

TOMOGRAFÍA COMPUTADA CARDIACA

TM Iván Rañilao Elizondo
Centro de Imagenología HCUCH

Desde que se desarrollo la tomografía computada a comienzos de la década de 1970, esta tecnología ha experimentado muchos cambios espectaculares. Cada innovación ha supuesto un salto asombroso en el rendimiento, es decir, un incremento en la velocidad de adquisición del barrido y en la resolución espacial. El acortamiento con la TC multidetector del tiempo de barrido, aumenta la eficiencia en el uso de los medios de contraste endovenosos y reduce, en la mayoría de las aplicaciones, la cantidad de contraste requerida, lo cual limita los efectos de nefrotoxicidad para los pacientes con algún daño renal. El tiempo corto de barrido además fomenta la colaboración del paciente y permite que hasta los enfermos mas debilitados mantengan la pausa respiratoria. Al mejorar la resolución espacial, se pueden ver finísimos detalles anatómicos. Por otro lado la disminución del espesor de corte explica el uso de voxel del mismo tamaño en las tres dimensiones, con lo que las reconstrucciones en 3D son de gran calidad. Todo esto ha beneficiado la aparición en los últimos años de la CardioTC como técnica de rutina en el estudio de patologías de las arterias coronarias y del corazón.

El corazón es un órgano en constante movimiento, relleno de sangre y con un patrón contráctil complejo. Su arquitectura no produce un contraste natural, y su movimiento limita la resolución espacial. Por ello, la TC cardiaca para resultar útil precisa del realce de contraste y de métodos que limiten el movimiento cardiaco.

Las dos aplicaciones clínicas mas importantes se refieren a la cardiopatía isquémica del adulto que incluye: el índice de calcio coronario y la angiografía coronaria. La elevada resolución espacial de la CardioTC proporciona un análisis pormenorizado de las distintas estructuras valvulares durante la fase de ciclo cardiaco en las que las válvulas se encuentran relativamente estáticas. Por otro lado la CardioTC se utiliza para la planificación preoperatoria de las sustituciones valvulares y para la detección de las responsables de la endocarditis.

A través de la técnica retrospectiva de sincronización, la CardioTC registra el movimiento del corazón, lo que se emplea para evaluar los volúmenes y las funciones ventriculares. Además puede dar una estimación de tridimensional exacta de las alteraciones anatómicas intra y extracardiacas en las cardiopatías congénitas. Por ultimo, la CardioTC se utiliza para evaluar las complicaciones que siguen a la intervención o cirugía, por ejemplo, de las arterias coronarias.

Anatomía normal de las arterias coronarias

Como la AngioTC cardiaca revela igual de bien las arterias y las venas coronarias, es imprescindible conocer a fondo la anatomía normal y modificada de los vasos coronarios para no confundir los dos sistemas. La circulación coronaria tiene una dominancia derecha en el 85% de la población, es decir, la arteria coronaria derecha (ACD) perfunde las paredes inferoseptal e inferior del ventrículo izquierdo dando origen a la arteria descendente posterior (ADP) y a las ramas ventriculares izquierdas posteriores (VIP).

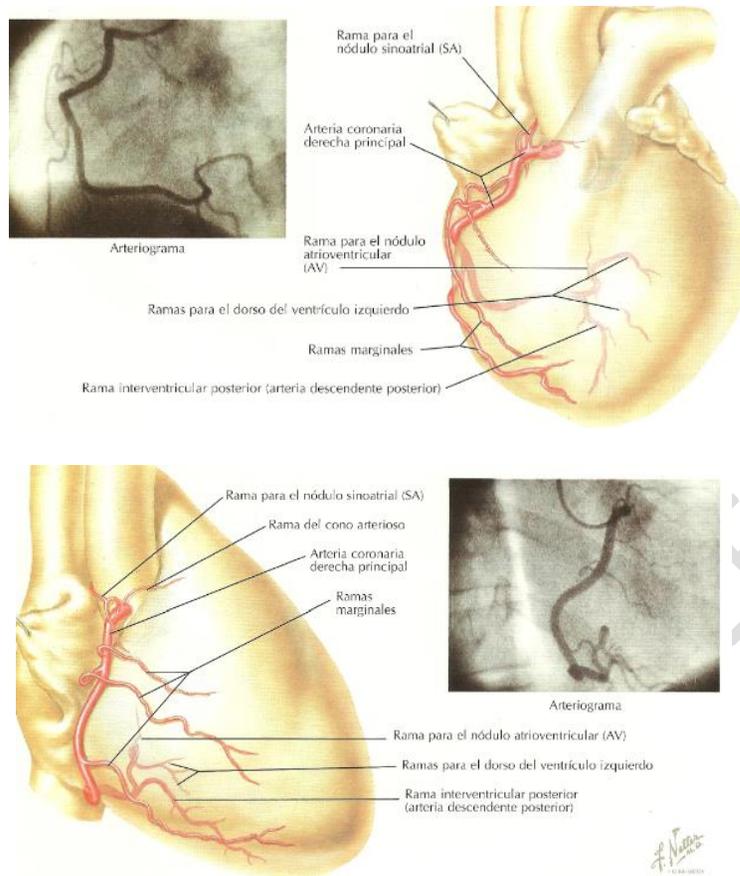


Figura 1. Esquemas anatómicos de la arteria coronaria derecha. Visión oblicua anterior izquierda donde se observan bien las ramas marginales y visión oblicua anterior derecha donde se observa la arteria descendente posterior.

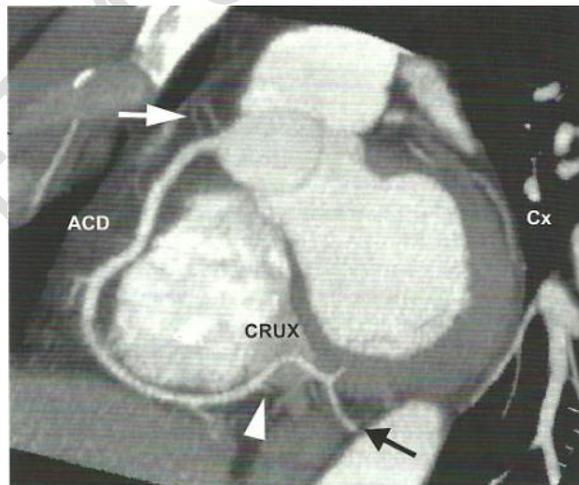


Figura 2. Arteria coronaria derecha en un paciente con dominancia a derecha. En esta visión de un eje corto cardiaco, la arteria infundibular o del cono se origina justo por encima de la coronaria derecha. La ACD sigue el surco auriculoventricular derecho y sigue por el tabique hasta la pared inferior del ventrículo izquierdo pasando por la cruz. La descendente posterior (cabeza de flecha) se origina en la parte distal de la ACD y en el surco auriculoventricular izquierdo se aprecia la circunfleja izquierda CX.

La circulación coronaria tiene una dominancia izquierda en el 8%, pues la ADP y las ramas VIP, provienen de la arteria circunfleja izquierda (CX). En el 7% restante, la circulación coronaria tiene una dominancia equilibrada, pues la arteria coronaria derecha da a la arteria descendente posterior, y la circunfleja izquierda, da las ramas ventriculares izquierdas posteriores.

La arteria coronaria derecha suele originarse en el seno aórtico derecho de Valsalva y sigue un trayecto anterior por el surco auriculoventricular derecho. A veces surge una arteria infundibular (o del cono) como primera rama de la arteria coronaria derecha, aunque en la mitad de las ocasiones nace directamente de la aorta, encima de la coronaria derecha. Esta arteria infundibular perfunde el miocardio en la zona del tracto de salida del ventrículo derecho. La arteria para el nodo sinusal puede nacer en la zona proximal de la arteria coronaria derecha o circunfleja izquierda, con una frecuencia casi equivalente.

La porción media de la arteria coronaria derecha suele emitir una o mas ramas marginales agudas que irrigan la pared libre del ventrículo derecho. La porción distal da la vuelta por la cara inferior del corazón. En la intersección del tabique interventricular con el surco auriculoventricular, conocido como la cruz, la arteria coronaria derecha forma una U invertida; en el vértice de esta U doblada suele originarse las ramas para el nódulo auriculoventricular. Si la circulación coronaria tiene una dominancia derecha, la arteria coronaria derecha da la arteria descendente posterior antes de la cruz y, después una o mas ramas ventriculares izquierdas posteriores. La arteria descendente posterior emite pequeñas ramas perforantes que se dirigen a la cara septal inferior.

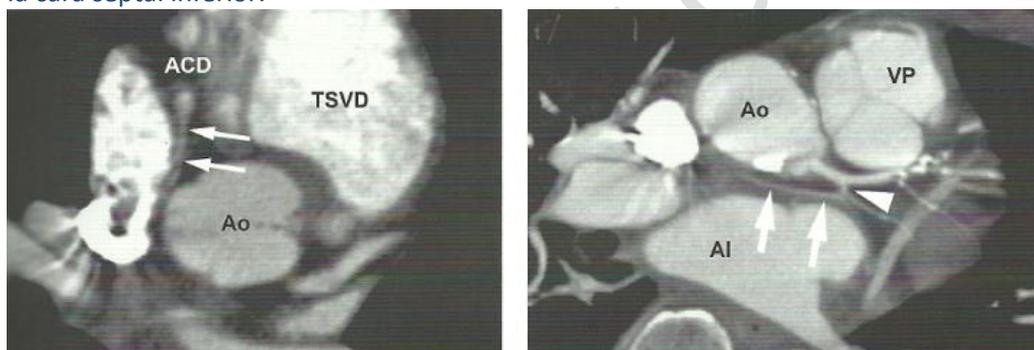


Figura 3. Arteria del nodo sinusal. En la mitad de los casos esta arteria nace en la arteria coronaria derecha ACD como se ve en el corte axial. En la otra mitad se origina en la circunfleja izquierda inmediatamente después de su origen en el tronco de la coronaria izquierda.

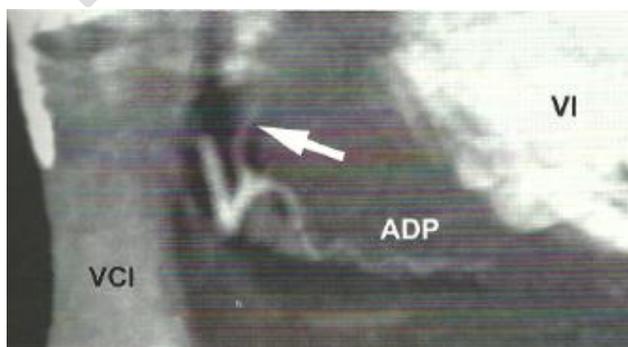


Figura 4. Arteria para el nodo auriculoventricular. En esta visión sagital reformateada, se observa como la arteria para el nodo AV nace de la curva invertida en U de la arteria coronaria derecha que también perfunde a la descendente posterior.

El tronco de la arteria coronaria izquierda se origina en el seno aórtico izquierdo de Valsalva y se dirige a la izquierda en una distancia breve. Luego se bifurca en las ramas descendente anterior izquierda (DAI) circunfleja izquierda. Algunos pacientes emiten una tercera rama, denominada mediana, que biseca el ángulo entre la descendente anterior izquierda y la circunfleja. La rama mediana actúa como una rama diagonal y perfunde la cara anterolateral del ventrículo izquierdo. La descendente anterior izquierda emite una serie de ramas perforantes para la profundidad del tabique interventricular. Asimismo, de ella nacen una serie de ramas superiores, denominadas diagonales, que nutren la cara anterolateral del ventrículo izquierdo. En la porción distal, la descendente anterior izquierda suele girar alrededor de la punta para perfundir la parte inferior. De la circunfleja izquierda surge una rama para el nódulo sinusal antes de entrar en el surco auriculoventricular izquierdo. Ahí, la circunfleja da una serie de ramas obtusas o marginales que irrigan la cara lateral del ventrículo izquierdo. Si la circulación tiene una dominancia izquierda o equilibrada, la circunfleja izquierda continua hasta las paredes posterior e inferior dando origen a las ramas ventriculares izquierdas posteriores; si la circulación tiene una dominancia izquierda, la circunfleja emite la descendente posterior.

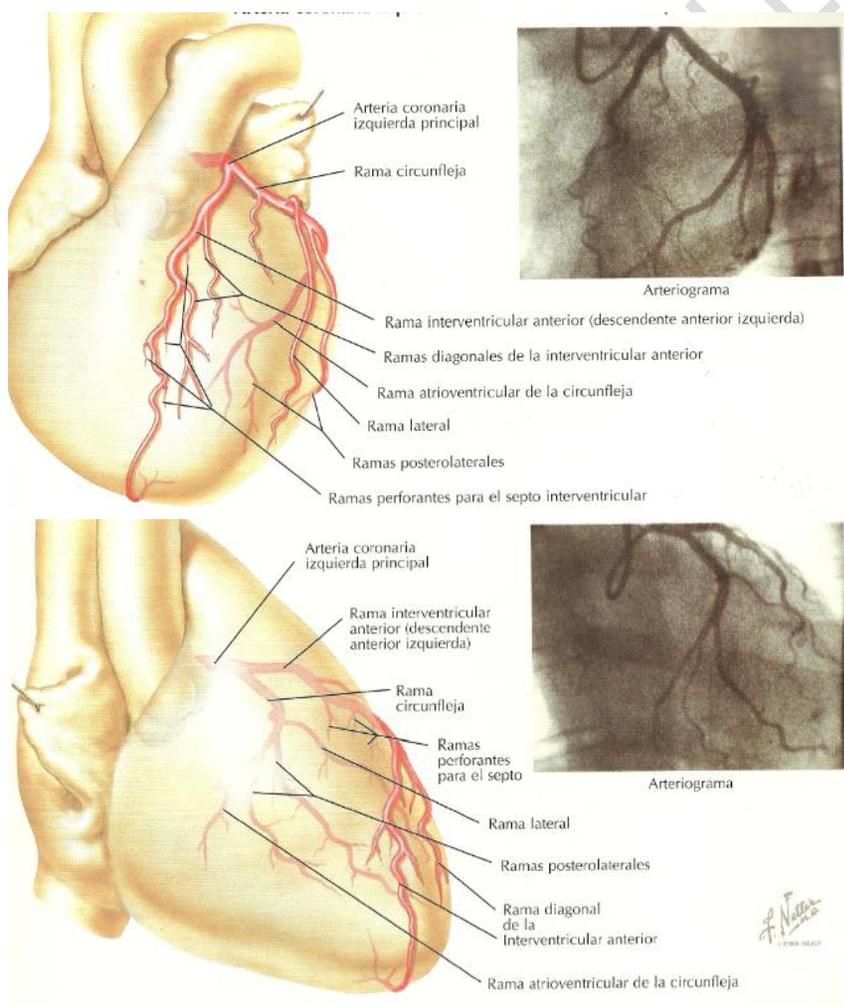


Figura 5. Esquemas anatómicos de la arteria coronaria izquierda. En visión oblicua anterior izquierda y visión oblicua anterior derecha. Se observan bien sus ramas descendente anterior izquierda y circunfleja.

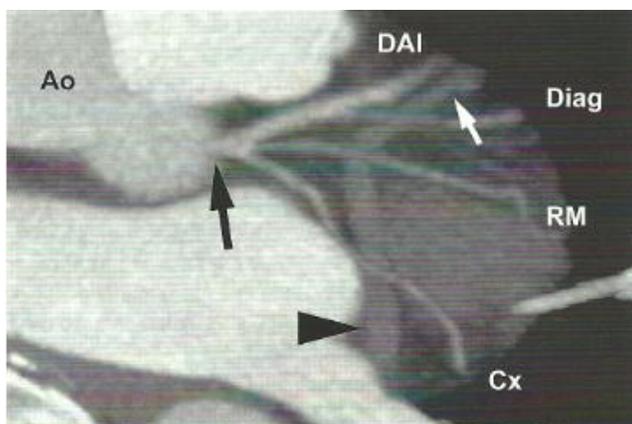


Figura 6. Ramas principales del tronco coronario izquierdo. Se observa la bifurcación de este en descendente anterior izquierda DAI, rama mediana RM, y la circunfleja izquierda Cx.

Anatomía venosa coronaria normal

Si se compara con la anatomía arterial coronaria, la anatomía venosa varía aun más. Las venas coronarias principales deberían describirse según su relación con las arterias concomitantes de la superficie cardíaca. En general las venas tienen un calibre mayor y se ven mejor que las arterias asociadas. Por eso, no deben confundirse, sobre todo en situaciones donde la arteria está obstruida y solo sigue visualizándose la vena.

La vena concomitante de la descendente anterior izquierda se denomina vena interventricular anterior (VIA). En la mayoría de los casos, se sitúa a la izquierda de la arteria ascendente anterior, sobre el tabique interventricular, si bien en un 12% de los casos, ambas venas se cruzan. A medida que la vena interventricular anterior se dirige hacia la bifurcación del tronco de la arteria coronaria izquierda, se aleja de la descendente anterior y viaja con la circunfleja izquierda por el surco auriculoventricular izquierdo. El segmento venoso situado dentro del surco auriculoventricular izquierdo se conoce como vena coronaria mayor (VCM). El triángulo delimitado por la circunfleja izquierda, la descendente anterior y la vena interventricular anterior se denomina triángulo de Brocq y Mouchet. El tronco de la arteria coronaria izquierda no tiene vena satélite. La vena coronaria mayor acompaña a la circunfleja izquierda por el surco auriculoventricular izquierdo hasta la cara inferior del corazón. Esta vena puede cruzarse con la circunfleja dentro del surco auriculoventricular. La vena coronaria mayor recibe el drenaje venoso de una serie de venas marginales izquierdas (VMI). La marginal izquierda situada sobre la pared posterolateral es el objetivo recomendado para introducir un electrodo ventricular izquierdo. La vena interventricular posterior (VIT) se empareja con la arteria descendente posterior y drena a la vena coronaria mayor. La confluencia de las venas coronarias mayor e interventricular posterior da lugar al seno coronario que sigue un trayecto de 1 a 2 cm antes de desembocar en la aurícula derecha. La entrada del seno coronario en la aurícula derecha puede estar protegida por una válvula de Tebesio de prominencia variable. Un pequeño porcentaje de pacientes tiene una vena cardíaca menor (VCM) que se identifica a lo largo de la arteria coronaria derecha y drena el seno coronario.

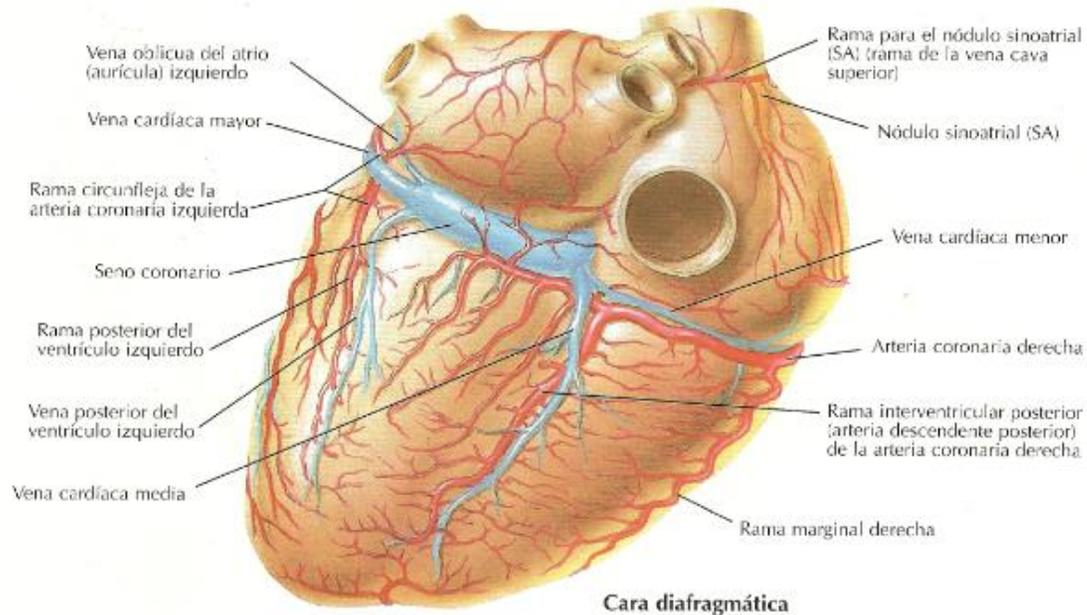
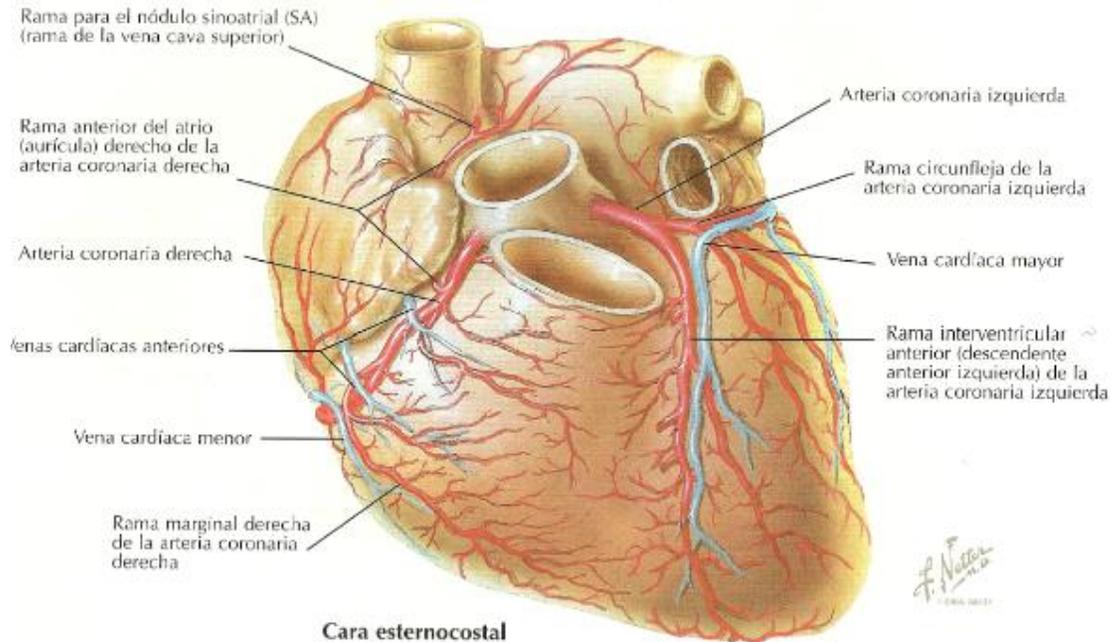


Figura 7. Esquemas anatómicos de sistema venoso cardíaco y sus relaciones con las arterias coronarias en visión de la cara esternocostal y diafragmática. Se observa la vena cardíaca mayor por la cara esternocostal y su estrecha relación con el tronco coronario izquierdo. Por la cara diafragmática se observa el seno coronario junto con la vena cardíaca menor y su relación con la coronaria derecha, además de la vena cardíaca media que va junto a la descendente posterior.

Pericardio

El pericardio es un saco serofibroso que envuelve al corazón. Está formado por dos capas: el pericardio parietal más grueso y con abundante tejido fibroso, y el pericardio visceral, que es una fina capa de células en contacto con el corazón y con la grasa epicárdica. El espacio virtual así formado contiene normalmente entre 20ml y 60 ml de líquido. El saco pericárdico se extiende por arriba hasta el tronco de la pulmonar, segmento medio de la aorta ascendente y vena cava superior. El borde inferior del pericardio descansa sobre el diafragma y rodea en su entrada a la vena cava inferior. La anatomía del saco pericárdico es homogénea en la región de los ventrículos, en cambio forma una serie de recesos entre los grandes vasos y la parte alta de las aurículas. Los recesos pericárdicos más importantes son: el seno transverso entre aorta ascendente y aurícula izquierda; el receso anterior, por delante de la arteria pulmonar y de la aorta; y los dos recesos laterales. El receso lateral derecho rodea la vena cava superior y la arteria pulmonar derecha. El receso lateral izquierdo rodea a la arteria pulmonar izquierda. El receso de mayor tamaño es el situado por detrás de la aurícula y ventrículo izquierdos, el denominado receso oblicuo.

El pericardio puede ser visto en los cortes de TC torácica de más del 95% de los pacientes adultos. Aparece como una fina línea curva con densidad de tejidos blandos, de 1mm a 2mm de grosor, por delante y a los lados de la pared libre ventricular, habitualmente separada del miocardio subyacente por la grasa epicárdica.

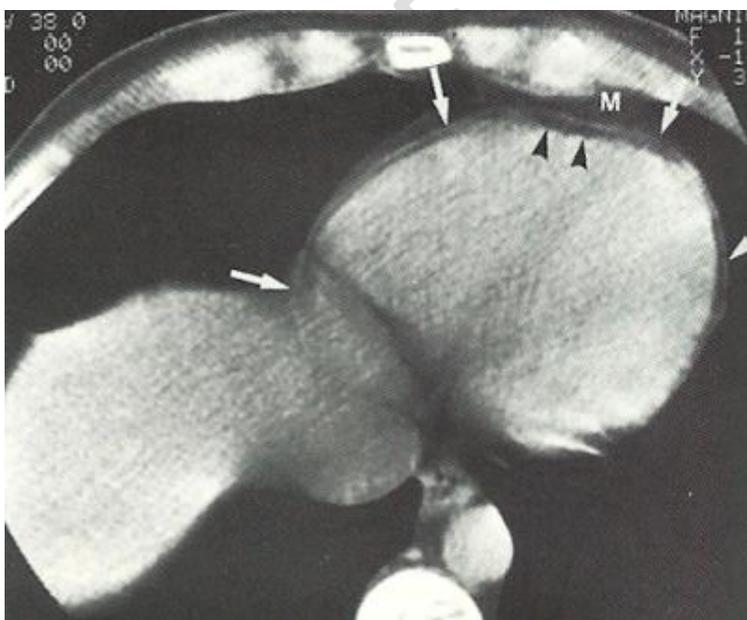


Figura 8. Imagen de TC del pericardio normal. Corte axial a nivel ventricular medio. El pericardio se ve como una fina línea (flechas) que rodea el corazón separando la grasa epicárdica (cabezas de flecha) de la grasa mediastínica más externa M.

PRINCIPIOS DE LA ADQUISICION DEL CARDIOTC

El tiempo de barrido que se precisa para cubrir el volumen cardiaco, aun con el escáner de TC multidetector mas rápido del mercado, es significativamente mayor que la duración del latido cardiaco. La adquisición de la imagen tiene lugar por necesidad, a lo largo de varios latidos cardiacos. Para mantener una misma fase cardiaca en todo el volumen, los datos adquiridos se deben descomponer en pequeños segmentos y cada uno se ha de sincronizar con una fase cardiaca concreta.

Este principio de la sincronización cardiaca (en ingles; gating), se utiliza mucho en el estudio cardiaco por RNM y en el TC de haz electrónico. Para minimizar los artefactos de movimiento, hay que reducir el periodo de adquisición de datos de cada segmento para minimizar el movimiento cardiaco, esto define la resolución temporal del escáner que se utilizara. Entonces podemos decir que las opciones en el método de sincronización cardiaca y la resolución temporal influyen de manera notable en la resolución espacial, los artefactos, el tiempo total de barrido, la dosis de radiación y la calidad general de la imagen.

Métodos de Sincronización Cardiaca

Se conocen dos estrategias principales de sincronización cardiaca: Prospectiva y Retrospectiva. La mayoría de los equipos de TC se sirve de la señal del ECG como marcador suceso del movimiento periódico del corazón.

El usuario de la **Sincronización Prospectiva** prescribe, antes del barrido, la fase cardiaca especifica que desea visualizar. Esta fase se puede especificar como una demora absoluta después de la señal ECG activadora, en general la onda R, o bien como el porcentaje de tiempo entre las ondas R adyacentes. El equipo impulsa la mesa hasta la posición inicial prescrita y espera hasta que llegue la fase cardiaca predeterminada. Cuando arriba la fase cardiaca, el equipo toma cortes axiales secuenciales, en numero equivalente a las hileras de detectores. Luego la mesa se desplaza hasta una nueva posición con un incremento equivalente a anchura de la sección multiplicada por las hileras de detectores. Una vez mas el equipo espera la llegada de la siguiente fase cardiaca y este ciclo se repite hasta que se barre todo el volumen cardiaco. Este procedimiento se denomina de "paso y disparo".

La mayor ventaja de la sincronización prospectiva es su simplicidad. El tiempo total de barrido es inversamente proporcional a la frecuencia cardiaca, el grosor de corte y el numero de hileras de detectores. Por otro lado como la fuente de rayos X solo se activa durante la adquisición de la imagen, la dosis de radiación que recibe el paciente es baja. Sin embargo la sincronización prospectiva esta sujeta a las irregularidades del ritmo cardiaco y que solo se puede visualizar una fase cardiaca en cada barrido, lo que la hace limitante. Hasta el momento este método solo se utiliza para visualizar el calcio coronario.

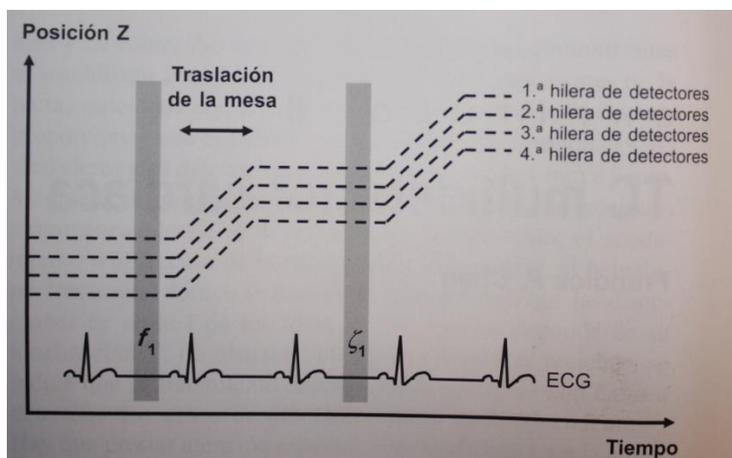


Figura 9. Diagrama de sincronización prospectiva. El escáner desplaza la mesa hasta una posición predeterminada y toma imágenes en la fase cardiaca. El escáner mueve luego la mesa hasta la siguiente posición y toma imágenes en la siguiente fase cardiaca. Este proceso se repite hasta que se barre todo el corazón.

En la **Sincronización Retrospectiva**, el equipo adquiere constantemente los datos en modo helicoidal, mientras la mesa se desplaza a velocidad constante. El Pitch como bien sabemos se define como la distancia que recorre la mesa en una rotación del gantry, dividida por la anchura total de barrido, o la anchura del detector multiplicada por el número de hileras de detectores. Este factor pitch para la sincronización retrospectiva se mantiene deliberadamente bajo para que una hilera diferente de detectores barra la misma localización cardiaca en un momento distinto durante una fase cardiaca diferente. Este pitch puede ser tan bajo como un tercio o una cuarta parte de lo que se emplea para los barridos helicoidales no sincronizados de rutina. El trazado del ECG se registra de forma independiente y solo se utiliza durante la reconstrucción de la imagen.

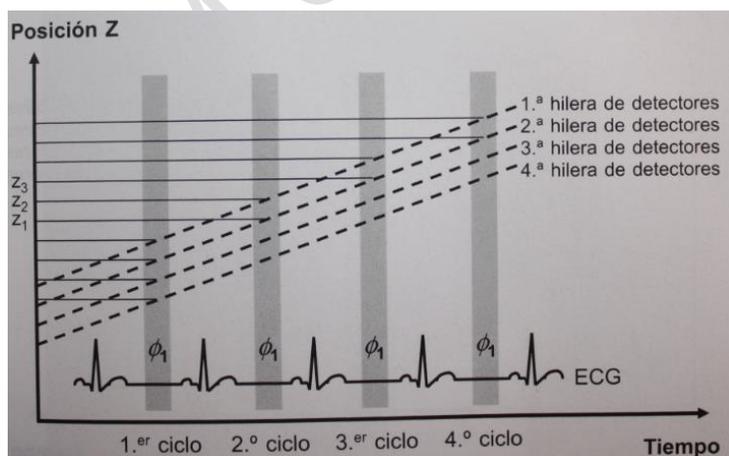


Figura 10. Diagrama de sincronización retrospectiva. La mesa del escáner se mueve con una velocidad constante mientras todas las hileras de detectores adquieren continuamente datos. Para reconstruir la sección en la posición z_1 y en la fase cardiaca ϕ_1 , el algoritmo examina los datos registrados por la hilera más próxima de detectores que, en este ejemplo, es la segunda hilera de detectores del segundo ciclo cardiaco.

La selección del pitch reviste mucha importancia; si es demasiado alto y la frecuencia cardiaca resulta muy baja, podría haber lagunas en la posición de la mesa, donde no se dispusiera de datos para reconstruir una determinada fase cardiaca. Por otro lado si el pitch es demasiado bajo, el barrido se hará lentamente y se expondrá al paciente a una dosis de radiación mayor. La elección correcta del pitch depende de la frecuencia cardiaca y, como se vera, también del algoritmo de reconstrucción.

La mayor ventaja de la sincronización retrospectiva sobre la prospectiva es la capacidad de reconstruir fases cardiacas arbitrarias después del barrido. Esto se aprovecha para antes de reconstruir identificar una fase cardiaca con el mínimo movimiento y en esa fase reconstruir todo el volumen de información para reducir al mínimo los artefactos de movimiento. Esto resulta muy importante en la detección de pequeñas lesiones en las coronarias, por ejemplo, estenosis. Por otro lado se pueden reconstruir en intervalos regulares por ejemplo de cada 10% , todo el ciclo cardiaco, para así obtener una película del corazón en la que se visualice el movimiento de la pared y se puedan cuantificar las funciones ventriculares. La sincronización retrospectiva dispone de toda la historia del ritmo cardiaco del paciente durante el barrido helicoidal, esto es importante en los casos donde existen arritmias, ya que permite eliminar estos datos incongruentes y así no se afecta la imagen final. Sin embargo un inconveniente serio de este tipo de sincronización es la mayor dosis de radiación que se le entrega al paciente, puesto que los rayos X se emiten durante todo el barrido. Para imágenes con un mismo ruido y resolución espacial, la dosis radioactiva impartida por la sincronización retrospectiva puede cuadruplicar a la de la sincronización prospectiva.

TABLA 8-1 Comparación entre la sincronización prospectiva y retrospectiva		
	Sincronización prospectiva	Sincronización retrospectiva
Radiación	Baja	Alta
Resolución temporal*	333 ms	250 ms
Reconstrucción multisectorial	No	Sí
Reconstrucción multifásica	No	Sí
Error en el registro de la sección	Mayor	Menor

* Partiendo de un ángulo de dispersión de 60°, una rotación de la carcasa de 0,5 s y una reconstrucción monosectorial para la sincronización retrospectiva.

Figura 11. Tabla comparativa de Técnicas.

Dosis

La tomografía computada, como otras modalidades de imagen basadas en los rayos X, expone a los pacientes a una radiación ionizante nociva. Tal como se entiende hoy la seguridad frente a la radiación, no hay ningún umbral por debajo del cual la exposición a los rayos X resulte inofensiva. La dosis de radiación sobretodo inquieta en la población pediátrica, cuya acumulación de dosis durante la vida puede ser considerable. Por esta razón, la exploración cardiaca mediante TC debe tener una indicación clara, en la que el beneficio diagnóstico supere los riesgos y se extraiga la máxima cantidad de información diagnóstica posible.

Pruebas realizadas a un maniquí antropomorfo para medir la dosis radioactiva que recibía en un examen tipo de CardioTC, angiografías convencional y TC de haz electrónico, han entregado los siguientes resultados; el índice de calcio medido con TC multidetector y sincronización prospectiva arroja una dosis de 1,5 mSv para varones y 1,8 mSv para mujeres. En cambio, el cálculo del índice de calcio con haz electrónico entregó una dosis efectiva de 1,0 mSv para los varones y de 1,3 mSv para las mujeres. Así pues, la dosis radioactivas para el índice de calcio en TC multidetector y de haz electrónico son parecidas. Por otro lado para un equipo de 16 canales con detectores de 1mm, la AngioTC de arterias coronarias con contraste y sincronización retrospectiva, entrega dosis tan altas como 12,9 mSv para los varones y 13,5mSv para las mujeres, por lo tanto y como ya hemos dicho antes, el examen debe estar muy justificado para su realización. Las dosis orgánicas mayores alcanzarían a las glándulas mamarias (44 mSv) y los pulmones (37,6 mSv) estos valores varían mucho dependiendo el voltaje del tubo, la corriente del tubo y el valor del pitch.

Para evaluar en perspectiva estas cifras, cabe señalar que la angiografía coronaria convencional produce entre 3 y 10 mSv de radiación, dependiendo del volumen corporal del paciente y según se realice, o no, una ventriculografía. De esto se desprende que la dosis de una AngioTC de arterias coronarias puede exceder la de una angiografía convencional, sin embargo es un procedimiento mucho menos invasivo. Por otro lado la AngioTC de arterias coronarias entrega una dosis 50 a 100 veces mayor que la de una radiografía de tórax con dos proyecciones, y aun mas, las nuevas generaciones de equipos de TC multidetector con espesores de corte submilimétricos requiere dosis aun mayores para mantener la misma relación señal-ruido. Para hacernos una idea, en nuestro centro se realiza el examen que solo dura de 10 a 12 seg con 120kv y 900 mAs, entregando en un paciente tipo mas o menos 40 a 45 mGy, todo esto realizado sin modulación de dosis. Es por esto que para llevar el examen a la práctica, tenemos un protocolo extenso, detallado y muy estricto en cuanto a la inclusión del paciente, que se ha ido puliendo en el tiempo, para de esta forma, aminorar los artefactos y obtener imágenes diagnósticas, ya que la dosis de radiación entregada es muy alta. El protocolo en detalle lo veremos mas adelante.

PROTOCOLO DE ADQUISICION

Las aplicaciones de la TC multidetector cardiaca se pueden agrupar en: calculo del índice de calcio coronario, la morfología cardiaca y el estudio funcional, la angiografía coronaria y la flebografía cardiaca. En todos estos protocolos y salvo obviamente para estudiar el calcio coronario, se utiliza contraste endovenoso. En nuestro centro el examen se divide en 2 partes:

- Calcio Score
- AngioTC de Arterias Coronarias

De este ultimo se obtienen los datos para analizar la morfología cardiaca, la función ventricular y el análisis de las coronarias. El uso de contraste requieren una sincronización de la adquisición del primer paso de contraste parecida a la que se utiliza en la AngioTC no coronaria. En nuestro caso se podría utilizar Bolus tracking para medir la llegada de contraste, pero se prefiere realizar una prueba de contraste con Bolus test con los mismos parámetros que la inyección final, que ira acompañada de suero fisiológico. Todo esto, para así asegurar la correcta opacificación de los vasos de interés y como hemos dicho minimizar los errores en el examen. El detalle del protocolo de nuestro centro lo veremos a mas adelante.

Reconstrucción Tridimensional

El barrido sistémico del corazón con la TC multidetector genera de 100 a 300 imágenes en cada fase cardiaca, es decir un examen que abarque 10 fases cardiacas fácilmente puede llegar a las 3000 imágenes lo que resulta laborioso y difícil para cualquier sistema de almacenamiento de datos. En ese sentido las reconstrucciones tri o tetradimensionales (4D) pueden mejorar esta circunstancia, al centrar la atención en la anatomía y exponer las anomalías funcionales de una manera mas asequible al clínico. Cuando se visualiza la anatomía estática se pueden seleccionar una o varias fases cardiacas de máxima calidad de la imagen; luego, se procede a la reconstrucción en 3D tradicional. Así por ejemplo, se puede utilizar reconstrucciones multiplanares MPR para generar proyecciones cardiacas en el eje corto o largo del corazón, que se comparan con la ecocardiografía.

Las imágenes reformateadas, paralelas y perpendiculares a un vaso coronario, son útiles para evaluar las estenosis coronarias. Por otro lado el reformateo planar curvo con el que se cuenta hoy en día, permite representar un segmento de interés de un vaso coronario en una sola imagen. Si resultan técnicamente idóneas, las imágenes planares curvas aportan información útil en la evaluación de estenosis y los aneurismas. La reconstrucción virtual proporciona un dibujo realista de los vasos cardiacos, incluida la aorta, las venas cavas, las arterias pulmonares y las venas y arterias coronarias. Estas imágenes son especialmente útiles para la planificación quirúrgica. Aun las proyecciones endoscópicas, muy populares en la colonoscopia y broncoscopia virtuales, ayudan a visualizar los cortocircuitos y las comunicaciones entre las cavidades, por ejemplo, las comunicaciones interauriculares.

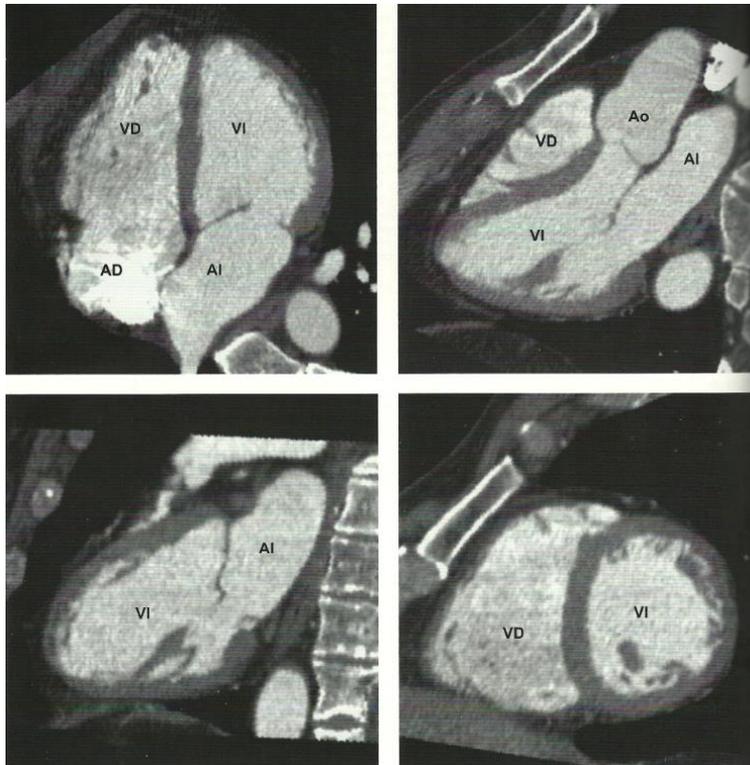


Figura 12. Imágenes de TC multidetector cardíaca reformateadas en las proyecciones normalizadas de los ejes cardíacos. Visión horizontal del eje largo, proyección de tres cámaras, visión vertical con un eje largo y visión de eje corto.

Las imágenes cardíacas son singulares por que contienen la información temporal que se puede incorporar a la reconstrucción de la imagen. Todas las técnicas antes descritas se pueden ampliar al dominio temporal y con software especiales y reconstrucciones de un ciclo cardíaco por porcentajes creciente de 10 a 90%, se puede evaluar por ejemplo la motilidad del corazón, calcular la fracción de eyección, evaluar masas ventriculares etc. Esto lo veremos en detalle mas adelante.

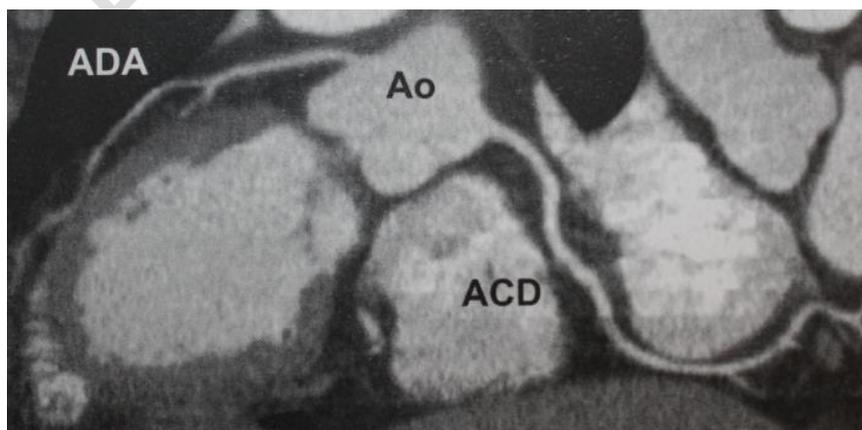


Figura 13. Reformateo planar curvo que permite visualizar las arterias coronarias en una misma imagen, aorta, arteria coronaria derecha ACD y arteria descendente anterior ADA.

PROTOCOLO HCUCH

Ahora que tenemos una visión general de la realización del examen, sus requerimientos y la técnica de adquisición, veremos en detalle el protocolo que se emplea en el Hospital clínico de la Universidad de Chile para su realización. El examen consta de 2 partes; la realización de un barrido sin contraste, secuencial y con sincronización prospectiva; el Calcio Score, y la AngioTC de arterias coronarias propiamente tal, examen con contraste, de adquisición helicoidal y con reconstrucción retrospectiva. Las siguientes son las indicaciones por las que se realiza el examen en nuestro centro.

- Dolor torácico inespecífico.
- Test de esfuerzo alterado.
- Búsqueda de placa de ateroma o lesiones coronarias.
- Medición de índice de calcio coronario
- Paciente menor de 50 años, asintomático, con antecedente de enfermedad coronaria en la familia.
- Evaluación de Stent, By-pass.
- Evaluación preoperatoria en caso de cirugía de válvulas.

Como se ve las indicaciones son diversas y puede ser que un paciente acuda a realizarse el examen por mas de una de ellas. Los requisitos que tenemos para realizar el examen son estrictos ya que como hemos visto antes, es alta la dosis que recibe el paciente, por lo tanto de realizarse el examen este debe ser diagnostico. Estos requisitos son: todas las consideraciones derivadas del uso de contraste, es decir; ayuno, reacciones adversas previas, índice de función renal, todos bien documentados a lo largo de este diploma. El paciente también debe suspender estimulantes, idealmente 48 horas antes del examen, como; Coca-Cola, café, cigarrillo, alcohol y medicamentos para el resfrio. Por otro lado si el paciente tiene una frecuencia mayor a 65 latidos en reposo relativo y siempre que no este contraindicado se le puede dar una premedicacion con un Beta bloqueador, que permitirá bajar la frecuencia cardiaca y así poder efectuar el examen. se excluyen de manera relativa los pacientes con arritmias importante, es relativo por que en ultimo termino queda a criterio del radiólogo la realización o no del examen.

Realización del examen

Una vez el paciente a llegado al servicio de imagenologia, lo primero que se realiza es medir la frecuencia cardiaca y con estos datos acudir al medico radiólogo de tórax para que el de el pase a la realización del examen. Si la frecuencia es mas alta que 65lmp se puede indicar Atenolol endovenoso, 50mg de forma endovenosa con inyección lenta y monitorización de la frecuencia cardiaca y de la presión arterial. Son contraindicaciones; el uso de propanolol, el asma y la presión baja, por lo tanto en estos pacientes generalmente se cambia la hora del examen y de ser posible se premedican con un betabloqueador para la próxima vez. Luego de la inyección del Atenolol se espera como mínimo una hora para monitorizar nuevamente la frecuencia cardiaca y se decide o no la realización del examen por el medico radiólogo.

Una vez obtenido el pase medico para la realización del examen, el paciente se queda en la sala de preparación, se le trata de entregar un ambiente tranquilo, con interacción con el mínimo posible de integrantes del equipo medico. Se procede a colocar la vía venosa para la inyección del medio de contraste, que debe ser en todos los casos de calibre 18G por los flujos de inyección altos que se utilizaran. Se colocan los electrodos y de ser necesario se debe rasurar la zona u ocupar gel para obtener una señal continua y precisa. También se le dan las

instrucciones de respiración y apnea y se le explica la reproducibilidad que debe tener esta en el tiempo. Para esto se le explica que no debe ser una inspiración tan profunda, pero si igual todas la veces, además se realiza en una segunda apnea la adquisición, para asegurarse. Este punto es importante por que si la planificación se hace con cierto grado de apnea, si el paciente respira diferente la zona planificada sube o baja, y se pueden perder estructuras importantes a visualizar. El paciente debe dejar todas sus pertenencias en el vestidor, incluidos siempre; cinturón, teléfonos celulares, pdas y beeper. El ultimo pulso objetivo se debe tomar en el equipo de TC antes de efectuar la adquisición.

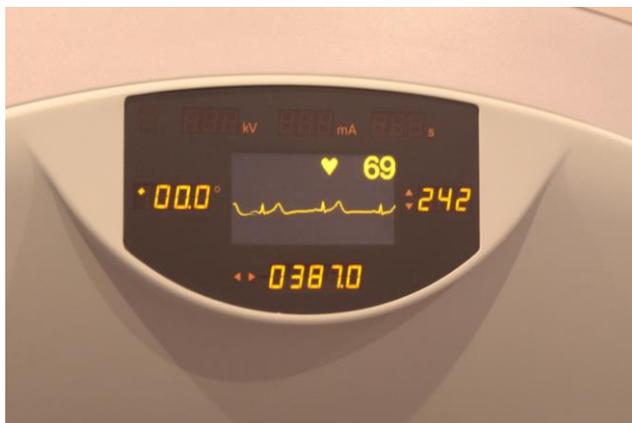


Figura 14. Pantalla de datos del Gantry, se observa el registro ECG.

El paciente se ubica decúbito supino con la cabeza hacia el gantry, siempre se debe cuidar la máxima comodidad del paciente, esto incluye un punto importante; debido a la temperatura de la sala de TC, siempre se debe colocar una manta para mantener la calidez y evitar artefacto de movimiento por el frio. Se debe instalar la monitorización que trae el equipo para medir la frecuencia y comprobar la misma antes de iniciar el examen. Antes de comenzar y como ultimo punto de la preparación previa se debe dar TNT sublingual (contraindicado si tomo viagra la ultima semana) para poder dilatar las arterias coronarias al momento de realizar la AngioTC.



Figura 15. Posicionamiento.

Se realiza el topograma y se define el rango que va a tener la exploración secuencial para medir el calcio. Esta adquisición va desde la Carina hasta el termino de la silueta cardiaca. Se

realiza con instrucciones grabadas API y en una segunda apnea. Se deben revisar las imágenes y poner especial atención en la aparición de placas de calcio.

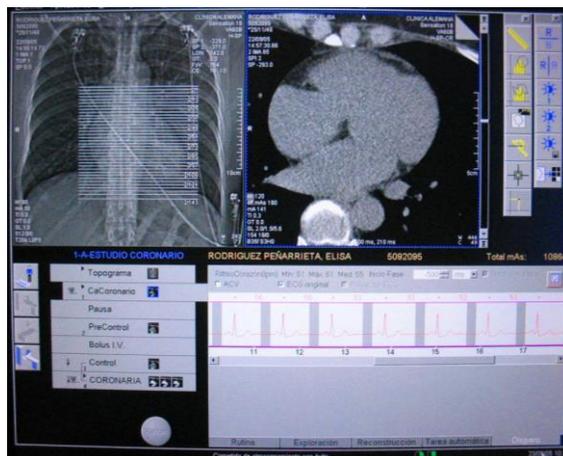


Figura 16. Imagen de pantalla del comando

Para realizar la segunda fase del examen con contraste. Primero se realiza una prueba con suero al flujo que se realizara el examen controlada por el técnico de escáner. Para elegir el rango a estudiar, punto muy importante en la entrega de dosis al paciente, se deben revisar desde craneal a caudal las imágenes obtenidas en la adquisición sin contraste, y buscar el corte donde se visualiza la primera y la ultima aparición de las arterias coronarias, de este corte se da un rango de seguridad para la adquisición con contraste de 5 cortes a craneal, esto también se realiza en la base cardiaca y se dan 5 cortes de seguridad hacia caudal. Por ejemplo si en un corte craneal se visualiza la emergencia de la arteria coronaria el limite superior de nuestra exploración angiografica se encontrara 5 cortes mas arriba.

Para evitar el artefacto que se produce por la acumulación del contraste en la cámara derecha, se utiliza una inyectora doble cabezal, para de esta manera realizar una inyección dual de contraste e inmediatamente después suero. Con esto se asegura que el bolo de contraste no pierda fuerza y tenga un peak importante, y además que la cámara derecha quede lavada de contraste, parámetro que nosotros ocupamos para definir el éxito o no del examen. El flujo de contraste a inyectar, se define por el peso del paciente y varia en los siguientes rangos:

- De 70 a 80kg un flujo de 5,5ml/seg
- De 80 a 90kg un flujo de 6,0ml/seg
- De 90 a 100kg un flujo de 6,5 ml/seg
- De mas de 100kg un flujo de 7,0 ml/seg

De esto se desprende la importancia de una buena vía venosa para realizar la inyección del contraste endovenoso. Una vez definido el flujo del contraste, se debe calcular la cantidad del mismo que inyectaremos, esto lo realizamos con la siguiente formula:

- $(\text{Duración de la adquisición} \times \text{el flujo}) + 15\text{ml}$

Por ejemplo; una vez definido nuestro rango a explorar, con la regla de los 5 cortes seguridad. El equipo nos entrega automáticamente la duración de la exploración, que por ejemplo puede ser de 12 segundos, si a esto le agregamos que el paciente tiene un peso de 93

kilos, le corresponde un flujo de 6,5ml/seg. lo que nos da un volumen de contraste de 78ml y mas los 15 ml de seguridad, no entrega un total de 93 ml para inyectar en el examen.

Para comenzar con la fase angiografía debemos verificar que la TNT sublingual se haya disuelto del todo para que sea efectiva. La manera que nosotros tenemos de asegurar el peak de contraste en la cámara izquierda es realizando un prueba de contraste, que en Siemens se nombra Test Bolus. Lo primero es revisar los cortes sin contraste y buscar el corte mas caudal donde aparezca la aorta ascendente, en este mismo lugar se realizara la prueba de contraste. Nosotros por experiencia lanzamos la adquisición y el contraste de prueba juntos, pero a la adquisición se le da un delay de 8 seg. ya que es muy poco probable que el contraste llegue a la aorta ascendente antes de 8 seg. esta inyección se realiza con 20ml de contraste y 40 ml de suero, al flujo ya calculado correspondiente al peso del paciente.

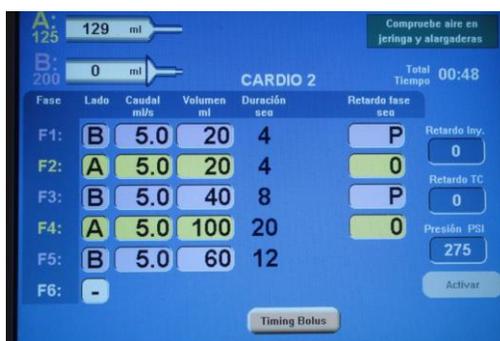


Figura 17. Imagen de la pantalla de la inyectora doble cabezal utilizada en HCUCH, se muestra el protocolo de inyección para la AngioTC cardiaca. Cabezal B contiene suero y A contraste.

El equipo comienza a adquirir las imágenes y se puede apreciar la llegada del contraste y como se opacifica la aorta y luego se lava. Una vez que se lava la aorta se corta el Test Bolus y los datos se analizan en el software DynEva que permite realizar un ROI en la Aorta ascendente y este nos entrega el tiempo de peak que este tiene. En este paso se debe recordar agregar los 8 segundos de delay que tiene esta adquisición, en donde al paciente se le esta inyectando contraste pero no hay imágenes de la aorta ascendente. Por ejemplo si el tiempo de peak entregado por el programa son 12 segundos, al sumar los 8 segundos de delay de la adquisición nos da 20 segundos. Son estos últimos a los que por norma agregamos 2 segundos de seguridad y obtenemos el tiempo de delay total para la adquisición final de 22 segundos.

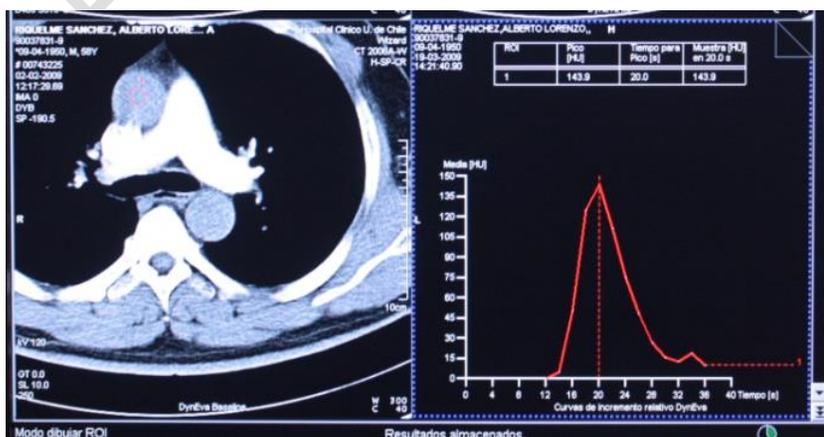


Figura 18. Imagen de programa DynEva, donde se muestra el ROI en la aorta ascendente.

Luego de esto y por ultimo se coloca este tiempo final en el escáner y se lanzan la adquisición y la inyección de contraste dual juntos. 13 segundos antes de que comience la adquisición ya programada se comienzan a dar las instrucciones de respiración que están grabadas (para minimizar el riesgo de error), y que se hacen en una segunda apnea.

Finalmente se obtienen las imágenes y el primer criterio que utilizamos para saber si el examen fue exitoso a priori, es revisar en un corte medio de las cámaras, si existe el lavado de la cámara derecha y si la opacificación es importante en la cámara izquierda, además de una arteria coronaria derecha bien opacificada.



Figura 19. Imagen que muestra la opacificación correcta de la arteria coronaria derecha.

Luego de terminar la adquisición de los datos y antes de reconstruir, se revisa la condición general del paciente; reacciones al contraste, mareos, vómitos etc. Se retiran los electrodos y la vía venosa, se recopilan datos para el informe final y si se inyectó propanolol se debe esperar 10 minutos antes de que el paciente se marche.

Reconstrucción

Si bien la realización del examen terminó, luego viene una etapa igual de importante, que es reconstruir los datos obtenidos en el porcentaje del ciclo cardiaco adecuado. Para esto se elige la misma imagen media de las cámaras donde aparece la arteria coronaria derecha y se realiza una presentación de serie. Según la teoría existen porcentajes tipo para las distintas arterias.

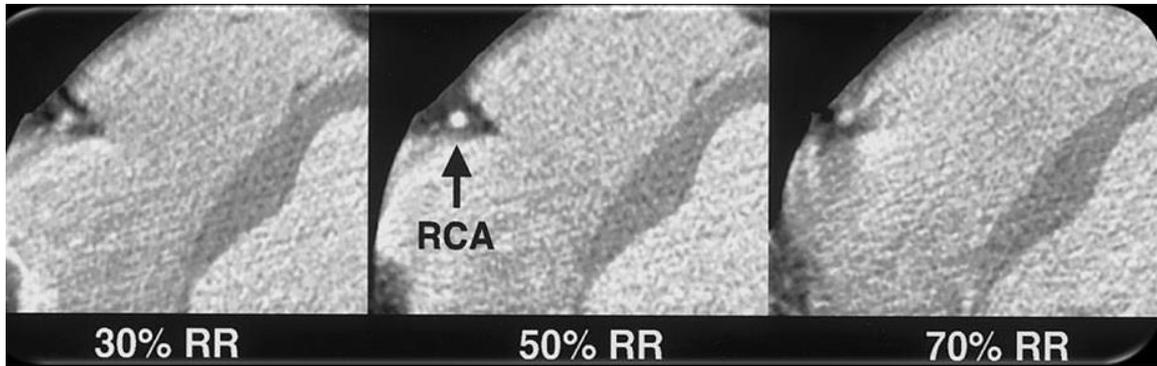


Figura 20. Visualización de los diferentes porcentajes de reconstrucción .

Según nuestra experiencia con el equipo que contamos y la forma final que tenemos de realizar el examen, que ha sido un continuo ensayo y error el valor medio que elegimos para esta presentación de serie es de 60%. Al elegir este valor en el equipo y realizar la presentación de serie en la imagen de la arteria coronaria derecha, el equipo nos entrega la misma imagen reconstruida pero a diferentes porcentajes del ciclo cardiaco, que van desde 50% a 70%, con intervalos de 2%. Esto nos permite elegir el porcentaje donde existe el menor movimiento y la mayor nitidez de la arteria coronaria derecha y reconstruir todo el volumen de información en ese porcentaje. También se realiza una reconstrucción de volumen que va de 10% a 90% con intervalos de 10% para la función ventricular.



Figura 21. Por ultimo se revisa el ciclo cardiaco de toda la adquisición y de existir arritmias o cambio bruscos en la frecuencia, gracias a la adquisición retrospectiva se nos permite no tomar este punto para la reconstrucción final y así el movimiento en la imagen producto de este salto se elimina.

Calculo de Calcio

Todas las imágenes obtenidas en la fase sin contraste se envían al programa calcio scoring para su análisis y así poder obtener el índice de calcio.



Figura 22. Una vez enviadas las imágenes y de manera automática, el programa nos muestra todas las calcificaciones existentes en los cortes. Nos permite movernos en rangos axiales de grosor modificable y verificar que todas las calcificaciones este marcadas y de no ser así, poder marcarlas manualmente.

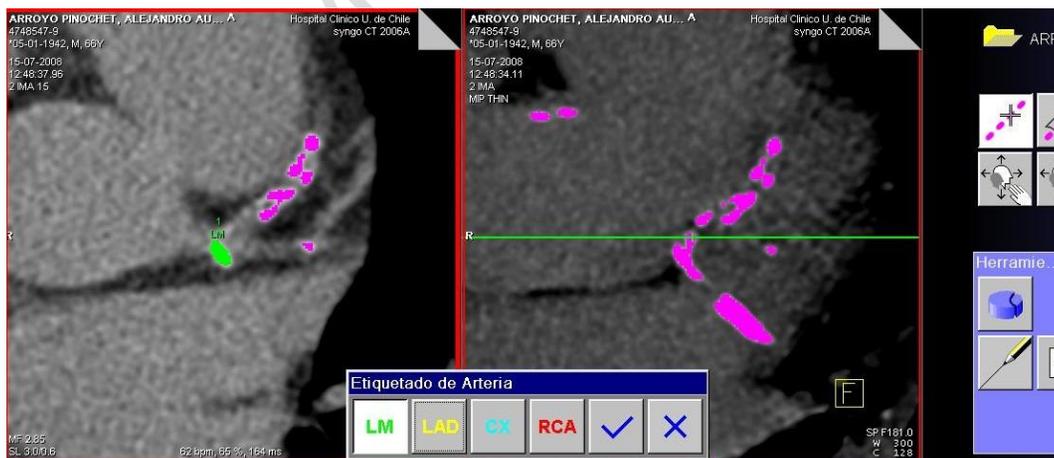


Figura 23. Luego de verificar que todas las lesiones estén marcadas, debemos identificar la lesión con el nombre respectivo de la arteria comprometida; LM, tronco izquierdo; LAD, descendente anterior; CX, circunfleja; RCA, coronaria derecha.

4748547-9
*05-01-1942, M, 66Y
00645277

Sensation 64
CT 2006A

Umbral = 130 HU
(102.3 mg/cm² CaHA)

Arteria	Número de lesiones (1)	Volumen [mm ³] (3)	Masa equiv. [mg CaHA] (4)	Cuantificación del calcio (2)
LM	1	24.5	5.70	31.9
LAD	1	17.3	3.85	17.9
CX	0	0.0	0.00	0.0
RCA	0	0.0	0.00	0.0
Total	2	41.8	9.56	49.9

(1) Lesión basada en volumen
(2) Agatston Score
(3) Volumen interpolado isotrópico
(4) Factor de calibración: 0.767

Figura 24. Finalmente y una vez definidas todas las lesiones cálcicas, el programa nos entrega un cuadro con el índice de calcio coronario del paciente.

PATOLOGIAS

CARDIOPATIA ISQUEMICA

La enfermedad coronaria es la primera causa de muerte en los países desarrollados. En estados unidos da cuenta del 30% de la mortalidad. En los últimos 30 años se han efectuado enormes avances en el conocimiento de las bases moleculares y genéticas de esta enfermedad. Las técnicas diagnósticas de imagen y las intervenciones terapéuticas también han avanzado de manera espectacular. En conjunto, estos avances ayudaran a los clínicos a ofrecer una asistencia optima a sus pacientes. Se conocen muchas técnicas para el estudio por imagen de la enfermedad coronaria, algunas, como la angiografía coronaria, se centran en la detección de las lesiones anatómicas responsables de la enfermedad coronaria y otras, como el estudio de perfusión miocárdica durante el esfuerzo, se basan en el reconocimiento de la isquemia cardiaca. En ese sentido la TC multidetector contribuye a la evaluación de la enfermedad coronaria en tres campos:

- Calculo del índice de calcio coronario.
- Angiografía coronaria por TC.
- Cateterismo de la placa coronaria.

Calculo del índice de calcio coronario

El calcio coronario es el producto de la aterosclerosis generalizada, responsable de la enfermedad coronaria. Pese a que no haya ningún consenso, la teoría prevalente sobre la patogenia de la aterosclerosis es la hipótesis de “respuesta a la lesión”. Según esta hipótesis, la lesión inicial del endotelio de las arterias coronarias induce una respuesta inflamatoria. Todavía no se ha definido bien la naturaleza de esta lesión; puede ser mecánica, bioquímica, inmunitaria o infecciosa. La primera lesión aterosclerótica detectable son las estrías grasas de la pared anterior, que se componen de monocitos cargados de lípidos situados bajo la intima. Estas lesiones son asintomáticas y aparecen ya a partir de la adolescencia y tercera década de vida, las estrías grasas pueden progresar hasta placas fibroadiposas compuestas de un núcleo grande de

colesterol, cubierto de un casquete fibroso delgado. Estas lesiones pueden calcificarse; la hemorragia y la coagulación repetida no originan las placas complejas. Esta evolución de las placas ateroscleróticas suele asociarse con un estrechamiento de la luz de las arterias coronarias que puede determinar una isquemia e infarto al miocardio.

Las investigaciones recientes sugieren una hipótesis de la placa “vulnerable”, que establece una distinción entre las placas inestables y estables. Según esta hipótesis, las placas inestables se corresponde con las placas fibroadiposas incipientes. Sus casquetes fibrosos comportan, al parecer, un mayor riesgo de rotura que los casquetes de las placas fibrosas avanzadas. Al exponerse a los receptores de coagulación situados bajo el endotelio, la rotura preludia una trombosis y obstrucción catastróficas de la arteria coronaria. Esta hipótesis podría explicar, en parte, por que un numero considerable de pacientes con infarto agudo al miocardio, no refiere antecedentes ni síntomas de enfermedad coronaria. Recuérdese que los depósitos de calcio guardan una relación mas estrecha con las placas coronarias tardías, mas estables, que con las placas incipientes e inestables.

Si las hipótesis de la “respuesta a la lesión” y la “placa vulnerable” fueran ciertas, cabria concluir que, así como el calcio coronario indica la presencia de aterosclerosis, no revela la localización de la estenosis con repercusión hemodinámica, el riesgo de obstrucción catastrófica local ni el momento de la oclusión. En general, la cantidad de calcio coronario se relaciona con la intensidad total de la aterosclerosis, incluidas las placas calcificadas y no calcificadas. En definitiva el calcio coronario es un marcador de la placa no calcificada o blanda, invisible y potencialmente mas peligrosa. La cuantificación del calcio coronario permitiría asignar el riesgo total a un paciente y evaluar la probabilidad de una aterosclerosis coronaria significativa.

Visualización del Calcio Coronario

La caracterización objetiva del calcio coronario se hizo posible tras la introducción de la TC de haz electrónico pero es con el desarrollo de la TC multidetector que se abrió una alternativa mas al alcance para toda la población. Las imágenes de calcio en la TC multidetector se pueden adquirir con una sincronización prospectiva o retrospectiva. La sincronización prospectiva brinda la ventaja de suministrar una dosis radioactiva mas baja, consideración importante a la hora de controlar a la población asintomática. Con un protocolo habitual se adquieren imágenes con un grosor de corte de 2,5mm y una resolución temporal de 300ms durante la diástole. Con los equipos actuales de TC multidetector, la adquisición se realiza en una sola apnea respiratoria, siempre en inspiración. La mayor reproducibilidad en el calculo del índice coronario tiene importancia para comparar los estudios seriados de un paciente en el tiempo.

Métodos de Puntuación

La normalización del método para calcular el índice de calcio proporciona una robustez que permite la comparación relevante entre los estudios longitudinales o transversales. Los índices de cuantificación mas comunes son el volumen de calcio, la masa de calcio, el índice de Agaston. El índice mas sencillo es el volumen de calcio. Para medir el volumen de calcio, los software que acompañan el análisis de calcio, que dependen del tipo de equipo, permiten al tecnólogo o al medico marcar el contorno y seleccionar las regiones esperadas de las arterias coronarias en las imágenes de TC. Se aplica un umbral para discriminar el calcio coronario. El volumen total se calcula sumando el numero de pixeles y multiplicándolos por el producto de la

superficie de píxeles y el espesor de corte. El cálculo de la masa de calcio es parecido, si bien cada píxel se pondera primero según la densidad de calcio del mismo.

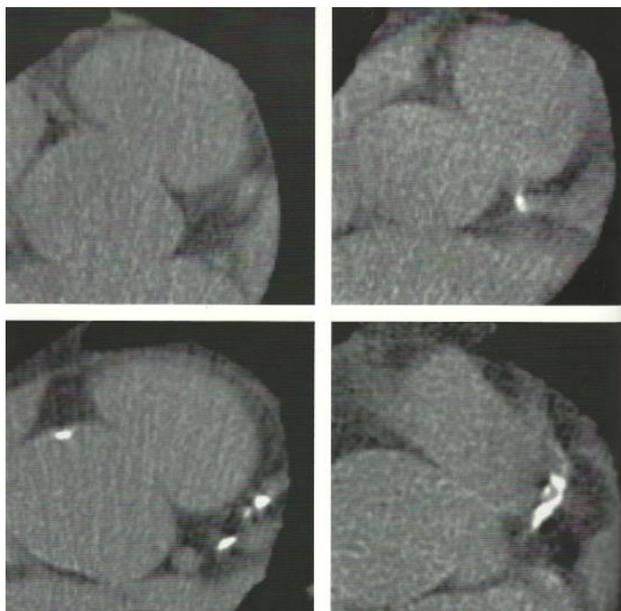


Figura 25. Imágenes de calcio coronario obtenidas con un TC multidetector con sincronización prospectiva. Se ilustran cuatro ejemplos de la arteria ascendente anterior izquierda con una carga cada vez mayor de calcio. Índices de Agaston de 0, 41, 380, 843.

En 1990, Agaston y cols. Publicaron un esquema para calcular el índice de calcio coronario que acabó conociéndose como índice de Agaston. El esquema de Agaston se basa en un protocolo normalizado de la TC de haz electrónico. Para que se considere un depósito cálcico, la lesión visualizada debe tener una densidad superior a 130 UH y una superficie mayor a 1mm cuadrado. Este último requisito suele significar la presencia de 3 o más píxeles contiguos. Estos criterios permiten filtrar el ruido de la imagen de la TC de haz electrónico que se incluiría de otra manera en forma de calcio. En cada imagen se registra el área de la lesión calcificada, junto con el número de TC máximo, medido en unidades Hounsfield, dentro de esa lesión. El área de la lesión se multiplica por el índice correspondiente por lesión. Luego se suman todas las lesiones de todos los cortes para obtener el índice final de Agaston. La interpretación del índice final resulta compleja. Si la calcificación total es intensa, porque la mayoría de los píxeles muestran valores superiores a 400UH, el índice de Agaston se correlaciona con el volumen de calcio. A la inversa, si la calcificación es mínima, en cuyo caso la mayoría de los píxeles tiene valores inferiores a 400UH, el índice de Agaston se correlaciona con la masa de calcio.

Epidemiología del Calcio Coronario

Los datos de la autopsia, ecografía intravascular y otros estudios de imagen de las arterias coronarias sugieren que la placa de ateroma, con calcio o sin él, está presente en la mitad de las personas de 20 a 29 años y hasta en el 80% de aquellas de 30 a 39 años. La calcificación aterosclerótica ocurre en la mitad de las personas de 40 a 49 años y en el 80% de aquellas de 60 a 69. Así pues, el calcio coronario aparece más tarde que las placas de ateroma y tanto el calcio coronario como la placa aumentan de prevalencia con la edad. Como las estenosis

con repercusión clínica solo afectan al 30% de las personas de 60 a 69 años, la mayoría de aquellas con calcio coronario no experimenta una estenosis clínicamente relevante ni tampoco una enfermedad coronaria asintomática.

Los dos factores de riesgo más importantes para el calcio coronario son la edad y el sexo. Para cada grupo de edad los índices de calcio masculino son muy superiores a los femeninos. Otros factores de riesgo propuestos para el calcio coronario comprenden el aumento del colesterol plasmático, el consumo de cigarrillos, la hipertensión arterial, la diabetes, la obesidad y un la elevación de los triglicéridos; todos ellos representan factores de riesgo para la enfermedad coronaria.

Estudios han relevado una correlación entre el índice de calcio y los síntomas y hallazgos coronarios relacionados con la enfermedad coronaria. Así pues, si bien la mayoría de las personas asintomáticas no sufre síntomas coronarios, aquellos con un índice de calcio coronario moderado a alto, corren un riesgo considerablemente mayor. Por otro lado una fracción considerable de pacientes sintomáticos, con índices moderados de calcio presenta una estenosis coronaria significativa. Dentro de esta misma población, un índice de calcio de 0 entregó un valor predictivo negativo de 97%. De esto se desprende que los pacientes sintomáticos sin calcio coronario detectable probablemente no sufran una enfermedad coronaria que motive sus síntomas.

Indicaciones Clínicas

Evaluación del dolor torácico atípico. Los pacientes que acuden con un dolor torácico atípico, como aquellos sin antecedentes de enfermedad coronaria y con resultados indeterminados en las pruebas de laboratorio, incluidos el ECG, pueden beneficiarse del estudio del calcio coronario. Este grupo de pacientes abarca un porcentaje importante de la población ambulatoria, incluso de la que acude a los servicios de urgencia. En los estudios de TC multidetector sobre esta población, la ausencia de calcio coronario descarta la enfermedad coronaria como causa del dolor torácico con un valor predictivo superior al 95%. Los casos raros de resultados negativos falsos podrían obedecer a la rotura de placas no calcificadas en las fases incipientes de la enfermedad de los pacientes jóvenes o de las mujeres.

Evaluación de la respuesta terapéutica. Como el índice de calcio se correlaciona con la aterosclerosis, se pueden utilizar los índices de calcio para vigilar la eficiencia de un determinado tratamiento, como la farmacoterapia hipolipemiente. Es más, las variaciones de los índices seriados del calcio pueden guiar la intensidad del tratamiento. Estudios indican que la intensidad del tratamiento estatinico influye en la progresión del calcio coronario, a mayor intensidad se produce una regresión que puede ser comprobada mediante la medición del índice de calcio.

Angiografía Coronaria

Durante medio siglo la Angiografía coronaria convencional ha constituido la prueba de referencia para detectar las lesiones estenosantes de las arterias coronarias y estadificar esta enfermedad. Por este motivo ha sido muy alentadora en la práctica la aparición de la TC multidetector en el diagnóstico y control de la enfermedad coronaria, ya que es un procedimiento menos invasivo, con menor riesgo y con resultados óptimos para un diagnóstico certero.

Consideraciones para la Visualización

En los protocolos habituales de AngioTC de arterias coronarias, se barren las imágenes con el espesor mas fino de corte, desde la raíz de la aorta hasta la cara inferior del corazón durante el primer paso del bolo de contraste. Se prefiere la sincronización retrospectiva porque permite ajustar retrospectivamente la fase cardiaca de reconstrucción de las imágenes con el objeto de minimizar los artefactos del movimiento. Se ha demostrado, en diversos estudios que la fase cardiaca optima para la arteria coronaria derecha habitualmente corresponde al 40% a 50% del intervalo RR, sucede antes que la descendente anterior izquierda y la circunfleja izquierda con un 60% a 70% del intervalo RR. En las practica clínica se reconstruyen varias fases cardiacas en pequeños intervalos durante la diástole y se inspecciona la calidad de imagen, en nuestro centro esto se realiza obteniendo imágenes de la coronaria derecha en diferentes porcentajes del ciclo RR y así se elige el % que entrega menor movimiento y mejor calidad como vimos en el protocolo ya descrito.

Para evaluar con exactitud las estenosis hay que delimitar claramente la luz del vaso coronario de su pared. La calidad de esta marca depende del tamaño de la luz, del grado de opacificación del contraste, de los artefactos de movimiento y de los artefactos de los materiales radiopacos. Con los actuales equipos se pueden visualizar luces vasculares tan pequeñas como 1,5mm. La densidad de la opacificación del contraste depende de varios factores como; la densidad de yodo del material de contraste, la velocidad de inyección y factores fisiológicos como el gasto cardiaco. El grado de artefacto de movimiento esta modificado por la frecuencia cardiaca y la magnitud del movimiento parietal. Los materiales densos que crean artefactos comprenden el calcio coronario, las endoprotesis metálicas, los clips quirúrgicos, los electrodos de los marcapasos y el material de contraste denso que se mezcla dentro de la aurícula derecha, este ultimo puede enmascarar la arteria coronaria derecha y es por esto que en nuestro centro se utiliza inyección dual con suero para lavar esa cámara.

En varios estudios se ha comprobado la existencia de una relación inversa entre la calidad de imagen de las arterias coronarias y la frecuencia cardiaca. En un estudio realizado a 100 pacientes. La sensibilidad para la estenosis descendió desde el 62% para aquellos con una frecuencia cardiaca inferior a 70lpm hasta un 33% para aquellos con una frecuencia mayor a 70 latidos por minuto. Estos resultados animaron el uso de antagonistas de los receptores β_1 para lentificar la frecuencia cardiaca del paciente durante el estudio de TC multidetector.

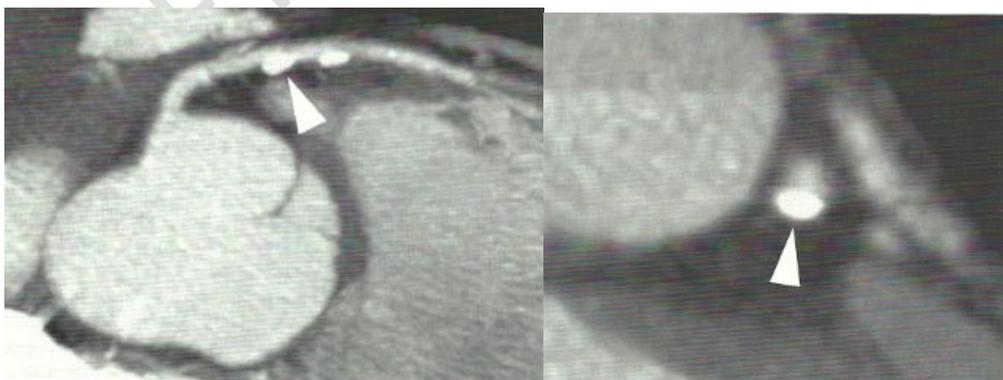


Figura 26. Visiones longitudinal y transluminal de la arteria descendente anterior. La visión longitudinal muestra las calcificaciones excéntricas que parecen estrechar la luz. Visión transluminal de la primera calcificación muestra la luz, llena de contraste, solo se encuentra levemente estenosada.

Resultados Clínicos

La enfermedad coronaria puede producir lesiones estenóticas o aneurismáticas de las arterias coronarias. Las lesiones estenóticas limitan lo suficiente el flujo sanguíneo como para ocasionar una isquemia miocárdica. En caso de obstrucción total, el resultado es un infarto al miocardio. Se han realizado una serie de ensayos clínicos para evaluar la sensibilidad y la especificidad de la angiografía coronaria por TC frente a la angiografía coronaria convencional a la hora de detectar las estenosis coronarias significativas. En un estudio comparativo entre las dos técnicas, las razones más comunes que explican la obtención de segmentos no diagnosticables bajo TC son; frecuencia cardíaca superior a 60lpm, índice de Agaston superior a 100, diámetro vascular menor de 2mm y mala opacificación del contraste.

Visualización de la placa coronaria

La TC multidetector permite visualizar directamente las paredes anormalmente engrosadas de las arterias coronarias, hecho que no es posible con la angiografía convencional. Si se conoce el grosor de la pared se puede estimar mejor el grado real estrechamiento vascular. Mas aun los diferentes elementos de la placa de ateroma como el calcio coronario, el tejido fibroso y los lípidos, poseen densidades radiológicas diferentes. Si se cuantifica la densidad radiológica de una placa, es posible caracterizar su composición. La cantidad de lípido de una placa y el espesor de la capsula fibrosa pueden pronosticar una placa vulnerable con riesgo de rotura catastrófica. De este modo la visualización y caracterización de las placas coronarias revisten una enorme significación clínica. El éxito de la caracterización de la placa coronaria depende mucho de la calidad de imagen y de la resolución espacial. La medición cuantitativa de la densidad resulta sensible al efecto parcial del volumen a los cambios en la densidad intraluminal del contraste y a la nitidez del kernel de reconstrucción de la imagen.

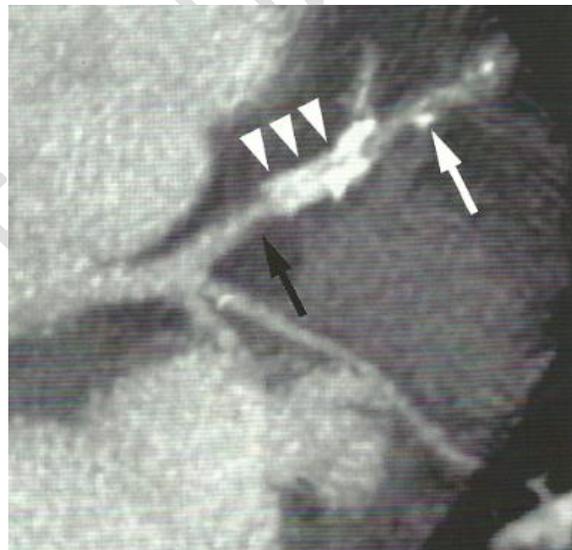


Figura 27. Placa blanda, placa calcificada y endoprótesis. En esta visión axial oblicua se observa una endoprótesis (cabezas de flecha) colocada sobre una estenosis de la arteria descendente anterior izquierda. Se aprecia una placa blanda concéntrica, de baja densidad y significativa (flecha negra) proximal a la endoprótesis. Además, se observan placas calcificadas de alta densidad (flecha blanca) a lo largo de la arteria.

VALVULOPATIAS

La visualización de las válvulas cardiacas para examinar las enfermedades con repercusión clínica requiere una gran resolución temporal para reconocer las partes que se mueven con rapidez. Además, la evaluación de los parámetros fisiológicos, como los gradientes de presión vascular y los flujos de regurgitación, reviste importancia para tratar las estenosis y las insuficiencias valvulares, respectivamente. Estos requisitos los cumple la ecocardiografía y en menor medida, la RNM y el cateterismo cardiaco. La utilidad de la TC multidetector cardiaca para el estudio de las valvulopatias es limitada, debido a su resolución temporal relativamente pobre. Pese a estas limitaciones, la TC multidetector cardiaca permite visualizar las estructuras y las pequeñas lesiones de las válvulas con una resolución espacial mayor que las demás técnicas.

La TC permite detectar pequeñas lesiones calcificadas de la válvula aortica. Las causas de calcificación de la válvula aortica comprenden las enfermedades reumáticas, la válvula bicúspide congénita y la degeneración senil. Desde hace tiempo se sabe que las calcificaciones de la válvula aortica, de tamaño suficiente para reflejarse en la radiografía de tórax, se asocian estrechamente con una estenosis valvular aortica. Sin embargo, no se ha demostrado ninguna relación clara entre una pequeña cantidad de calcio detectada mediante TC y la estenosis aortica. Los factores de riesgo para una estenosis valvular aortica comprenden; cantidad de calcio, juventud y sexo femenino. Como la ecocardiografía permite estimar el gradiente de presión a través de una válvula estenosada, probablemente seguirá siendo la principal herramienta para visualizar la estenosis aortica. Sin embargo, cuando se descubre de casualidad en el TC una calcificación importante de la válvula aortica, sobre todo de un paciente joven o de una mujer, hay que sospechar una posible estenosis aortica.

La TC multidetector cardiaca ayuda a diagnosticar las vegetaciones valvulares de la endocarditis. Aunque la ecocardiografía transesofagica constituya la modalidad actual preferida para el estudio de la endocarditis, la TC cardiaca resulta mucho menos cruenta. La TC proporciona una mejor visualización de las lesiones vasculares pulmonares que la ecocardiografía. Además detecta y caracteriza mejor los abscesos perivalvulares, una de las complicaciones de la endocarditis.

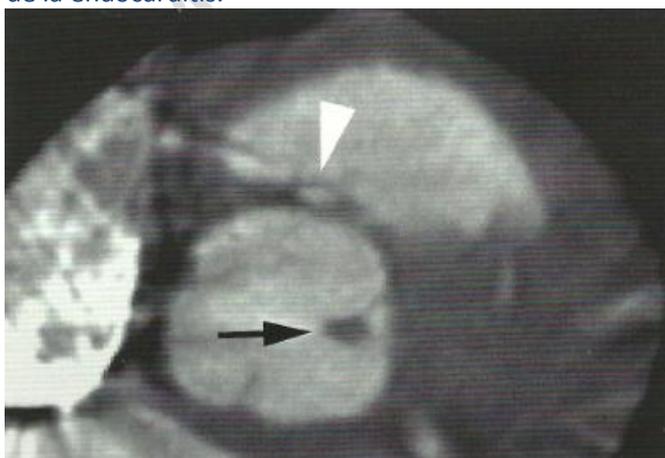


Figura 28. Vegetación valvular. En esta visión axial se observa un pequeño defecto de llenado (flecha negra) adherido a una válvula aortica. Este paciente sufre de endocarditis y el defecto de llenado correspondió a una vegetación según la cirugía

FUNCION CARDIACA

Los estudios de AngioTC cardiaca con sincronización retrospectiva se pueden reconstruir para obtener una película de la contracción ventricular. Si se reconstruyen las imágenes en el momento de la máxima contracción sistólica y al final de la diástole, es posible cuantificar los volúmenes mínimo y máximo de los ventrículos izquierdo y derecho. A partir de estos volúmenes se pueden calcular los índices generales de la función sistólica y las fracciones de eyección. Además, si se mide el volumen miocárdico del ventrículo izquierdo, se puede obtener la masa del ventrículo izquierdo. En la práctica clínica actual las funciones ventriculares se evalúan a través de una serie de vías, entre otras la ecocardiografía, la ventriculografía radioscópica y la gammagrafía nuclear. El método actual más exacto es la cinerresonancia magnética. Las imágenes de RNM poseen una buena resolución espacial y una buena delimitación endocárdica, por lo que segmentan los ventrículos con exactitud. La TC multidetector cardiaca da imágenes con una resolución espacial y un contraste comparable o mejores de endocardio, aunque con una resolución temporal significativamente menor. En estos momentos, las dos misiones de la TC multidetector son: en primer lugar, cuando se realiza una TC multidetector con sincronización retrospectiva –por ejemplo una AngioTC coronaria- se registra una información funcional que se debe explotar o interpretar. En segundo lugar, la TC multidetector constituye una alternativa útil cuando está contraindicada la RNM. Esta circunstancia ocurre principalmente si el paciente lleva un marcapasos implantado.

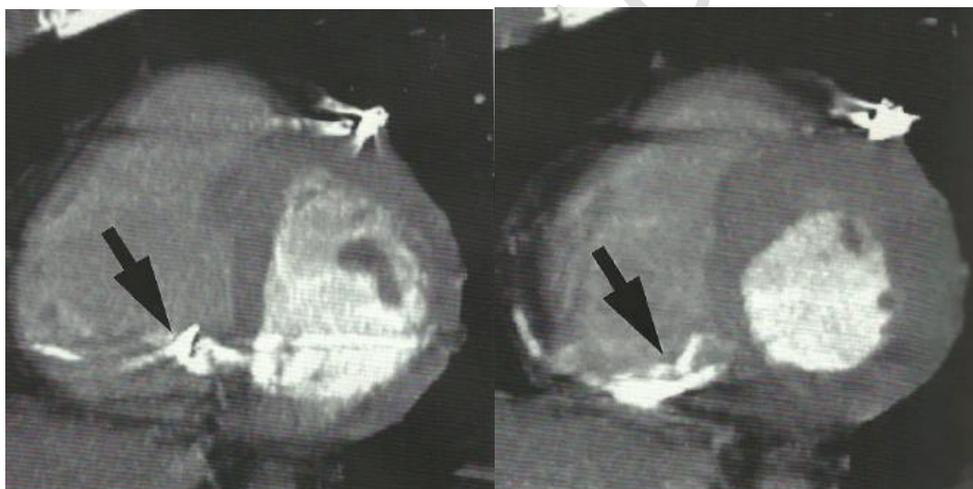


Figura 29. Estudio funcional del corazón. Las imágenes con TC multidetector axial del corazón se han reformateado en una pila de visiones del eje corto. Luego se segmentan los ventrículos y se miden los volúmenes con la contracción sistólica máxima y al final de diástole.

El realce con contraste de los ventrículos derecho e izquierdo se debe mantener durante todo el barrido para delimitar el endocardio de manera óptima. Las imágenes se reconstruyen en todo el ciclo cardiaco, habitualmente a intervalos de 10%. La contracción sistólica máxima se identifica inspeccionando el tamaño ventricular y coincide con el momento de la fase cardiaca donde los ventrículos son más pequeños, mientras que en la diástole se reconoce por la fase en la que los ventrículos alcanzan su tamaño máximo. Se seleccionan estas dos fases cardiacas y se reformatean sus imágenes axiales en proyecciones de eje corto, habitualmente con un espesor de 5 a 10mm. El endocardio y el epicardio de los ventrículos izquierdo y derecho se dibujan a

mano o se segmentan automáticamente dependiendo del software del equipo, y luego se generan los volúmenes y masas ventriculares.

Anomalías Intracardiacas

La mayoría de las anomalías intracardiacas, por ejemplo la comunicación interauricular (CIA) y la comunicación interventricular (CIV), se diagnostican y controlan adecuadamente con la ecocardiografía; si se precisan mediciones hemodinámicas se recurre al cateterismo cardiaco. no obstante estas anomalías se pueden descubrir de forma casual en una TC multidetector de rutina y deben notificarse. La TC multidetector cardiaca esta indicada en el estudio de la CIA de tipo seno venoso. Aunque solo el 10% de los casos de CIA es del tipo de seno venoso, en un 90% de los casos se asocia con una desembocadura anómala parcial de las venas pulmonares superiores derechas. Como estas venas se sitúan dentro del pulmón derecho no se ven en la ecocardiografía. La TC localiza sin problemas estos vasos para su reconexión quirúrgica con la aurícula izquierda.

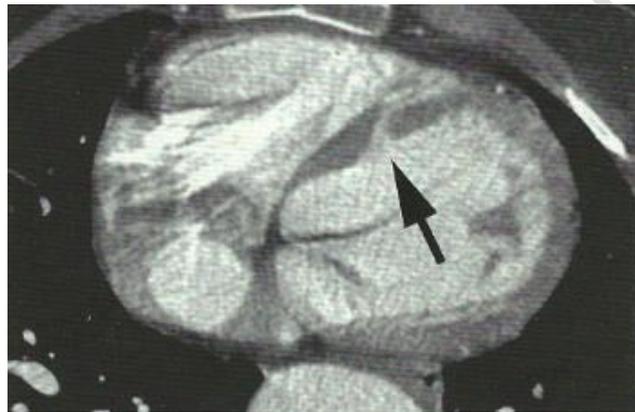


Figura 29. Pequeña comunicación interventricular muscular. Esta comunicación casual aparece en el tabique muscular de los ventrículos de este paciente con síndrome de Marfan.

La TC multidetector cardiaca, combinada con la reconstrucción tridimensional, puede mostrar con elegancia las disposiciones complejas de las cavidades en proyecciones que no siempre son accesibles con la ecocardiografía o el cateterismo cardiaco. por eso, la TC supone una herramienta útil para el análisis segmentario formal de las lesiones cardiacas congénitas, sobre todo de los casos complejos. Existen dos tipos de transposición de las grandes arterias; la dextroposición y la levoposición. La primera se asocia con una transposición no corregida y la segunda con una transposición corregida. En la primera la aorta se sitúa delante y a la derecha de la arteria pulmonar, de aquí el prefijo D o dexto. En la segunda la aorta se sitúa delante y a la izquierda de la arteria pulmonar, donde proviene el prefijo L o levo.

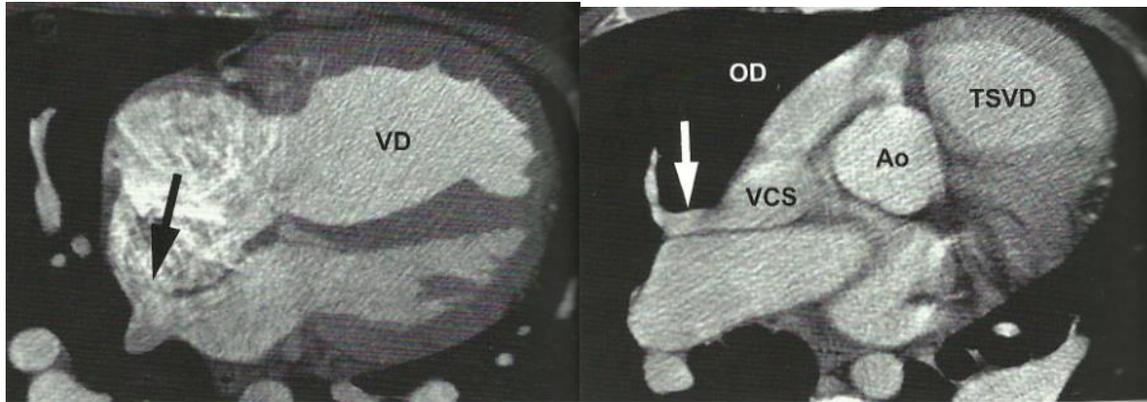


Figura 30. Comunicación interauricular de tipo venoso. En una visión horizontal con eje largo se observa la desembocadura de una vena pulmonar en las aurículas que cabalgan sobre el tabique interauricular. En la visión axial, la vena pulmonar superior derecha drena a la vena cava superior VCS, la CIA de tipo venoso se asocia mucho con una desembocadura anómala de las venas pulmonares.

Anomalías Extracardiacas

La TC multidetector cardiaca proporciona un estudio no invasivo excelente de las anomalías vasculares extra cardíacas. La AngioTC ha sustituido con el tiempo a estudios invasivos que se realizaban para diagnosticar estos trastornos. La TC multidetector sincronizada con el ECG mejora aun mas la calidad de imagen al eliminar los artefactos de pulsación arterial que se daban en la angiografía por TC convencional. Por otro lado ha resultado útil en la detección y caracterización de anomalías estructurales de la aorta, arterias pulmonares, venas cavas y venas pulmonares.

Como vimos en el capítulo anterior, la anomalía de la aorta mas común es la coartación, con un 6,8% de las malformaciones cardiacas congénitas descritas al nacer. Se asocia con válvula aortica bicúspide, aneurisma del polígono de Willis, comunicación interventricular, obstrucción subaortica y anomalías de la válvula mitral. La utilidad de la técnica de imagen radica en establecer el lugar de la coartación, el grado y la longitud de la estenosis, la existencia de arterias colaterales y otras anomalías del arco aórtico. En general la coartación es yuxtaductal, es decir, la estenosis se sitúa distal al origen de la arteria subclavia izquierda. Esta estenosis genera una diferencia de presión arterial entre los miembros superiores e inferiores. Los pacientes sufren hipertensión crónica, hipertrofia ventricular izquierda y, en ultima instancia, insuficiencia cardiaca.

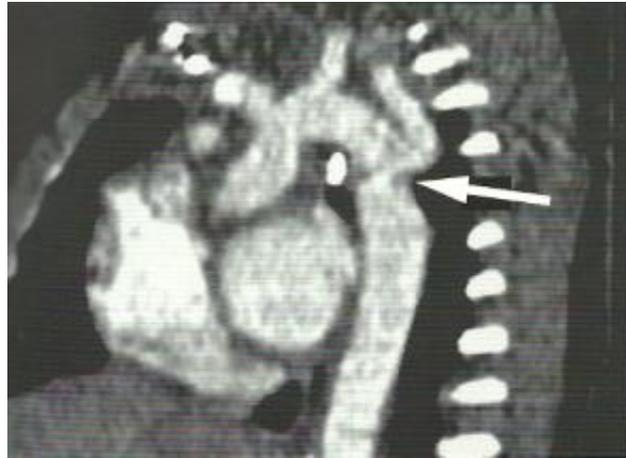


Figura 31. Coartación aortica. En esta visión sagital oblicua se ve una estenosis aortica membranosa, después del origen de la arteria subclavia izquierda. El clip de ligadura del conducto arterioso permeable identifica la posición del conducto.

Existe una serie de cortocircuitos extracardiacos congénitos que ocasionan un gasto cardiaco desequilibrado por la aorta y las arterias pulmonares. En la mayoría de los cortocircuitos, la sangre es impulsada inicialmente desde la circulación general a la pulmonar. Si el cortocircuito es grande, las arterias pulmonares experimentan una sobrecarga circulatoria que, con el paso del tiempo, acaba con una fibrosis vascular e hipertensión pulmonar. El cortocircuito extracardiaco congénito mas común es el conducto arterioso permeable.

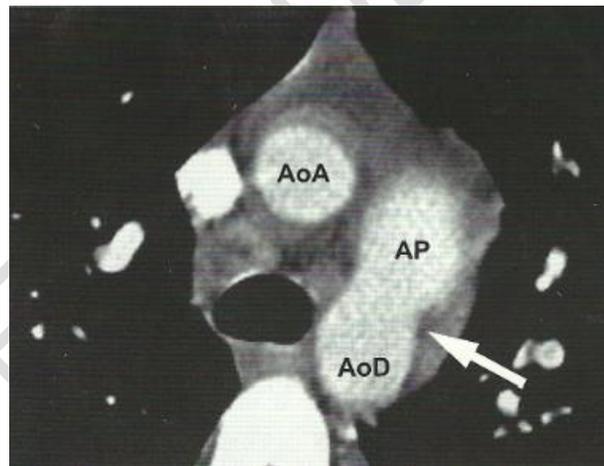


Figura 32. Conducto arterioso permeable. En esta vision axial se observa la aorta ascendente y la descendente. La aorta descendente se comunica con el tronco de la arteria pulmonar a través de un gran conducto arterioso permeable (flecha)