyter PJ. Reliable noninvasive coronary angiography with fast submillimeter multislice spiral computed tomography. *Circulation*. 2002;106(16):2051-4. [DOI]
 18. Lin FY, Devereux RB, Roman MJ, Meng J, Jow VM, Jacobs A, *et al*. Cardiac chamber volumes, function, and mass as determined by 64-multi-detector row computed tomography: mean values among healthy adults free of hypertension and obesity. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2008;1(6):782-6. [DOI]
 19. Stojanovska J, Prasitdumrong H, Patel S, Sundaram B, Gross BH, Yilmaz ZN, *et al*. Reference absolute and indexed values for left and right ventricular volume, function and mass from cardiac computed tomography. *J Med Imaging Radiat Oncol*. 2014;58(5):547-58. [DOI]
 20. Nuffer Z, Baran TM, Krishnamoorthy V, Kaproth-Joslin K, Chaturvedi A. Accuracy of Non-Electrocardiographically Gated Thoracic CT Angiography for Right Atrial and Right Ventricular Enlargement. *Radiol Cardiothorac Imaging* [Internet]. 2019 [citado 17 Nov 2020];1(4):e190008. Disponible en: <https://doi.org/10.1148/ryct.2019190008>
 21. Koo HJ, Lee JG, Ko JY, Lee G, Kang JW, Kim YH, *et al*. Automated Segmentation of Left Ventricular Myocardium on Cardiac Computed Tomography Using Deep Learning. *Korean J Radiol*. 2020;21(6):660-9. [DOI]
 22. Abdelrahman KM, Chen MY, Dey AK, Virmani R, Finn AV, Khamis RY, *et al*. Coronary Computed Tomography Angiography From Clinical Uses to Emerging Technologies: JACC State-of-the-Art Review. *J Am Coll Cardiol*. 2020;76(10):1226-43. [DOI]
 23. Lin FY, Devereux RB, Roman MJ, Meng J, Jow VM, Jacobs A, *et al*. Assessment of the thoracic aorta by multidetector computed tomography: age- and sex-specific reference values in adults without evident cardiovascular disease. *J Cardiovasc Comput Tomogr*. 2008;2(5):298-308. [DOI]
 24. Edwards PD, Bull RK, Coulden R. CT measurement of main pulmonary artery diameter. *Br J Radiol*. 1998;71(850):1018-20. [DOI]
 25. Sonavane SK, Milner DM, Singh SP, Abdel Aal AK, Shahir KS, Chaturvedi A. Comprehensive Imaging Review of the Superior Vena Cava. *Radiographics*. 2015;35(7):1873-92. [DOI]