

Índice

Resumo	2
Abstract	4
Introdução	6
Objectivos	8
Coronariografia por Tomografia Computorizada	9
Princípios da CTC	9
Aquisição de Imagem.....	13
Aplicações Clínicas da CTC.....	15
Problemas Técnicos e Limitações	16
Evolução da CTC	18
Exames Imagiológicos e Anatomia Coronária	20
Angiografia Coronária por Cateterismo (AC).....	20
Ecocardiografia Trans-Torácica (ETT)	21
Ressonância Magnética (RM)	21
Coronariografia por Tomografia Computorizada (CTC).....	22
Anatomia Coronária Normal	23
Artérias Coronárias e Seios Aórticos	24
Artéria Coronária Direita.....	25
Artéria Coronária Esquerda.....	27
Dominância Coronária	30
Segmentos Coronários.....	32
Variantes anatómicas das artérias coronárias	34
Classificação.....	34
Incidência	35
Variante vs. Anomalia	35
Problemas na Descrição e Nomenclatura das Variantes.....	35
Variantes da Origem e Trajecto.....	37
Variantes da Anatomia Coronária Intrínseca.....	45
Variantes da Terminação Coronária	48
Conclusão	51
Agradecimentos	52
Bibliografia	53

Resumo

A avaliação das artérias coronárias assume uma elevada importância na prática clínica actual dado que as doenças cardiovasculares são a primeira causa de morte nos países desenvolvidos. A técnica de eleição para o estudo coronário é a Angiografia Coronária por cateterismo, porém, esta acarreta alguns riscos. A Coronariografia por Tomografia Computorizada (CTC) multi-corte tem vindo a posicionar-se como o melhor exame não invasivo para avaliação coronária, graças à rápida evolução tecnológica. Esta levou a um aumento da resolução temporal e espacial, permitindo assim minimizar a dificuldade de observar as artérias coronárias.

O trabalho tem como objectivos uma revisão dos princípios da coronariografia por tomografia computadorizada, a sua aplicação no âmbito da avaliação da anatomia coronária normal e suas variantes e a ilustração e identificação das mesmas, tendo em consideração a sua relevância clínica.

A tomografia computadorizada multi-corte possibilita uma excelente visualização da anatomia coronária e suas variantes de origem, trajecto e terminação. A combinação de uma excelente resolução temporal e espacial com a capacidade de visualização tridimensional colocam a coronariografia por tomografia computadorizada na primeira linha do diagnóstico e avaliação das variantes da anatomia coronária. As potencialidades da tomografia computadorizada neste contexto não estão esgotadas; a constante evolução tecnológica promete um alargamento das suas capacidades e indicações.

O conhecimento teórico da anatomia coronária normal e suas variantes, é um requisito indispensável na avaliação dos exames de CTC. Só assim é possível uma correcta identificação e classificação das variantes das artérias coronárias, distinguindo as variantes

cl clinicamente relevantes das demais. As alterações como a presença de trajecto inter arterial, artéria coronária única, origem ectópica, estenose do ostium, fístula e ponte de miocárdio não devem ser ignoradas pelo risco de manifestações clínicas graves, incluindo a morte súbita.

Palavras-chave: tomografia computadorizada multi-corte; anomalias congénitas das artérias coronárias; artérias coronárias; angiografia coronária; coração.

Abstract

Cardiovascular disease is the leading cause of death in developed countries. Therefore, evaluation of the coronary arteries is of high importance in current clinical practice. In spite of its risks and potential complications, conventional coronary angiography is the technique of choice to study the coronary arteries. Multi-slice Coronary Computed Tomographic (CTC) has become the best noninvasive test for assessing coronary arteries, thanks to rapid technological evolution, which allowed an increased temporal and spatial resolution, thereby minimizing the difficulty to evaluate the coronary arteries.

This work aims to review the principles of multislice computed tomography coronary angiography, its capabilities in the evaluation of normal and variant coronary arrangements and illustrate them with computed tomography images. It aims as well to offer information about clinical relevance of said variations.

Multi-slice CT allows excellent visualization of coronary anatomy and its variants of origin, course and termination. The combination of an excellent temporal and spatial resolution and the three-dimensional visualization of vessels manages to put CT angiography in the first line of diagnosis and evaluation of variants of coronary anatomy. CT has an immense potential in this respect; constant technological developments promise to extend its capabilities and indications.

The theoretical knowledge of the normal coronary anatomy and its variants is a prerequisite in the evaluation of CT exams. Only then is the clinician ready to properly identify and classify variants of the coronary arteries, distinguishing between the clinically relevant variants from the others. Changes such as the presence of an inter arterial course,

single coronary artery, ectopic origin, ostial stenosis and myocardial bridge should not be ignored as there is a risk of severe clinical manifestations, including sudden death.

Keywords: multislice computed tomography; congenital coronary anomalies; coronary arteries; coronary angiography; heart.

Introdução

As doenças cardiovasculares são actualmente a primeira causa de morte nos países desenvolvidos, nomeadamente nos Estados Unidos da América (Heron M et al., 2009) e em Portugal (Ministério da Saúde, 2009). Neste contexto, o estudo das artérias coronárias é uma necessidade cada vez mais frequente. A técnica de eleição para o estudo coronário é a Angiografia Coronária por cateterismo (AC). As suas limitações, nomeadamente, o risco de complicações, foram um forte incentivo na pesquisa de um exame não invasivo que fornecesse uma alternativa viável à angiografia.

A Coronariografia por Tomografia Computorizada (CTC) multi-corte observou um rápido desenvolvimento nos últimos anos. Desde 1991, com o desenvolvimento do primeiro aparelho multi-corte, o número de cortes progrediu rapidamente para os 4, 16 e 64 cortes. Actualmente os novos aparelhos de Tomografia Computorizada (TC) em desenvolvimento possuem 256 e até 320 cortes. O aumento da resolução temporal e espacial que cada geração trouxe permitiu minimizar a dificuldade de observar as artérias coronárias, presente devido ao seu reduzido calibre e movimento durante o ciclo cardíaco. A tomografia computadorizada multi-corte posiciona-se como o melhor exame não invasivo para avaliação coronária (Roberts et al., 2008).

Para que a interpretação das imagens da CTC seja correcta é necessário, como se entende, um conhecimento da anatomia coronária normal, mas também das suas variantes. As variantes da anatomia coronária são pouco frequentes, com incidências descritas na literatura de cerca de 1% (Yamanaka and Hobbs, 1990; Lipsett et al., 1994).

No entanto, apesar da maioria destas alterações serem benignas (Sundaram et al., 2009), outras podem traduzir-se em alterações hemodinamicamente significativas. A clínica, nestes

casos, pode ser inexistente ou incluir manifestações que vão desde a dispneia até à morte súbita. Particularmente, em jovens atletas é uma importante causa de morte súbita, sendo responsável por até 19% dos casos (Cheitlin et al., 1974; Maron et al., 1996). A identificação das variantes da anatomia coronária, particularmente daquelas que são potenciais causas de patologia, assume uma elevada importância durante a realização de uma CTC, bem como na realização de uma AC ou de uma cirurgia cardíaca (Garg et al., 2000).

Objectivos

O presente trabalho tem como objectivo elaborar uma revisão sobre os princípios da tomografia computadorizada, particularmente quando aplicada ao estudo da anatomia coronária. Destacam-se as suas principais limitações assim como as perspectivas de evolução futura. No âmbito da avaliação da anatomia coronária, comparam-se os exames de angiografia coronária, ressonância magnética e ecocardiografia à tomografia computadorizada. Pretende-se ainda apresentar uma descrição da anatomia coronária, ilustrada com imagens de tomografia computadorizada, com ênfase nas suas variantes e um resumo da sua importância clínica.

Coronariografia por Tomografia Computorizada

Princípios da CTC

Os aparelhos de TC contêm uma fonte de radiação-X e sensores, colocados em lados opostos da *gantry*, que desenvolve continuamente uma rotação à volta do paciente. À medida que o paciente passa pela *gantry* recolhem-se os dados que são tratados informaticamente. Obtém-se assim a informação volumétrica na forma de *voxels* (*pixels* tridimensionais), podendo ser visualizada em diferentes planos.

Resolução espacial

A resolução espacial da TC determina o tamanho do *voxel*. Este é representado em determinado plano por uma tonalidade de cinzento que varia consoante a atenuação da radiação-X pelo tecido contido no espaço do *voxel*. O tecido ósseo tem uma elevada atenuação (cerca de 300 unidades de Hounsfield) ao contrário do ar que tem baixa atenuação (cerca de -800 unidades de Hounsfield).

O efeito de “volume parcial” ocorre quando no espaço de um *voxel* existe uma parte com material com elevada atenuação e uma outra parte com baixa atenuação. Neste caso, no *voxel* resultante perde-se a informação sobre o material com baixa atenuação. O efeito é tanto menor quanto maior for a resolução da TC no eixo Z.

O que determina a resolução espacial da TC depende do próprio sensor de captação de radiação-X e não do número de cortes (*slices*). O número de cortes permite aumentar a velocidade a que um aparelho obtém informação de determinada área. Isto consegue-se através do aumento do número de sensores. Estes conjuntos de sensores (*arrays*) podem ter um espaçamento igual entre sensores (*fixed arrays*) ou uma combinação de sensores de

tamanhos variáveis que podem ser usados em configurações variadas (*adaptive arrays*). Uma forma de aumentar o número de cortes é a utilização de técnica de alternância de ponto focal (Roberts et al., 2008).

Resolução temporal

A resolução temporal é determinada essencialmente pela velocidade de rotação da *gantry* à volta do doente. Corresponde a metade da velocidade de uma rotação completa, dado que basta uma captação a 180° para obter uma imagem de qualidade. Na CTC, a resolução temporal assume um papel preponderante, devido aos movimentos cardíacos. Para eliminar os movimentos respiratórios, a CTC é realizada pedindo ao paciente para sustar a respiração. Para minimizar o efeito dos movimentos cardíacos, as imagens são obtidas em sincronização com um electrocardiograma (*ECG gating*), processo explicado de seguida.

Alguns aparelhos utilizam uma reconstrução parcial numa captação axial para aumentarem a resolução temporal (Greuter et al., 2007). Consiste na utilização de dados de ciclos cardíacos adjacentes para reconstruir um plano axial completo (*axial dataset*). Apesar de aumentar ligeiramente a acuidade diagnóstica (Herzog et al., 2007), esta técnica tem o risco de aumentar os artefactos pois assume que as artérias regressam exactamente à mesma localização em todos os ciclos cardíacos, o que nem sempre acontece.

A figura 1, obtida num coração de cadáver, permite uma visualização com qualidade máxima e sem artefactos, equiparável a uma aquisição teórica instantânea. À medida que a resolução temporal das CTC for aumentando, as imagens aproximar-se-ão deste exemplo.



Fig. 1 – Reconstrução volumétrica de CTC de 64 cortes em coração de cadáver. Cedida pelo Dr. Paulo Donato, no âmbito de trabalho em curso inserido na tese de doutoramento no tema (Contributos da Imagem Seccional em Cardiologia: estudos clínicos e experimentais).

Sincronização electrocardiográfica (ECG Gating)

Para realizar a captação da área correspondente ao coração são necessários entre 6 a 15 segundos (Roberts et al., 2008) nas TC actuais. Naturalmente, para cobrir todo o território coronário, não é suficiente realizar a aquisição de imagem apenas num ciclo cardíaco. São então utilizados vários ciclos cardíacos e a informação assim obtida será suficiente para a reconstrução de todo o coração. Interessa utilizar as imagens na altura do ciclo em que o coração se encontra estático durante mais tempo, o que corresponde à diástole. Com recurso a um registo de ECG sincronizado com o aparelho de TC, podemos seleccionar a informação correspondente apenas à diástole de vários ciclos, tentando diminuir ao máximo os artefactos resultantes do movimento (figura 2).

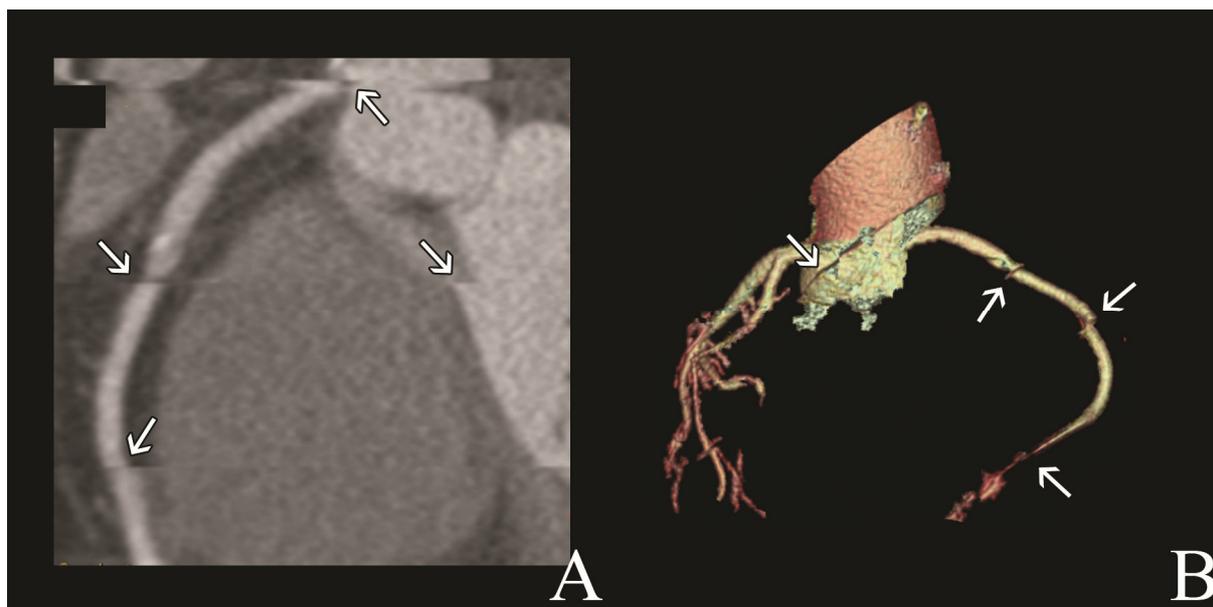


Fig. 2 – Reformatação multiplanar (A) e reconstrução volumétrica (B) de CTC de 64 cortes; observação de múltiplos artefactos, assinalados por setas brancas.

Existem actualmente duas técnicas: a sincronização retrospectiva (*retrospective gating*) e a sincronização prospectiva (*prospective gating*). A sincronização retrospectiva, técnica aplicada com maior frequência nos dias de hoje, envolve uma aquisição contínua em espiral à medida que o paciente passa através da *gantry*. Posteriormente, utiliza-se um intervalo de tempo (em percentagem de intervalo RR ou em termos absolutos) para realizar a reconstrução, cujo valor varia consoante o doente e a artéria coronária para a qual se pretende otimizar a visualização.

Com a sincronização retrospectiva pretende obter-se uma diminuição da radiação utilizada que é, desde já, a sua grande vantagem. Neste caso a onda R é reconhecida no ECG, inicia-se a captação com um atraso de tempo predefinido e termina após ter decorrido outro período de tempo, também previamente definido. São efectuadas várias captações axiais em vários ciclos cardíacos, até cobrir a área total do coração. Existe uma degradação da qualidade da imagem na presença de batimentos ectópicos, arritmias ou quando os intervalos de tempo não são os mais indicados. Num estudo recente, Maruyama et al., (2008) comparou a CTC com

sincronização retrospectiva com a CTC com sincronização prospectiva, tendo como ponto de referência uma AC, em 173 doentes. Os resultados foram encorajadores, obtendo-se uma redução na dose dos $21 \pm 6,7$ mSv para $4,3 \pm 1,3$ mSv com a sincronização prospectiva. A percentagem de segmentos visíveis, sensibilidade e especificidade da detecção de lesões coronárias foi idêntica. A aplicabilidade desta técnica é potencialmente universal, servindo tanto para os aparelhos actuais como para os futuros (Kaufmann, 2008).

Aquisição de Imagem

A aquisição de imagens obedece a protocolos definidos, considerados um certo número de factores. De seguida apresentam-se os passos genéricos para a realização de uma CTC.

O doente necessita de um acesso venoso para a injeção de contraste. Pode ser necessário a administração prévia de um beta bloqueante oral para diminuir o número de ciclos cardíacos por segundo (quando o seu número é superior a 70). É preciso dispor de um electrocardiograma e de um injector de contraste. É frequente realizar um raio-X para verificar o correcto posicionamento do doente.

O início da aquisição necessita de estar coordenado com a chegada de contraste à aorta ascendente. No caso de ser feito de forma manual pode ser realizado de duas formas. Numa delas, é injectada uma pequena quantidade de contraste que é usada como teste para medir o tempo que demora até atingir a aorta ascendente, intervalo que é usado para temporizar a aquisição da imagem definitiva. Na outra forma manual, o aparelho de TC realiza uma captação contínua no plano da aorta ascendente, actualizando a imagem em tempo real. Quando o contraste é detectado o operador inicia a aquisição. Este é o processo utilizado actualmente na Clínica Universitária de Radiologia dos Hospitais da Universidade de Coimbra. O processo automatizado implica o reconhecimento, por parte do aparelho de TC,

do contraste na aorta ascendente, ou seja, um aumento acima de um limite pré definido da atenuação nesse local, que inicia a aquisição.

A quantidade de informação obtida é tratada informaticamente tendo em conta o ECG, como já foi referido. A interpretação dos cortes axiais (figura 3A) é normalmente suficiente para o diagnóstico, fornecendo ainda informação adicional sobre o tórax.

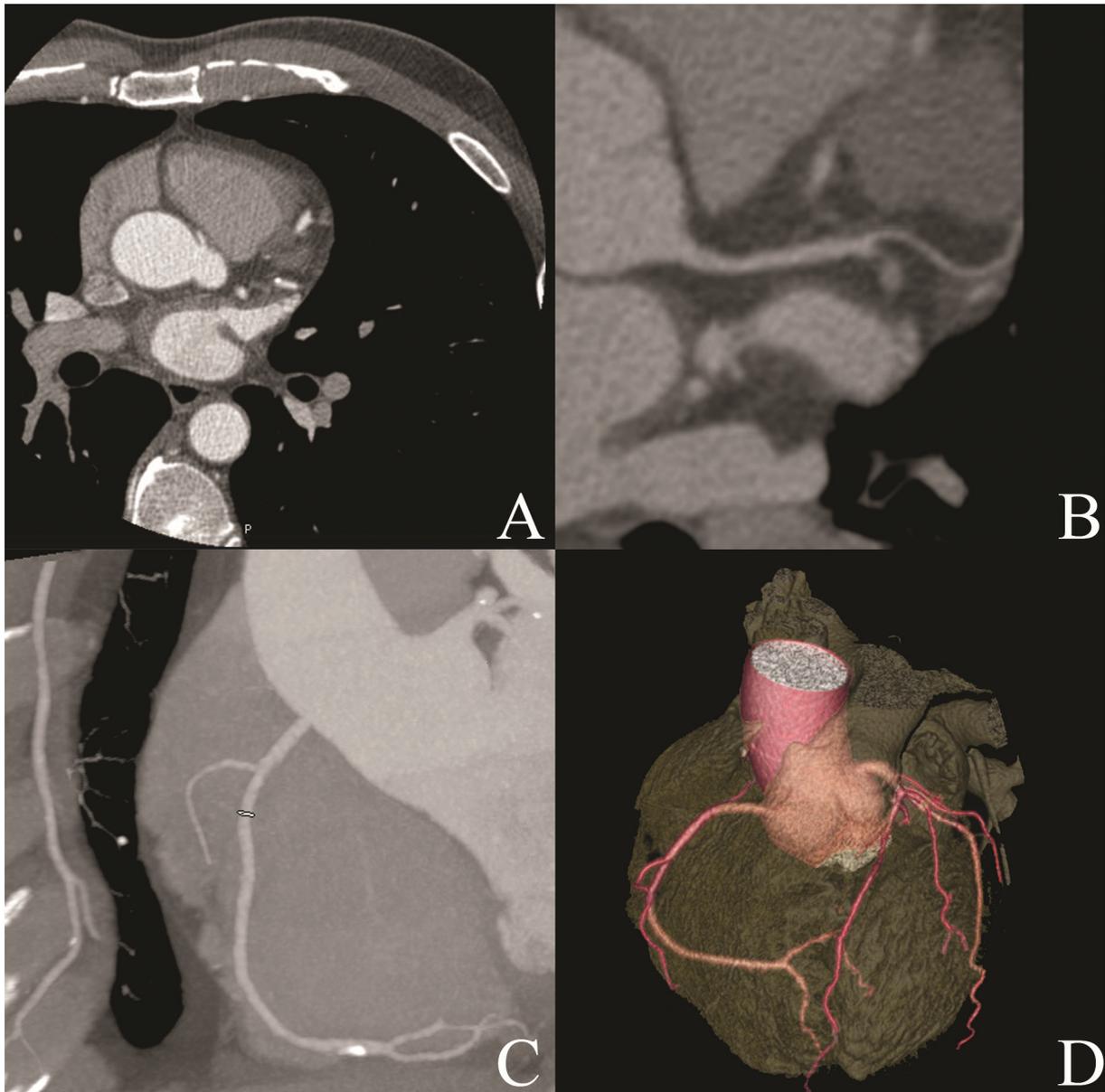


Fig. 3 – Imagem axial (A), reformatação multiplanar (B), MIP (C) e reconstrução volumétrica (D) de CTC de 64 cortes.

Podem ser visualizadas reconstruções da informação através da reformatação multiplanar (*multiplanar reformatation*; figura 3B), MIP (*maximum-intensity projection*; figura 3C) ou reconstrução volumétrica (*volume rendering*; figura 3D). Esta última forma de visualização é um recurso extremamente valioso no estudo de variantes das artérias coronárias. Facilita a visualização da anatomia coronária e sua relação com outras estruturas anatómicas, como a aorta ou artéria pulmonar. As imagens assim obtidas são de fácil interpretação mesmo para um clínico pouco familiarizado com a CTC.

Aplicações Clínicas da CTC

Actualmente as indicações para a realização de CTC ainda não estão completamente definidas. O rápido desenvolvimento tecnológico permite um potencial alargamento das suas indicações, o que dificulta a definição de *guidelines*. Publicado pelo *American College of Cardiology* encontra-se uma revisão das aplicações clínicas da TC neste contexto (Hendel et al., 2006). Em muitas situações a sua utilização manteve-se equívoca. Um resumo das principais indicações compiladas por Roberts et al., (2008) encontra-se na tabela 1.

Tabela 1 – Indicações para realização de CTC segundo o American College of Cardiology

Indicações para realização de CTC	
Dor pré cordial	Probabilidade intermédia de doença coronária com ECG não interpretável Prova de esforço equívoca
Dor pré cordial aguda	Probabilidade intermédia de doença coronária, sem alterações no ECG e enzimologia cardíaca negativa
Estudo de doenças congénitas incluindo anomalias da circulação coronárias	
Estudo das artérias coronária em doentes com enfarte miocárdico “de novo” para esclarecer etiologia	
Mapeamento não invasivo das artérias coronárias	

A utilização da CTC para avaliação de variantes da anatomia coronária é uma das suas indicações. No âmbito da doença coronária a sua utilização é menos consensual. Adicionalmente, à medida que a técnica evolui e são feitos mais estudos, será, provavelmente, necessário rever as suas indicações. A TC neste contexto vai para além do foco do trabalho.

Problemas Técnicos e Limitações

As limitações da CTC, ainda que tenham vindo a ser minimizadas, são por vezes inerentes à própria técnica.

Contra-indicações

Nem todos os doentes podem realizar uma TC para avaliação das artérias coronárias. Esta encontra-se contra-indicada em doentes com incapacidade de se colocar em decúbito, alergia ao contraste ou gravidez. As limitações consideradas não são exclusivas à CTC, abrangendo todas as técnicas de TC com utilização de contraste.

Radiação

A CTC, ainda que não invasiva, não é inócua. A radiação a que o doente é exposto não é de todo negligenciável, pelo contrário, consiste na sua maior limitação. Actualmente a dose de radiação situa-se entre 10 a 15 mSv; uma redução significativa perante as primeiras TC coronárias em que o doente era exposto a uma dose entre 20 a 25 mSv (Kaufmann, 2008). Esta diminuição deve-se essencialmente à redução da intensidade (*dose modulation*) da radiação durante a sístole cardíaca, o que foi demonstrado não provocar impacto na qualidade da imagem por Hausleiter et al., (2006). Ainda assim, a dose representa cerca do dobro da usada numa Angiografia Coronária por cateterismo (Coles et al., 2006). Com uma optimização dos parâmetros de captura de imagem, encontram-se valores abaixo de 10 mSv descritos na literatura (Stolzmann et al., 2008). A sincronização prospectiva (*prospective*

gating), referida anteriormente, permite uma redução significativa da dose. A otimização e difusão desta técnica poderão melhorar a relação benefício/malefício da CTC.

A iatrogenia deste exame, entre outras características, é uma forte razão para contra indicar a sua utilização numa perspectiva de rastreio.

Aquisição de imagem

A qualidade da CTC pode sofrer devido ao movimento do coração. As características dos aparelhos mais recentes (resolução temporal, espacial e velocidade de aquisição) permitem melhorar muito substancialmente a qualidade da imagem quando comparado com aparelhos antigos. A utilização de beta bloqueadores, com o intuito de reduzir a frequência cardíaca, é frequente. Nos doentes com arritmias a captação pode não resultar em imagens suficientemente claras para fornecer segurança diagnóstica.

Intervenção

A CTC não permite, como se entende, realizar terapêutica. Não será, portanto, útil realizar um diagnóstico que necessite posteriormente de Angiografia Coronária por cateterismo com intervenção, com o prejuízo de um aumento da dose de radiação.

Interpretação

A CTC promove uma sobreposição entre as áreas da cardiologia e imagiologia. Classicamente, os exames de imagem cardíaca (ecocardiograma e angiografia) são realizados por cardiologistas, porém são os imagiologistas que têm treino e formação em TC. Daí resulta a necessidade de formar uma equipa multidisciplinar, para a óptima interpretação das imagens.

Custos e disponibilidade

Os aparelhos, principalmente os mais recentes, empregam tecnologia de ponta, tornando-os bastante dispendiosos. Os custos reflectem-se na disponibilidade dos aparelhos, limitada aos centros mais diferenciados. Por sua vez, a formação de médicos com treino na área está limitada também aos mesmos centros.

Avaliação hemodinâmica

A avaliação hemodinâmica foi considerada como uma limitação da coronariografia por TC (Schmitt et al., 2005). A CTC fornece dados anatómicos das coronárias, não avaliando a parte funcional. No entanto, a coronariografia por TC de 64 cortes, quando comparada com a avaliação da perfusão miocárdica por SPECT, apresenta-se com elevados valores de sensibilidade e valor preditivo negativo, ou seja, é um bom exame para a exclusão de lesões causadoras de isquémia (Gaemperli et al., 2008). Por outro lado, a CTC não nos esclarece qual o significado hemodinâmico de uma alteração detectada, existindo nesse caso necessidade de complementar o estudo com outros exames.

Evolução da CTC

A área da tomografia computadorizada está em constante evolução e tem visto avanços significativos nos últimos anos. Os objectivos deste desenvolvimento centram-se no aumento da resolução temporal e espacial assim como na diminuição da dose de radiação.

Número de cortes

Os detectores têm vindo a aumentar o número de cortes ao longo dos anos. É uma forma, como foi atrás descrito, de permitir a captação de uma maior área numa só rotação, o que possibilita a diminuição do número de ciclos cardíacos para obter a imagem de todo o coração. Neste momento os aparelhos de TC frequentemente disponíveis têm até 64 cortes.

Novos aparelhos com 256 e até 320 cortes já estão disponíveis no mercado. Com os aparelhos de 320 cortes há a possibilidade de obter numa rotação apenas todo o coração, facilitando a aplicação da sincronização prospectiva com o intuito diminuir a radiação. Os resultados iniciais mostram uma excelente qualidade de imagem obtida com esses aparelhos (Rybicki et al., 2008). É necessário porém ter em atenção que a redução de artefactos de movimento só é eficazmente diminuída com uma melhor resolução temporal.

Dupla fonte

A utilização de duas fontes emissoras de radiação oferece uma melhoria na resolução temporal do scanner, demorando metade do tempo que um scanner de fonte única equivalente.

Detectores

O desenvolvimento de novos detectores mais sensíveis poderá diminuir a dose necessária no exame de TC coronária. Podem ainda melhorar a resolução espacial e consequentemente avaliar melhor os vasos coronários mais pequenos.

Dupla energia

É uma técnica diferente da de dupla fonte. São utilizadas, nesta situação, radiações com diferentes energias, devido à aplicação de diferentes voltagens. O resultado traduz-se numa melhor diferenciação tecidual. A atenuação obtida vai variar com as características do tecido e com a energia da radiação aplicada. O maior interesse desta inovação reporta-se aos exames de doentes com doença coronária, permitindo melhor imagem do lúmen arterial.

Exames Imagiológicos e Anatomia Coronária

Existem vários exames com capacidade de avaliação da anatomia coronária. Do ponto de vista da capacidade de definir com exactidão a anatomia coronária comparamos a Coronariografia por Tomografia Computorizada (CTC) com a Angiografia Coronária por cateterismo (AC), Ressonância Magnética (RM) e Ecocardiografia Trans-Torácica (ETT), salientando as suas vantagens e desvantagens.

Angiografia Coronária por Cateterismo (AC)

O considerado até então como *gold-standard* para a avaliação coronária é a AC (Kacmaz et al., 2008). Tem uma excelente resolução espacial e temporal e permite medidas de intervenção, aliando o diagnóstico à terapêutica (Roberts et al., 2008). A dose de radiação utilizada no exame é inferior ao da CTC.

Por outro lado é um exame invasivo, com potenciais complicações (arritmia, hemorragia no local da punção, dissecção coronária, entre outras), apesar da percentagem de complicações major se situar abaixo dos 2% (Scanlon et al., 1999) e da mortalidade ocorrer em cerca de 0,15% dos casos (Achenbach et al., 2000). A AC pode detectar doenças não obstrutivas, cuja resolução não passa pela intervenção. Na identificação de alterações anatómicas a informação obtida na AC é bidimensional, o que dificulta a interpretação das relações com estruturas adjacentes (Pinho et al., 2006). Acentua-se esta dificuldade ao cateterizar selectivamente uma coronária com origem anómala, dado que não se visualizam referências como a artéria pulmonar ou aorta. Para além disso, a pesquisa de um orifício variante do normal e a sua cateterização selectiva nem sempre são fáceis (Duran et al., 2006). Quanto mais complexa for a alteração anatómica coronária, maior é o benefício da utilização

de captação tridimensional, como acontece na CTC. A AC não permite, portanto, definir com exactidão o trajecto da artéria que se pretende estudar.

Ecocardiografia Trans-Torácica (ETT)

A ETT pode ser utilizada no estudo anatómico das artérias coronárias. É útil no estudo das variantes que envolvem a origem coronária, podendo identificar ainda trajectos fistulosos e caracterizar a sua hemodinâmica (Kacmaz et al., 2008). Não tem qualquer emissão de radiação ionizante, ao contrário do que acontece com a AC e a CTC.

No entanto é operador dependente, exigindo que este esteja particularmente atento às artérias coronárias. Apesar de menos agressiva que angiografia, não deixa de ser uma técnica invasiva. Tem ainda a desvantagem de poder não detectar uma variante anatómica e não conseguir definir claramente o trajecto de um vaso identificado como anómalo.

Ressonância Magnética (RM)

A angiografia coronária por RM mostrou potencial como técnica não invasiva na avaliação anatómica coronária (McConnell et al., 1995). Esta permite fazer uma captação tridimensional do trajecto do vaso em estudo. É particularmente útil na definição do trajecto proximal das artérias, mostrando-se superior à AC (Taylor et al., 2000). A RM não emite radiações ionizantes.

A disponibilidade e o custo da RM são pontos contra a sua utilização em larga escala. A utilidade clínica da RM, actualmente, centra-se no âmbito da avaliação da função cardíaca e perfusão miocárdica (Roberts et al., 2008).

Coronariografia por Tomografia Computorizada (CTC)

Apesar das suas limitações, a CTC posiciona-se hoje como o exame primeira linha no diagnóstico e avaliação da anatomia coronária (Schmitt et al., 2005; Schuijf et al., 2006; Kacmaz et al., 2008). Além de não invasiva e independente do operador, a CTC permite consistentemente chegar a um diagnóstico preciso e definitivo no caso das variantes da anatomia coronária.

Na sua modalidade de 64 cortes, a CTC mostrou ser superior à AC e é recomendada ao invés desta (Karaca et al., 2007). Mesmo nos aparelhos com apenas 4 cortes, na avaliação dos segmentos proximais a CTC não foi inferior à AC segundo um estudo de Sinha et al. (2006). A RM, apesar de algumas vantagens, revelou pior qualidade de imagem do que a CTC de 16 cortes num estudo de Ozgun et al (2007). A CTC possui uma maior resolução espacial e melhor captação da parte distal das artérias do que a RM (Kacmaz et al., 2008; Roberts et al., 2008). A avaliação de variantes anatómicas das coronárias é actualmente uma das indicações para utilização da CTC, segundo a ACC, como referido anteriormente.

Anatomia Coronária Normal

A anatomia coronária do coração normal é uma matéria estudada e descrita exaustivamente na literatura. Ainda que determinadas características e suas variações sejam inequivocamente consideradas normais (p. ex. a artéria posterior descendente pode originar-se a partir da artéria coronária direita ou da artéria circunflexa), noutros casos a distinção não é tão consensual (p. ex. normalmente há duas artérias coronárias, direita e esquerda; no caso de haver um ramo, como o infundibular, com origem directa no seio aórtico, como deve ser considerada esta alteração?).

Apresentamos, na tabela 2, uma proposta de definição de critérios morfológicos normais realizada por Angelini (2007).

Tabela 2 – Critérios morfológicos de normalidade. Artéria coronária direita (CD), artéria descendente anterior (DA) e ramo marginal esquerdo (ME).

Característica	Parâmetro
Número de ostia	Entre 2 e 4
Localização	Seios aórticos direito e esquerdo
Orientação proximal	Entre 45° a 90° em relação à parede aórtica
Tronco comum	Apenas artéria coronária esquerda
Trajecto proximal	Directo do ostium até à localização pretendida
Trajecto distal	Extramural (subepicardico)
Ramos	Suficientes para irrigar o miocárdio dependente
Territórios irrigados	CD (parede livre ventrículo direito), DA (antero-septal), ME (parede livre ventrículo esquerdo)
Terminação	Capilar

A definição destes critérios baseou-se na frequência das características, tendo sido consideradas normais as variações presentes em mais do que 1% da população não

seleccionada. De seguida descreve-se a anatomia coronária normal, incluindo os arranjos dentro dos critérios apresentados.

Artérias Coronárias e Seios Aórticos

A porção inicial da raiz da artéria aorta encontra-se ocupada pelos seios aórticos ou de Valsalva. As artérias coronárias são os dois primeiros ramos da aorta, tendo origem em dois dos três seios aórticos. Normalmente, é a partir dos dois seios adjacentes ao tronco da artéria pulmonar que nascem as duas coronárias principais: artéria coronária direita (CD) e o tronco comum (TC) da artéria coronária esquerda, a partir do seio aórtico direito e esquerdo, respectivamente (figura 4).

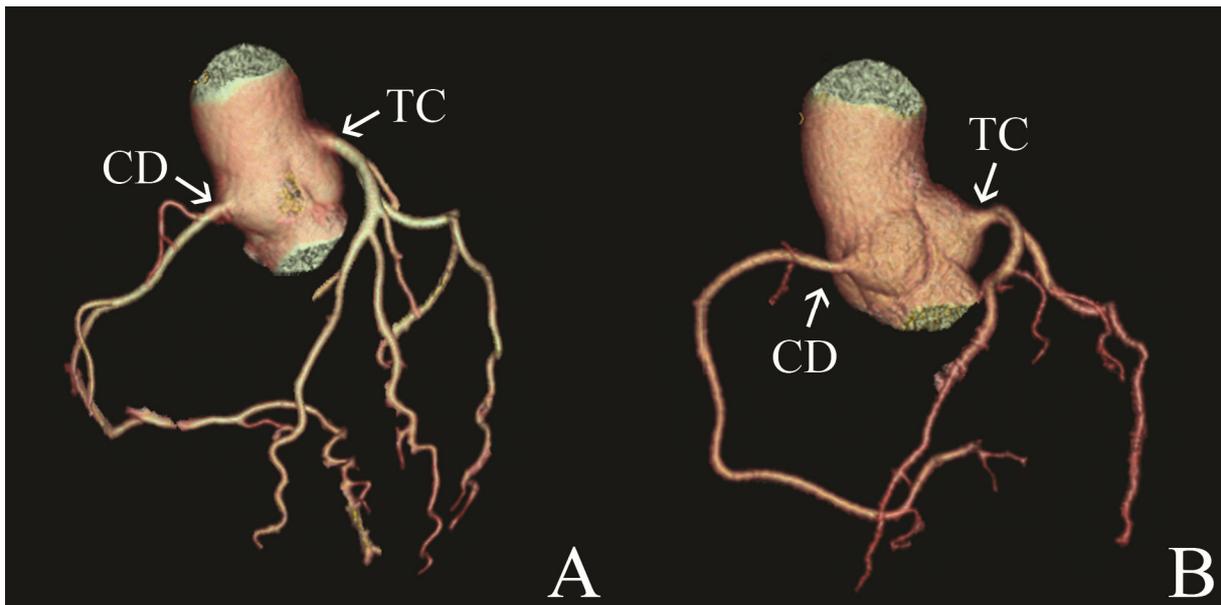


Fig. 4 – Reconstrução volumétrica de duas CTC de 64 cortes; vista antero lateral esquerda (A,B); visualização da artéria coronária direita (CD) e do tronco comum da artéria coronária esquerda (TC).

O seio aórtico mais distante do tronco da artéria pulmonar denomina-se de seio não coronário e só muito raramente dá origem a uma artéria principal (Loukas et al., 2009).

A origem das artérias no seio aórtico pode variar em relação à junção sinotubular e em relação à proximidade às comissuras valvulares (zona de junção de folhetos valvulares). Desvios até 1 cm da junção sinotubular são considerados variações do normal, e só acima desse valor se considera origem ectópica (Loukas et al., 2009). Na figura 4A podemos observar o tronco comum (TC) da coronária esquerda desviada do centro do seio aórtico.

Artéria Coronária Direita

A artéria coronária direita emerge do seio aórtico direito, na superfície anterior e direita da raiz da aorta. Podem encontrar-se dois orifícios no seio aórtico direito (figura 5A) sendo que, nesses casos, o segundo corresponde à origem da artéria infundibular ou, mais raramente, da artéria que irriga o nódulo sino-auricular. Normalmente, a artéria infundibular e a artéria do nódulo sino-auricular (figura 5B) têm origem na artéria coronária direita.

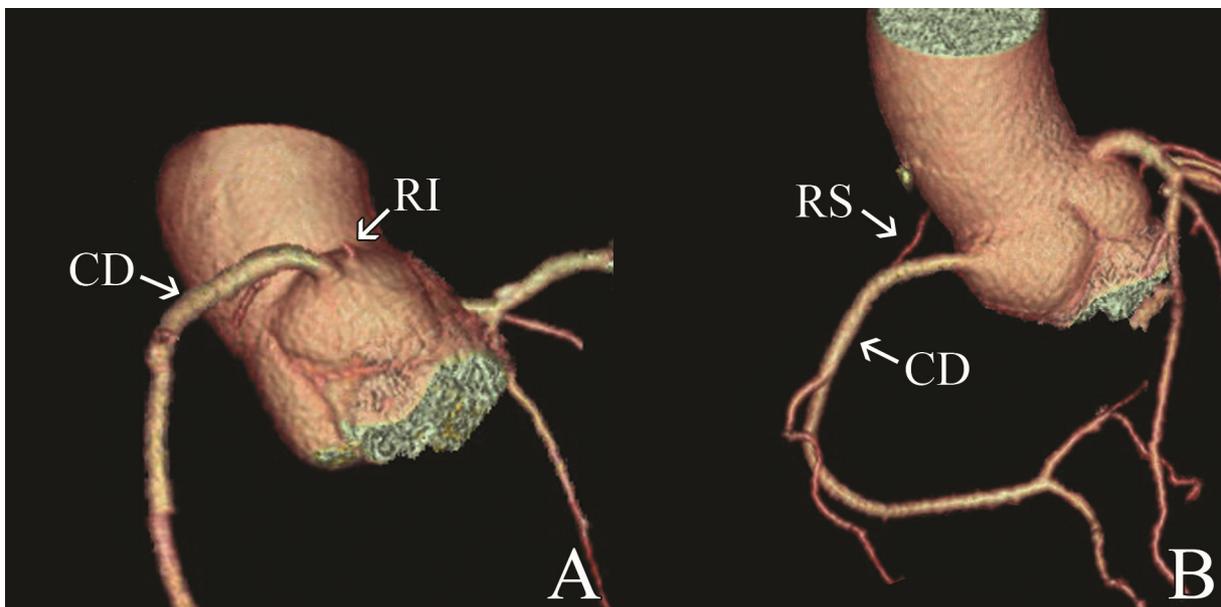


Fig. 5 – Reconstrução volumétrica de duas CTC de 64 cortes; vista lateral direita inferior (A) com visualização de presumível ramo infundibular (RI) com origem directa no seio aórtico; vista antero superior (B) com visualização da artéria coronária direita (CD) e ramo para o nódulo sinusal (RS).

A artéria coronária direita segue no sulco aurículo-ventricular direito, atingindo o bordo agudo do coração, de onde emerge o ramo marginal direito (figura 6). A artéria coronária direita contorna a válvula tricúspide e continua-se na face inferior do coração no sulco aurículo-ventricular. Distalmente, após chegar à “cruzeira”, em cerca de 85% da população, dá origem à artéria para o nódulo aurículo-ventricular e à artéria descendente posterior (associado a dominância direita), ilustrado na figura 6.

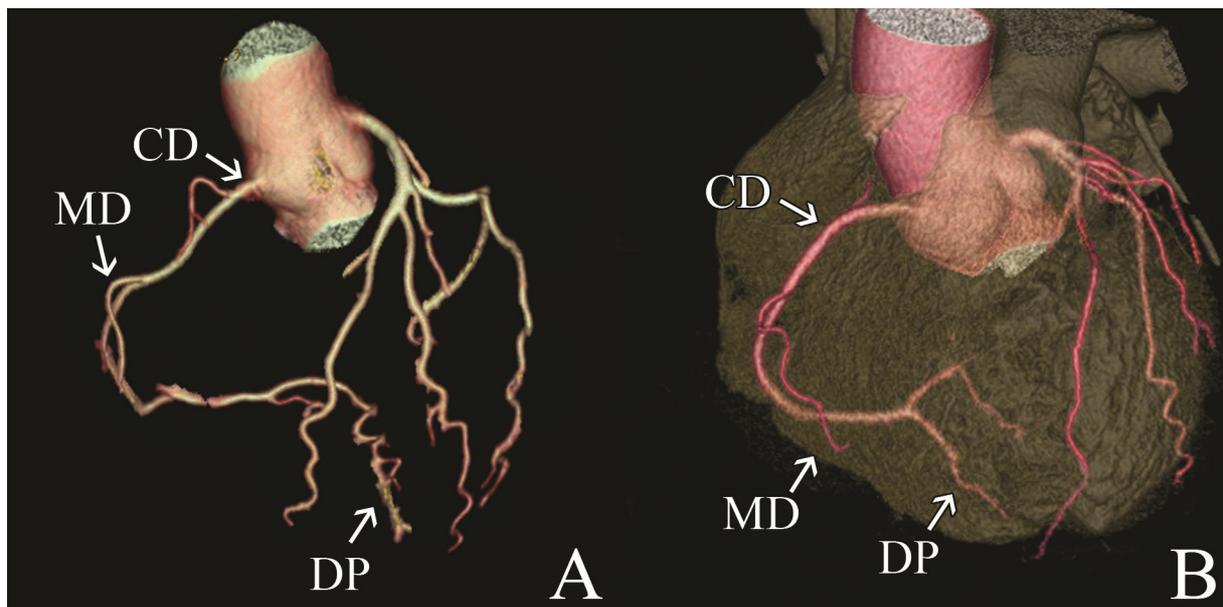


Fig. 6 – Reconstrução volumétrica de duas CTC de 64 cortes; vista anterior (A) e vista antero lateral direita com câmaras cardíacas á transparência (B); visualização da artéria coronária direita (CD) com os ramos marginal direito (MD) e descendente posterior (DP).

A artéria descendente posterior percorre o sulco interventricular na face inferior do coração, enviando ramos perfurantes que irrigam o septo interventricular e uma porção variável da parede diafragmática do ventrículo esquerdo. Normalmente termina-se antes do apex, em anastomose com a artéria descendente anterior.

Artéria Coronária Esquerda

A artéria coronária esquerda tem origem no seio aórtico esquerdo, através do tronco comum. Este, normalmente com 1 cm de comprimento, encontra-se entre o apêndice da aurícula esquerda e o tronco da artéria pulmonar. O seu diâmetro varia entre os 5 e os 10 mm, sendo tipicamente maior do que o da artéria coronária direita, o que se correlaciona também com um maior volume de irrigação sanguínea (Loukas et al., 2009). O tronco comum termina, dividindo-se em artéria circunflexa e artéria descendente anterior. Em cerca de 25% da população existe um ramo intermédio (figura 7A) e em casos raros, podem existir dois ramos intermédios (Ludinghausen, 2003).

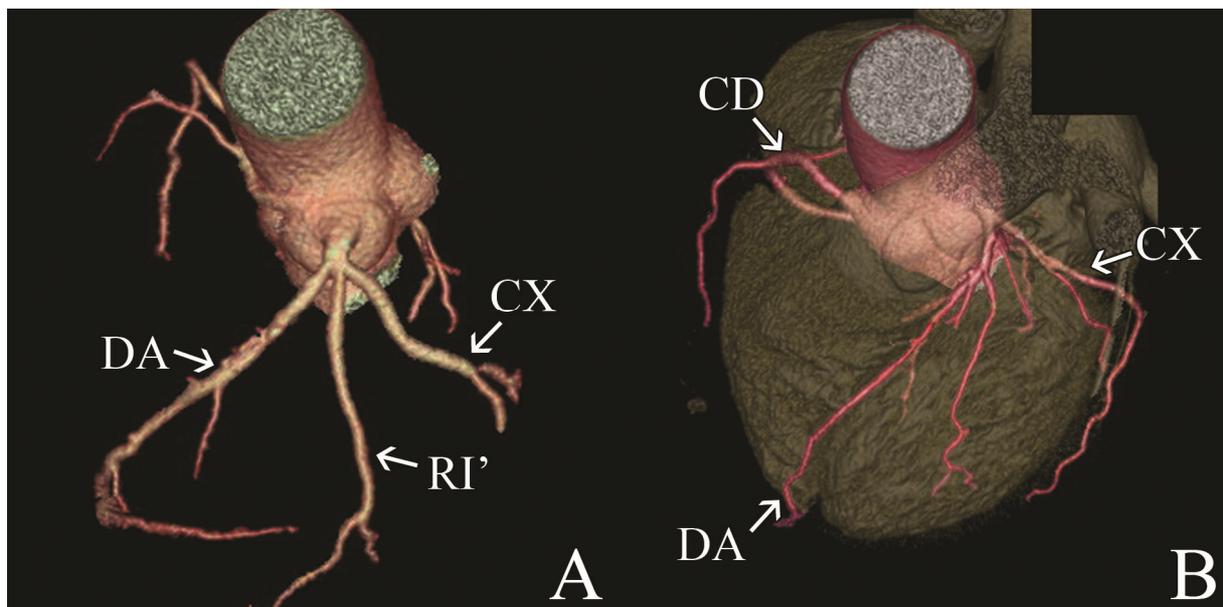


Fig. 7 – Reconstrução volumétrica de duas CTC de 64 cortes; vista superior lateral esquerda (A) com visualização de um ramo intermédio (RI'); vista superior antero lateral esquerda com câmaras cardíacas à transparência (B) com visualização da artéria coronária direita (CD,) artéria descendente anterior (DA) e artéria circunflexa (CX).

Juntamente com a artéria coronária direita, as artérias circunflexa e descendente anterior são os 3 vasos considerados na classificação da doença coronária (figura 7B).

Artéria circunflexa

A artéria circunflexa (figura 8) orienta-se posteriormente em relação ao tronco comum e tem o seu curso no sulco aurículo-ventricular esquerdo. Contorna o anulus da válvula mitral, numa imagem em espelho da artéria coronária direita. Habitualmente termina na face postero-lateral do ventrículo esquerdo, formando ramos marginais, os quais irrigam a face lateral do ventrículo esquerdo. Pode observar-se um ramo marginal esquerdo na figura 8. Em cerca de 8% da população atinge a “crux”, origina a artéria que fornece o nódulo auriculoventricular e pode prologar-se fornecendo a superfície diafragmática do ventrículo direito (padrão associado a dominância coronária esquerda, representado na figura 11B).

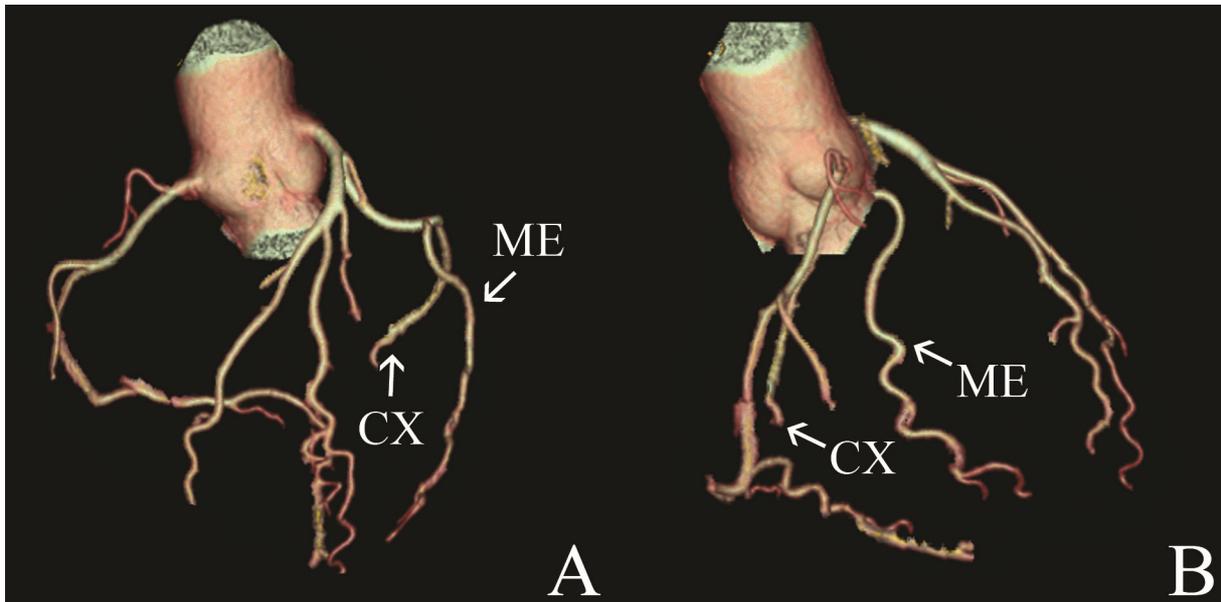


Fig. 8 – Reconstrução volumétrica de CTC de 64 cortes; vista antero-superior (A) e vista lateral direita (B); visualização da artéria circunflexa (CX) com um ramo marginal esquerdo (ME).

Ao longo do seu trajecto, a artéria circunflexa fornece ramos mais pequenos para a parede lateral e posterior do ventrículo esquerdo, raiz da aorta e o miocárdio adjacente ao sulco aurículo-ventricular.

Artéria descendente anterior

A artéria descendente anterior (figura 9) contorna pela esquerda a artéria pulmonar, na face esterno-costal (antero-superior) do coração, e percorre o sulco interventricular no sentido anterior, atingindo o apex. Por vezes pode ultrapassar o apex e prolongar-se no sulco interventricular posterior (inferior) com distâncias variáveis.

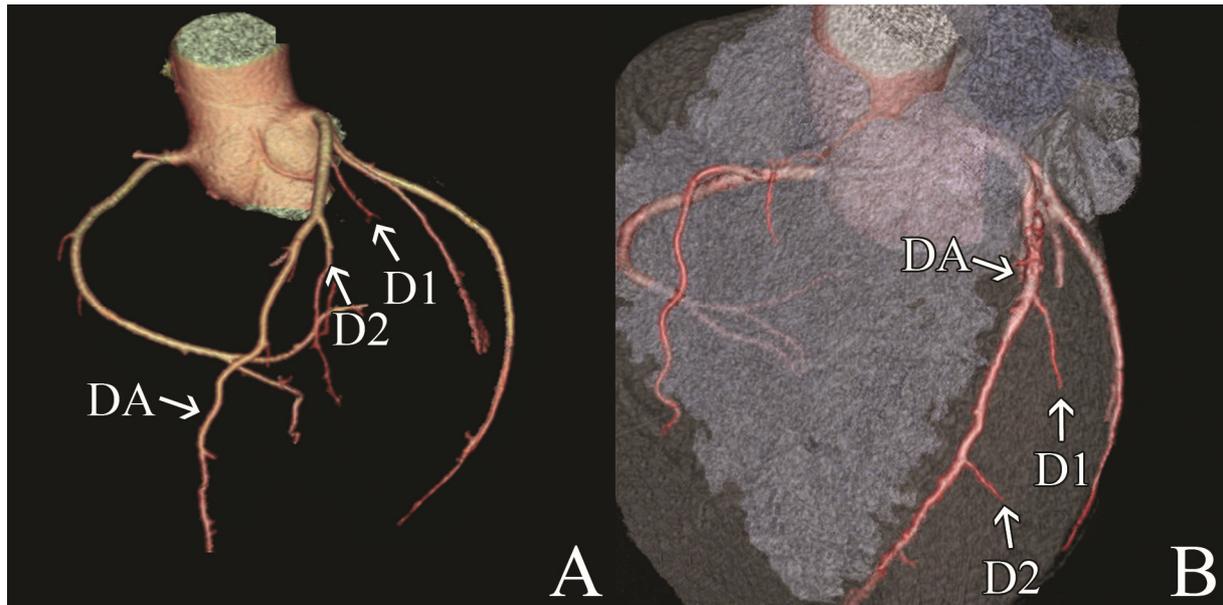


Fig. 9 – Reconstrução volumétrica de duas CTC de 64 cortes; vista antero-superior (A) e vista antero lateral direita superior com câmaras cardíacas à transparência (B); visualização da artéria descendente anterior (DA) com os ramos 1º diagonal (D1), 2º diagonal (D2).

Ao longo do seu trajecto origina dois tipos de ramos: os diagonais (figura 9), cujo território irrigado corresponde à parte anterior do ventrículo esquerdo, e os septais ou perfurantes (figura 10) que, fazendo um ângulo recto com a artéria descendente anterior, suprem a parte anterior do septo interventricular.

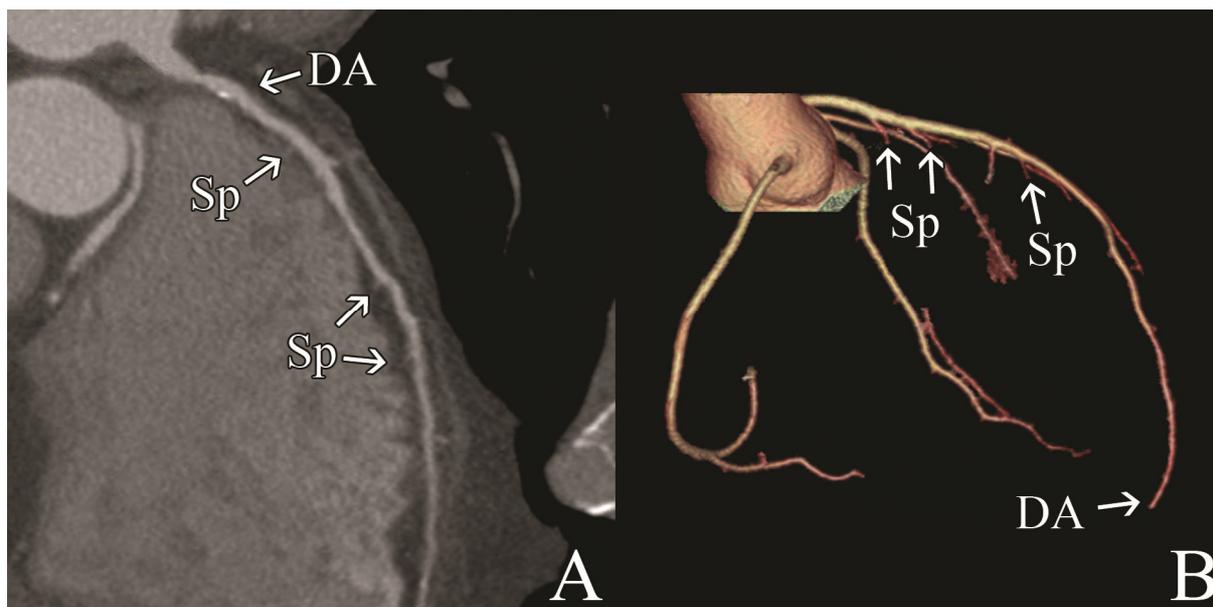


Fig. 10 – Reformatação mulplanar (A) e reconstrução volumétrica com vista lateral direita (B) de duas CTC de 64 cortes; visualização da artéria descendente anterior (DA) e ramos septais/perfurantes (Sp).

A artéria descendente anterior pode dar origem a um ramo infundibular, que pode produzir um círculo anastomótico (de Vieussens) juntamente com o ramo infundibular proveniente da artéria coronária direita.

Dominância Coronária

A dominância coronária é definida consoante a artéria coronária que dá origem às artérias descendente posterior e postero-lateral (Zimmermann et al., 2008). Estas fornecem sangue à parede inferior do ventrículo esquerdo e à parte inferior do septo inter-ventricular. Em 85% da população a artéria que fornece a descendente posterior e a postero-lateral é a artéria coronária direita; este padrão descreve-se como dominância coronária direita (figura 11A). No casos em que é a artéria circunflexa a fornecer a descendente posterior e a postero-lateral, a dominância coronária é esquerda (figura 11B).

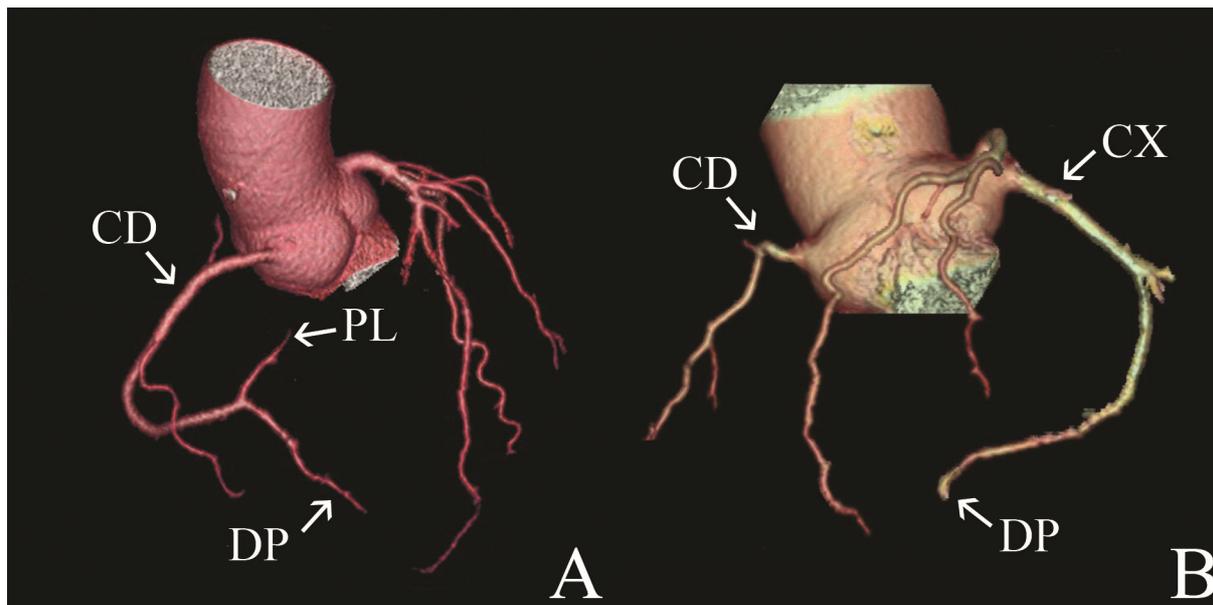


Fig. 11 – Reconstrução volumétrica de duas CTC de 64 cortes; vista anterior com padrão de dominância direita (A) e vista inferior lateral esquerda com padrão de dominância esquerda (B); visualização da artéria coronária direita (CD), ramos descendente posterior (DP) e postero-lateral (PL) e artéria circunflexa (CX).

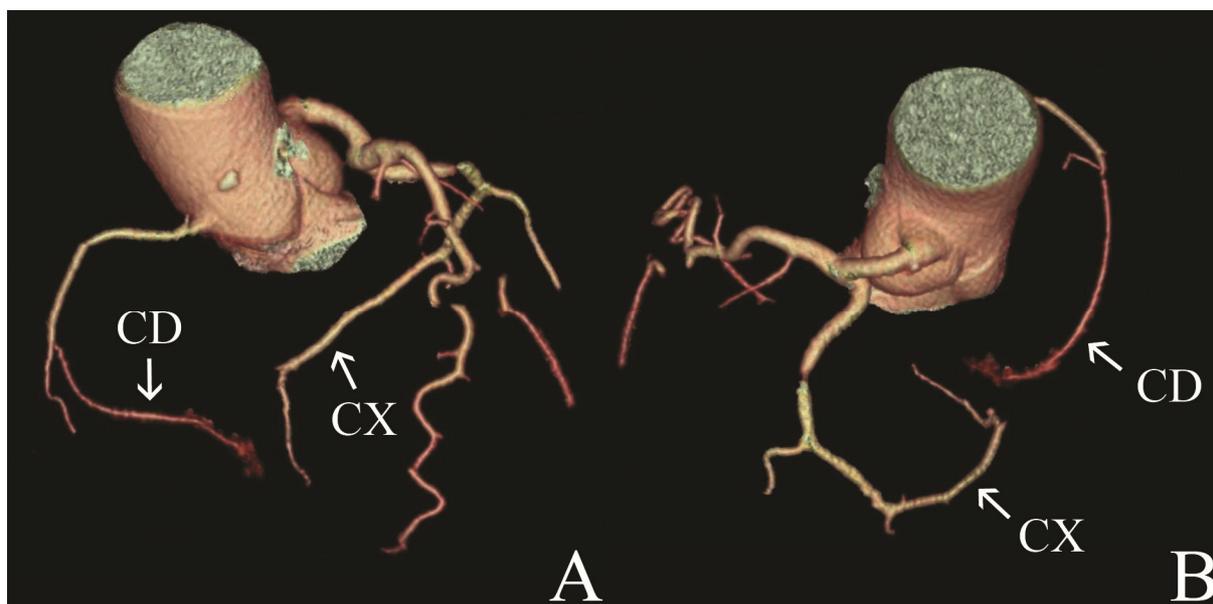


Fig. 12 – Reconstrução volumétrica de CTC de 64 cortes; vista antero-superior (A) e vista superior postero lateral esquerda (B); visualização da artéria coronária direita (CD) e artéria circunflexa (CX) com padrão de co-dominância.

Os 7% restantes têm uma co-dominância (figura 12), que se caracteriza pela irrigação do território da descendente posterior e postero-lateral por ramos provenientes tanto da coronária direita como da circunflexa (Cerqueira et al., 2002; Pannu et al., 2003).

Segmentos Coronários

Para facilitar a comunicação entre radiologistas, cardiologistas e cirurgiões a *American Heart Association* recomenda uma classificação que divide as artérias coronárias em 16 segmentos (figura 13). Com este modelo é possível localizar com precisão uma alteração coronária como estenoses e calcificações.

Os segmentos estão numerados, começando pela artéria coronária direita que divide-se em 3 segmentos. Proximalmente encontram-se os segmentos 1 e 2; o segmento 3 percorre o sulco aurículo ventricular até à “cruza”. A artéria descendente posterior corresponde ao segmento 4a e o ramo postero-lateral ao 4b. O segmento 5 corresponde ao tronco comum da artéria coronária esquerda. A artéria descendente anterior divide-se nos segmentos 6,7 e 8, desde a origem até ao apex. O primeiro e o segundo ramos diagonais correspondem aos segmentos 9 e 10 respectivamente. A artéria circunflexa compreende os segmentos 11 e 13, sendo que os segmentos 12 e 14 correspondem aos ramos marginais que irrigam a parede lateral do coração. O segmento 15 identifica, quando presente, o ramo postero-lateral com origem na artéria circunflexa. O segmento 16 corresponde a um ramo “intermédio”, nem sempre presente, com origem na bifurcação do tronco comum da artéria coronária esquerda.

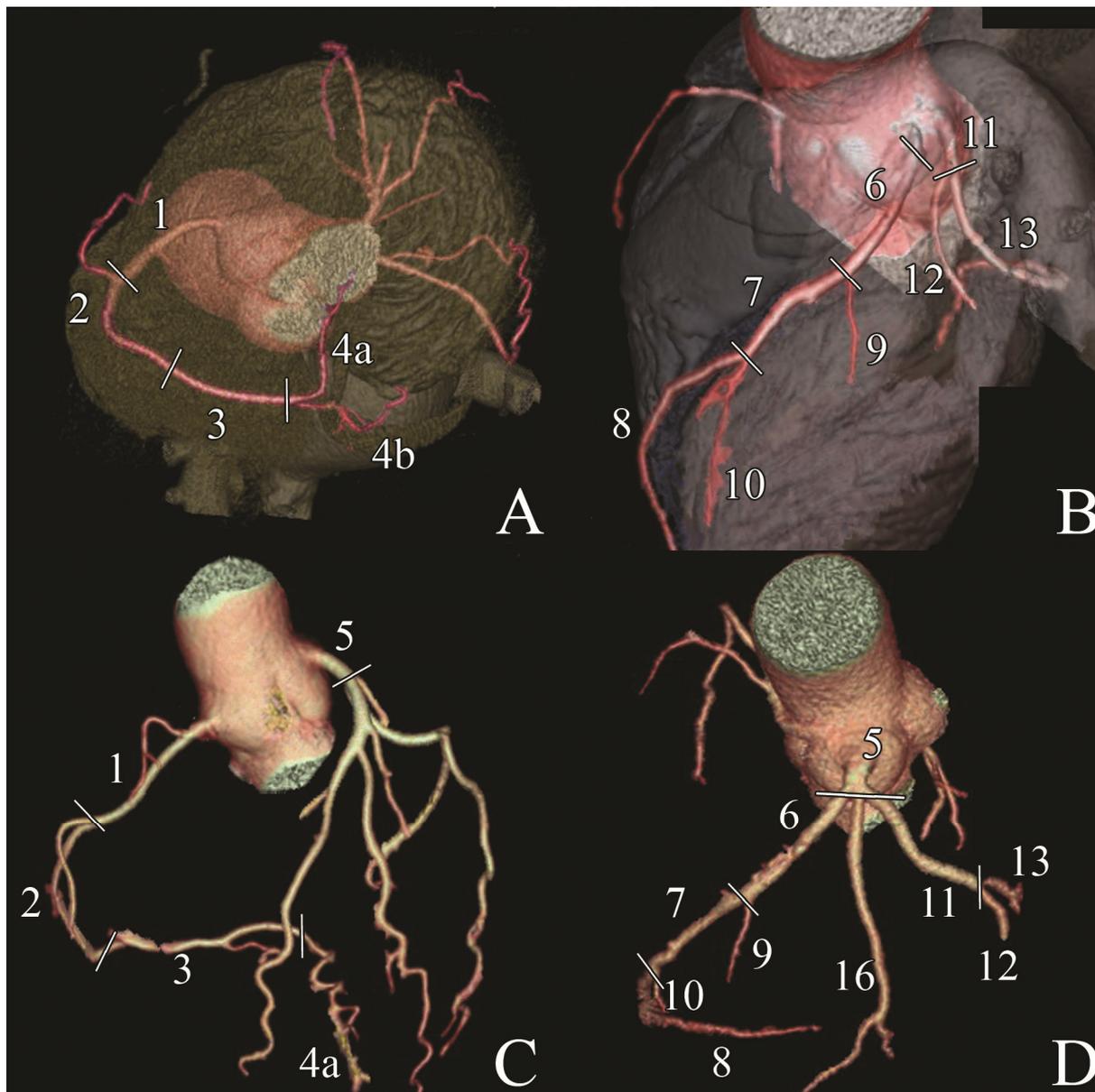


Fig. 13 – Reconstrução volumétrica de quatro CTC de 64 cortes; vista inferior com câmaras cardíacas à transparência (A), vista antero superior esquerda com câmaras cardíacas à transparência (B), vista anterior (C) e vista superior lateral esquerda (D); visualização dos segmentos cardíacos segunda a AHA numerados de 1 a 16. Na imagem B observa-se ausência do tronco comum (segmento 5).

Variantes anatómicas das artérias coronárias

A definição do que se considera normal torna-se essencial para poder haver coerência na descrição do que é fora do normal. Consideraremos as alterações que quebram as condições apresentadas na tabela 2, aprofundando as mais frequentes e/ou clinicamente relevantes. O tema das alterações anatómicas das artérias coronárias no âmbito de doenças cardíacas congénitas vai para além dos objectivos e não será aprofundado no presente trabalho. Nas tabelas 3,4 e 5, adaptadas do trabalho de Angelini (2007), estão as variantes anatómicas das artérias coronárias que serão abordadas, tendo sido acrescentados os dados sobre a relevância clínica das mesmas.

Classificação

Do ponto de vista da classificação das variantes anatómicas das artérias coronárias, não há até à data um consenso sobre a melhor forma de as organizar. Vários autores diferenciam entre as variantes clinicamente significantes e as clinicamente irrelevantes. A grande vantagem desse sistema prende-se com a sua utilidade na prática médica. Porém, existem dúvidas sobre o verdadeiro impacto clínico de várias alterações observadas (por exemplo, no caso de “pontes de miocárdio”). Isto deve-se à ausência, na maioria dos casos, de qualquer sintomatologia e, quando presente, manifesta-se, não raras vezes, apenas através de morte súbita. Como tal, agruparemos as variantes anatómicas consoante as suas características morfológicas, incluindo a informação sobre a relevância clínica, quando possível. Consideram-se 3 grupos principais: variantes da origem e trajecto, da anatomia intrínseca e da terminação coronária.

Incidência

A incidência de variantes da anatomia coronária descrita na literatura encontra-se entre 0,3% e 1,3% em estudos angiográficos (Click et al. 1989; Yamanaka and Hobbs 1990) e nas séries de autópsias encontra-se entre 0,3% e 0,5% (Alexander and Griffith 1956; Lipsett et al. 1994). Uma série de 1950 angiografias, utilizando os critérios de normalidade apresentados previamente, resultou numa incidência de 5,6% (Angelini et al. 2002). Há várias explicações para este fenómeno: utilização de critérios diferentes (explicação dos autores), populações seleccionadas, métodos diferentes (angiografia, autópsia) e diferença de incidência entre populações diferentes. Quando relevante e/ou disponível, será referida a frequência de cada variante coronária.

Variante vs. Anomalia

Note-se que as variantes anatómicas consideradas são frequentemente apelidadas de anomalias das artérias coronárias na literatura. Como pôde ser observado, nesta temática ainda não existem consensos no que diz respeito aos critérios de normalidade, organização das variantes anatómicas ou a relevância clínica das mesmas. É por esta razão que consideramos mais apropriado utilizar a terminologia “variante” ao invés de “anomalia”. Evita-se assim uma possível associação errada entre anomalia coronária e patologia ou risco para o portador.

Problemas na Descrição e Nomenclatura das Variantes

Ao depararmo-nos com uma anatomia coronária irregular, podem surgir dúvidas na sua descrição e nomenclatura. Seguem-se clarificações sobre dois pontos pertinentes.

Seios aórticos

Os seios aórticos normais, como foi anteriormente referido, apelidam-se de direito e esquerdo, sendo os que dão origem, respectivamente, às artérias coronárias direita e esquerda. O seio que normalmente não origina nenhuma artéria coronária, é chamado de seio não coronário. Nas variantes anatómicas em que a origem das artérias coronárias está alterada, não é possível utilizar a origem de cada artéria para definir os seios. Um trabalho de Gittenberger de Groot et al. (1983) sobre a transposição dos grandes vasos propõe que se classifiquem os seios aórticos de forma diferente. Conhecida como convenção de Leiden, é aplicável ao coração normal. Considerando o seio aórtico mais afastado do tronco pulmonar (seio não coronário ou seio não adjacente), imaginando o observador de frente para o tronco pulmonar, este tem um seio de cada lado. No seu lado direito, encontra-se o seio #1 (corresponde ao seio aórtico direito que no coração normal origina a artéria coronária direita) e do seu lado esquerdo encontra-se o seio #2 (corresponde ao seio coronário esquerdo que no coração normal dá origem à artéria coronária esquerda). Para facilitar a leitura devido à familiaridade com a nomenclatura da anatomia sem alterações, esta será referida entre parêntesis.

Nomenclatura das artérias

Considera-se que o que caracteriza a artéria é a zona de miocárdio irrigado e não a sua origem ou trajecto proximal. Assim sendo considera-se a artéria coronária direita o vaso que fornece irrigação à parede livre do ventrículo direito, a artéria descendente anterior o vaso que irriga a porção anterior do septo interventricular e a artéria circunflexa o vaso que irriga a parede livre do ventrículo esquerdo. Refere-se ainda que as variações dos ramos que se originam a partir das 3 artérias principais (ramo descendente posterior, ramos diagonais, etc.) não alteram a definição das mesmas.

Variantes da Origem e Trajecto

Tabela 3 – variantes da origem e trajecto classificadas clinicamente como: relevante (**R**) quando existe uma relação entre patologia e a anatomia descrita, possivelmente relevante (**P**) quando não é clara a existência de relação entre patologia e anatomia e benigna (**B**) quando a anatomia é clinicamente irrelevante. Artéria coronária esquerda (CE), coronária direita (CD), circunflexa (CX) e descendente anterior (DA).

Característica das variantes da origem e trajecto		Relevância Clínica	
Ausência de tronco comum à esquerda		B	
Anomalia da localização do ostium na raiz aórtica (seio aórtico correcto)	Alta	P	
	Baixa	P	
	Comissural	P	
Origem ectópica	Artéria pulmonar ou um dos seus ramos	R	
	Aorta (excluindo a raiz) ou um dos seus ramos	B/P	
Localização do ostium no seio aórtico errado	CD com origem no seio 2 (esquerdo)	Trajecto retro-aórtico	B
		Trajecto inter arterial	R
		Trajecto Pré pulmonar	B
	CE com origem no seio 1 (direito)	Trajecto retro-aórtico	B
		Trajecto inter arterial	R
		Trajecto Pré pulmonar	B
	CX com origem no seio 1 (direito)	Trajecto retro-aórtico	B
		Trajecto retro-aórtico	B
	DA com origem no seio 1 (direito)	Trajecto inter arterial	R
		Trajecto Pré pulmonar	B
		Origem de artéria coronária ou ramo no seio posterior	B
	Artéria Coronária única		R

Ausência de tronco comum (na artéria coronária esquerda)

A ausência do tronco comum da coronária esquerda (figura 14), tendo as artérias circunflexa e descendente anterior uma origem directa no seio aórtico 2 (esquerdo), não é considerada uma alteração clinicamente significativa (Alemañ et al.,2008). É relativamente frequente, estimando-se presente em cerca de 1% da população (Matherne and Lim, 2008).

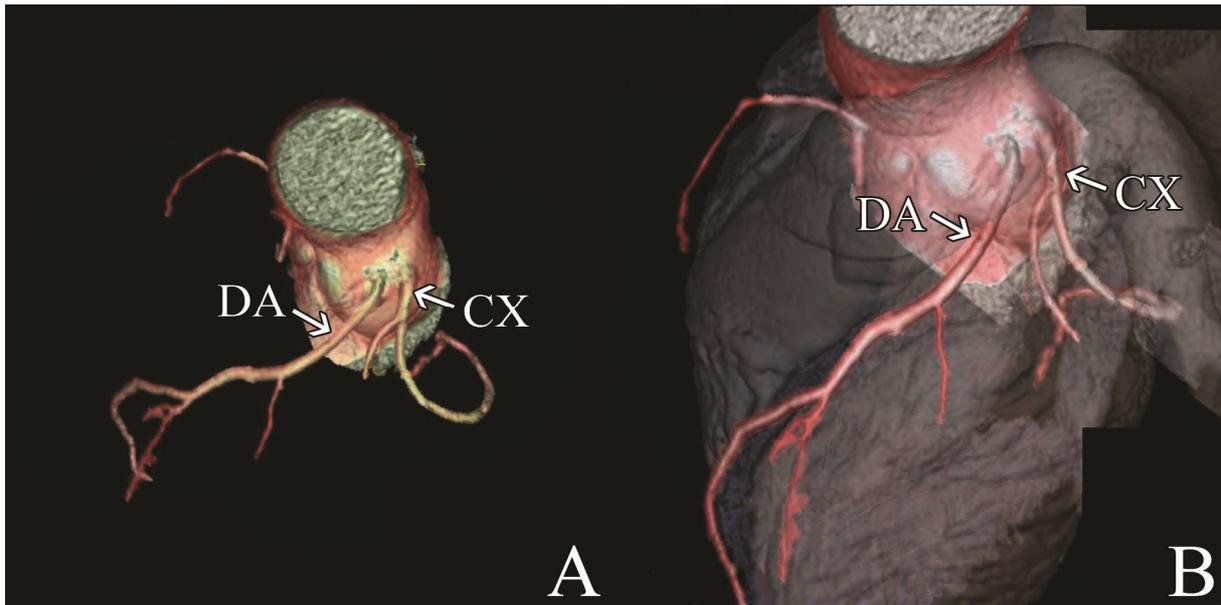


Fig. 14 – Reconstrução volumétrica de CTC de 64 cortes; vista antero superior esquerda (A) e vista antero superior esquerda com câmaras cardíacas à transparência (B); visualização da artéria descendente anterior (DA) e da artéria circunflexa (CX) com origem directa no seio 2 (esquerdo) traduzindo-se em ausência de tronco comum.

Origem das artérias em local anómalo da raiz aórtica (seio aórtico correcto)

A posição normal do ostium na raiz aórtica é sensivelmente a meio do seio aórtico. Há no entanto variantes que se desviam para baixo, para cima (até 1 cm para além da junção sinotubular) e na direcção das comissuras. Isoladamente, não aparentam ter significado patológico, porém, se ocorrem concomitantemente com um trajecto intramural na própria parede aórtica, este pode ter influência hemodinâmica (Loukas et al., 2009). Esta variante é considerada frequentemente dentro do arranjo anatómico normal (figura 4A).

Origem ectópica

Das várias hipóteses de origem ectópica de uma artéria coronária, destaca-se como sendo mais frequente a origem a partir da artéria pulmonar (síndrome de Bland-White-Garland) ou um dos seus ramos (Gonzalez-Angulo et al., 1966). Dentro destas, a origem da artéria coronária esquerda a partir do seio pulmonar posterior esquerdo é a combinação mais comum. Estima-se que 1 em cada 300000 recém-nascidos tenha este síndrome (Loukas et al., 2009). As implicações clínicas são produto do fornecimento de sangue da circulação pulmonar (venoso) ao invés de sangue da circulação sistémica (arterial, oxigenado). É potencialmente fatal se não for corrigido cirurgicamente, sendo que poucos são os casos em que não há manifestação de sintomatologia logo nos primeiros meses de vida. Mesmo nos indivíduos assintomáticos, existe um risco elevado de morte súbita, especialmente durante o exercício. (Matherne and Lim, 2008). Esta anomalia encontra-se normalmente de forma isolada, porem pode associar-se a deficiência no septo ventricular, tetralogia de Fallot ou coarctação da aorta.

Para além da artéria coronária esquerda, outros vasos coronários podem ter origem na artéria pulmonar ou um dos seus ramos: ambas as coronárias, descendente anterior, circunflexa ou coronária direita. Todas estas anomalias são bastante raras. O seu impacto clínico depende do território irrigado com sangue da artéria pulmonar (venoso) e da quantidade de ramos colaterais existentes entre as coronárias. Uma análise mais profunda destes casos vai para além dos objectivos do trabalho.

As variantes em que alguma artéria coronária tem origem na árvore arterial sistémica são comparáveis às variantes de origem no seio aórtico errado (Loukas et al., 2009), mas são bastante raras. A maioria envolve a origem na parede da aorta ascendente ou tronco braquiocefálico (Santucci et al., 2001). Encontram-se descritos casos com origem na artéria torácica interna (Robicsek et al., 1967). Estas origens não se encontram correlacionadas com

patologia, no entanto, devido à sua baixa frequência, não se podem retirar conclusões e deverá-se avaliar caso a caso.

Origem no seio aórtico errado

Como já foi discutido, a nomenclatura dos seios aórticos como seio 1 (direito) e seio 2 (esquerdo) permite uma identificação inequívoca da origem de uma variante coronária. Para além da origem, é necessário ter em conta o trajecto proximal da artéria, nomeadamente em relação à aorta e à artéria pulmonar. Consideram-se 3 trajectos possíveis: retro aórtico, inter arterial e pré pulmonar. Existem descrições de um quarto trajecto, chamado de trans septal (Angelini et al. 2002) porém, este não é considerado por todos os autores (Loukas et al., 2009). De todas as combinações possíveis, as que contemplam um trajecto inter arterial (figuras 15 e 16) são as de maior relevância clínica.

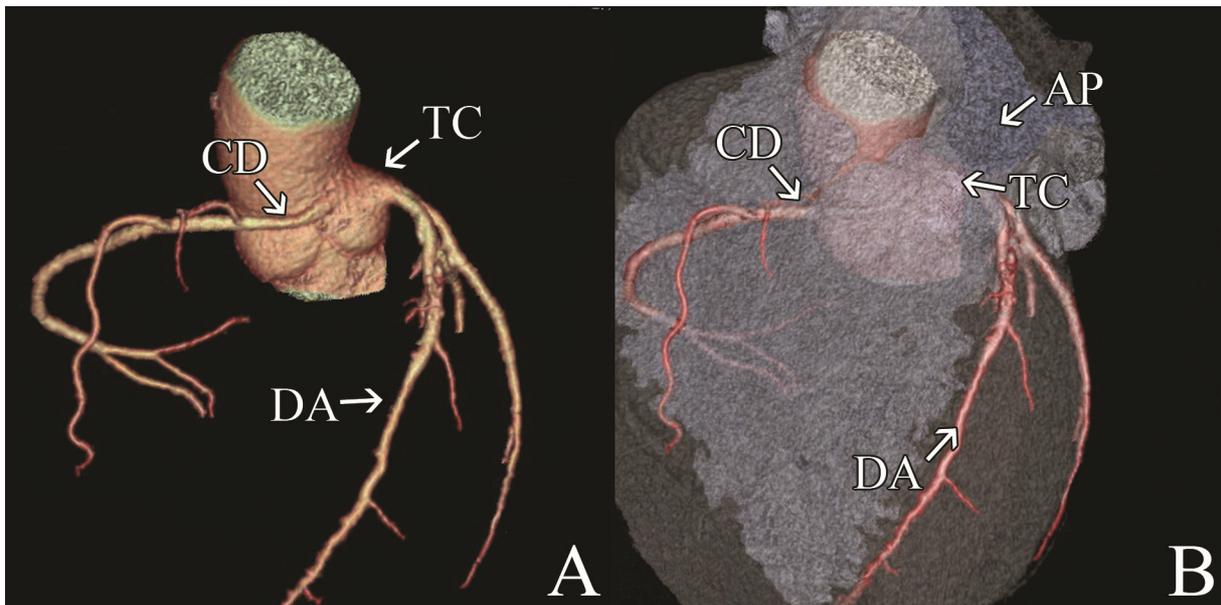


Fig. 15 – Reconstrução volumétrica de CTC de 64 cortes; vista antero superior esquerda (A) com câmaras cardíacas à transparência (B); visualização da artéria coronária direita com origem no seio aórtico esquerdo e trajecto inter arterial, artéria pulmonar à transparência (AP), tronco comum (TC) e descendente anterior (DA).

Nos trajectos inter arteriais, são mais frequentes a origem da artéria coronária direita no seio aórtico 2 (esquerdo), como pode ser observado nas figuras 15 e 16, ou a origem da artéria coronária esquerda a partir do seio aórtico 1 (direito).

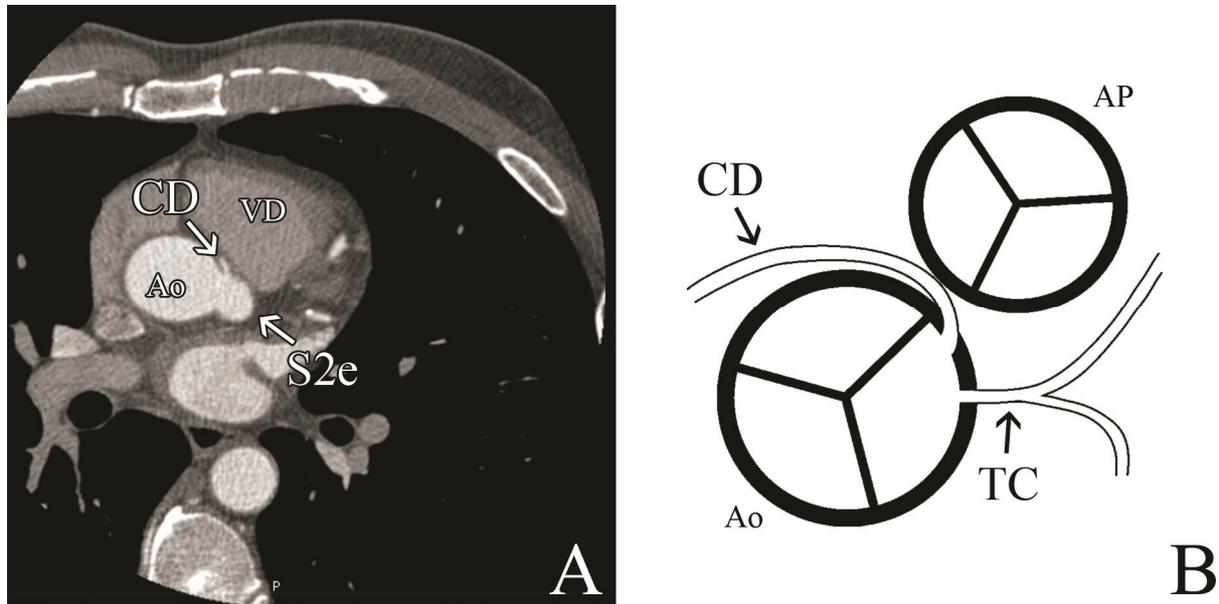


Fig. 16 – Imagem axial de CTC de 64 cortes (A) e esquema dos vasos em vista inferior (B); visualização da aorta (Ao), artéria pulmonar (AP), câmara de saída do ventrículo direito (VD), tronco comum (TC) e coronária direita (CD) com trajecto inter arterial e origem no seio aórtico 2 (esquerdo) (S2e).

Porém, é também possível que uma artéria coronária, ou um ramo, tenha origem num tronco arterial, ao invés de directamente no seio aórtico oposto. Observamos esse caso na figura 21 em que um ramo da artéria coronária direita, após um trajecto inter arterial, classifica-se como uma variante de duplicação coronária, mais precisamente, da artéria descendente anterior.

Um trajecto inter arterial encontra-se associado a isquémia miocárdica, enfarte e a situações de morte súbita, particularmente em atletas jovens (Duran et al., 2006; Alemañ et al., 2008; Matherne and Lim, 2008).

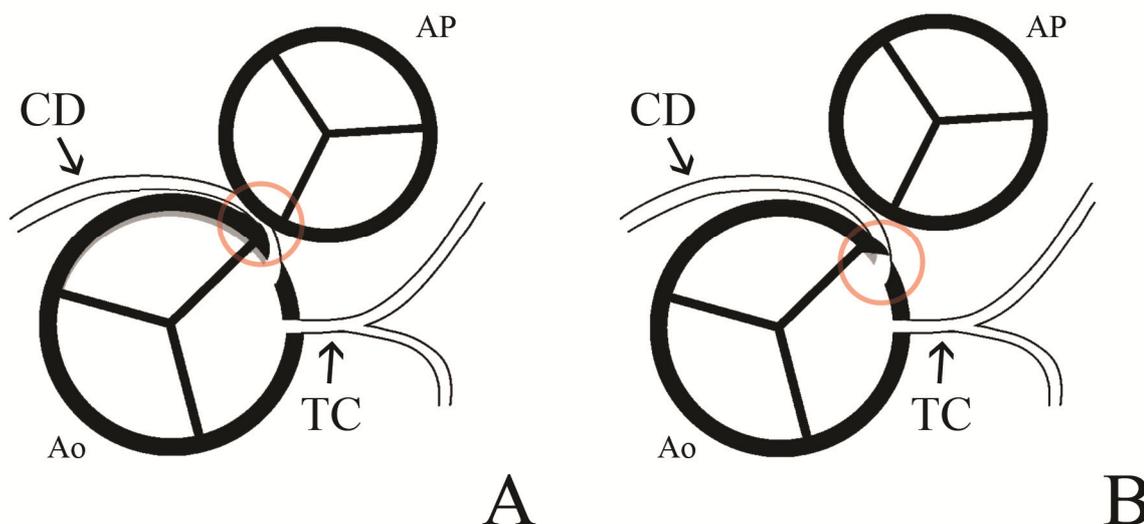


Fig. 17 – Esquema de variante da origem das artéria coronária em vista inferior, com 2 possíveis mecanismos de isquémia (A,B) sinalizados por circunferência vermelho transparente; visualização da aorta (Ao), artéria pulmonar (AP), tronco comum (TC) e coronária direita (CD) com origem no seio aórtico 2 (esquerdo) e trajeto inter arterial.

Uma hipótese explicativa para este fenómeno reside na constrição inata a que a artéria estaria sujeita ao passar entre a aorta e a artéria pulmonar (figura 17A), tornando-se mais pronunciada durante o exercício físico. Uma variante desta explicação postula que a distensão da raiz aórtica durante a diástole seria responsável pela diminuição da irrigação da coronária com trajeto inter arterial (figura 17B), por oclusão transitória do ostium (Angelini, 2007). Um trajeto intramural na parede do próprio seio aórtico é frequentemente um factor agravante nestes casos. O mecanismo exacto de diminuição do fluxo sanguíneo não se encontra totalmente esclarecido.

Os trajectos retro aórtico e pré pulmonar são considerados benignos. A origem da artéria circunflexa a partir do seio 1 (direito) é a situação que mais frequentemente adopta um trajeto retro aórtico, sem evidências de ter relevância clínica. O trajeto pré pulmonar verifica-se com maior frequência na origem a partir do seio 1 (direito) da artéria coronária

esquerda, ou do seu ramo descendente anterior. É uma alteração isoladamente benigna, porém é necessário ter em conta que encontra-se muitas vezes no contexto de outras alterações congénitas (tetralogia de fallot, transposição dos grandes vasos, etc.).

A origem de uma qualquer artéria coronária ou ramo a partir do seio posterior (não adjacente ou não coronário) é bastante rara e não está associada a um contexto patológico (Matherne, Lim, 2008).

Artéria coronária única

No advento de existir apenas uma artéria coronária a fornecer todo o miocárdio, esta pode ter origem no seio aórtico 1 (direito), ilustrado nas figuras 18 e 19, ou 2 (esquerdo). A forma como chega à zona da artéria que está no lado oposto ao seio aórtico cumpre os mesmos princípios em ambos os casos.

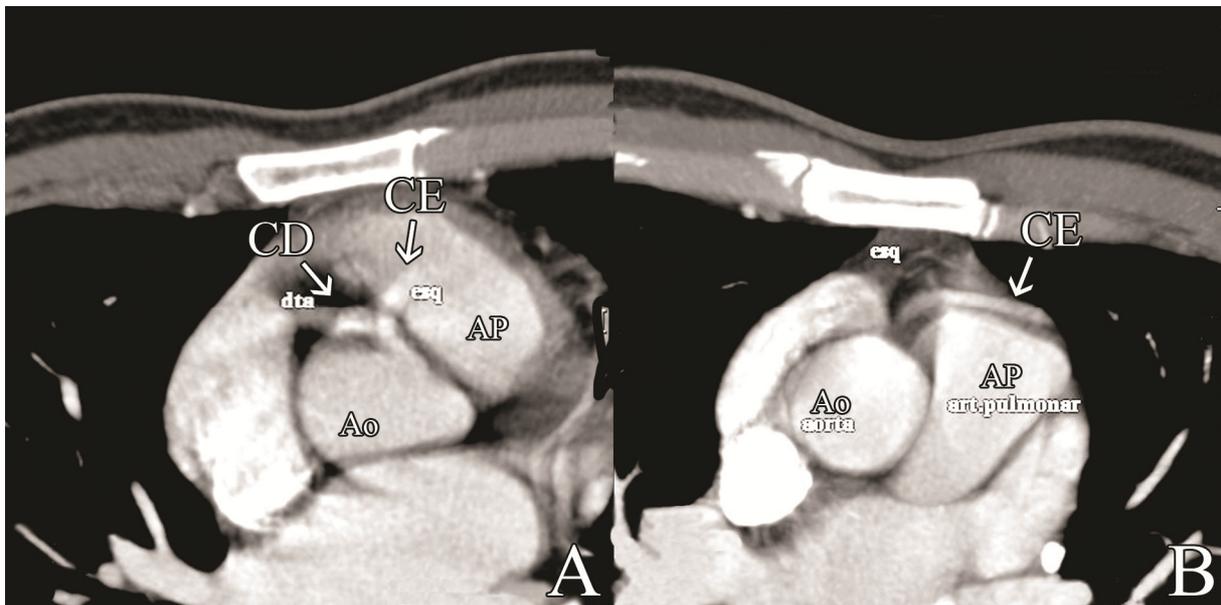


Fig. 18 – Imagens axiais de CTC de 4 cortes (A,B); visualização da aorta (Ao), artéria pulmonar (AP), tronco comum único, com origem no seio aórtico 1 (direito), a partir do qual se originam a coronária direita (CD) e coronária esquerda (CE) com trajecto pré pulmonar.

Quando a artéria coronária única origina-se no seio 1 (direito) pode: continuar-se no sulco aurículo-ventricular, fornecendo a artéria circunflexa e a artéria descendente anterior ou dar origem a um ramo que segue um trajeto retro aórtico, inter arterial ou pré pulmonar (figura 18 e 19), fornecendo então a artéria circunflexa e a artéria descendente anterior (à semelhança da origem da artéria coronária esquerda a partir do seio aórtico 1 (direito)).

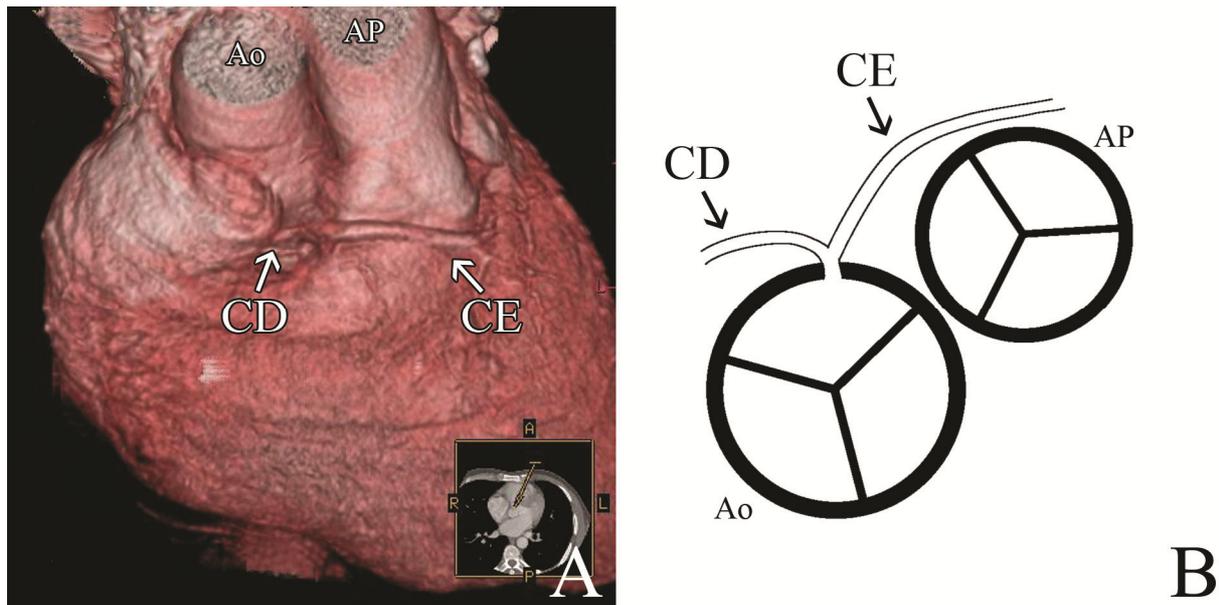


Fig. 19 – Reconstrução volumétrica de CTC de 4 cortes; vista antero superior com visualização de miocárdio (A) e esquema dos vasos em vista inferior (B); visualização da aorta (Ao), artéria pulmonar (AP) e artéria coronária única com origem no seio aórtico 1 (direito), a partir do qual se originam a coronária direita (CD) e coronária esquerda (CE) com trajeto pré pulmonar.

Na origem a partir do seio 2 (esquerdo) a artéria coronária direita pode originar-se por continuidade da circunflexa no sulco aurículo ventricular ou como ramo da artéria coronária esquerda, percorrendo trajectos iguais aos já referidos.

Apesar de ser geralmente assintomática, a presença de artéria coronária única é um factor prejudicial quando associada a aterosclerose grave ou embolismo agudo. As variantes que incluem trajectos inter arteriais são consideradas como tendo um maior risco de morte súbita. No entanto, outros padrões podem causar isquémia miocárdica. Por exemplo, um trajecto

retro aórtico, considerado na maior parte dos casos benigno, tem sido associado a um aparecimento prematuro de doença aterosclerótica (Samarendra et al., 2001), o que no caso de se tratar de uma artéria coronária única assume particular importância.

Variantes da Anatomia Coronária Intrínseca

Tabela 4 – variantes da anatomia coronária intrínseca classificadas clinicamente como: relevante (R) quando existe uma relação entre patologia e a anatomia descrita, possivelmente relevante (P) quando não é clara a existência de relação entre patologia e anatomia e benigna (B) quando a anatomia é clinicamente irrelevante. Artéria descendente anterior (DA).

Característica das variantes da anatomia coronária intrínseca	Relevância Clínica
Estenose ou atresia congénita do ostium	R
Artéria coronária intramural (ponte miocárdica)	P
Duplicação coronária DA + ramo septal proeminente	B
2 DA paralelas	B

Estenose ou atresia congénita do ostium

A estenose ou atresia congénita do ostium da artéria coronária esquerda é uma alteração extremamente rara. A idade de manifestação clínica nos doentes é variável, porém, acontece mais frequentemente em idade pediátrica através de morte súbita, angina de peito ou enfarte do miocárdio. Esta situação carece de tratamento cirúrgico, mesmo nos doentes assintomáticos, devido ao elevado risco de agravamento posterior (Musiani et al., 1997).

Artéria coronária intramural (ponte miocárdica)

As artérias coronárias normais descrevem um trajecto subepicárdico, na superfície do miocárdio. Os ramos que penetram no músculo cardíaco são normalmente perpendiculares à artéria de origem. Acontece porém que, não raras vezes, a própria artéria coronária define um

trajecto em que “mergulha” no miocárdio, voltando distalmente a um trajecto supepicárdico, realizando assim uma “ponta miocárdica. A incidência presente em estudos angiográficos varia entre 0,5% e 2,5% (Duran et al., 2006). No entanto, uma dissecação cuidadosa mostra esta variação em até 50% de corações normais (Loukas et al., 2009). O segmento médio da artéria descendente anterior é a localização mais frequente de pontes miocárdicas (Madureira, 2008).

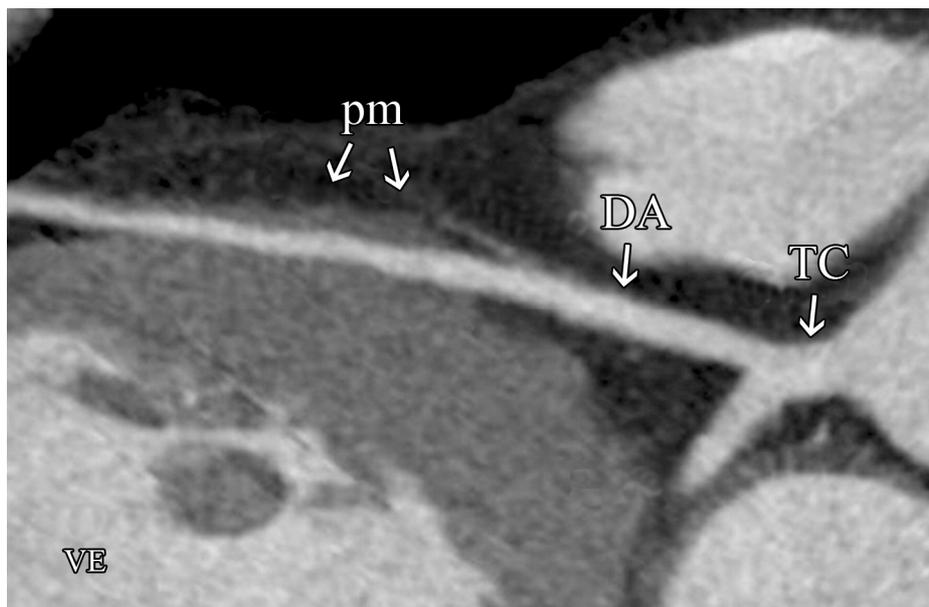


Fig. 20 – Reformatão mulplanar de CTC de 16 cortes; visualização da artéria descendente anterior (DA) com ponte miocárdica no seu trajecto (pm), tronco comum (TC) e ventrículo esquerdo (VE). Imagem original de Zeina et al. (2007).

É necessária uma cuidadosa avaliação do caso concreto, dado que na maioria das vezes não implicam alterações funcionais. A correcção cirúrgica deve ser ponderada quando há uma ponte bem definida e presença de isquémia na região presumivelmente afectada pela ponte. Uma ponte miocárdica comprime a artéria coronária habitualmente apenas durante a sístole, sem comprometer o seu fluxo, predominantemente diastólico. A explicação fisiopatológica para a presença de isquémia assenta na existência de pontes de miocárdio de tamanho considerável, com um relaxamento lento, provocando compressão também durante a diástole.

A presença de pontes miocárdicas foi correlacionada com uma predisposição para aterosclerose no segmento distal às referidas alterações (Zeina et al.,2007).

A correlação clínica destas alterações nem sempre é clara, sendo um assunto controverso na literatura (Alemañ et al.,2008).

Duplicação coronária

A duplicação coronária pode ocorrer em qualquer artéria coronária, é contudo mais frequente na artéria descendente anterior. O padrão normalmente envolvido compreende uma artéria curta, que termina proximalmente, no sulco interventricular e uma artéria longa que atinge o ápex. Existem casos em que a artéria descendente anterior adicional origina-se na artéria coronária direita (Duran et al., 2006), como podemos observar na figura 21.

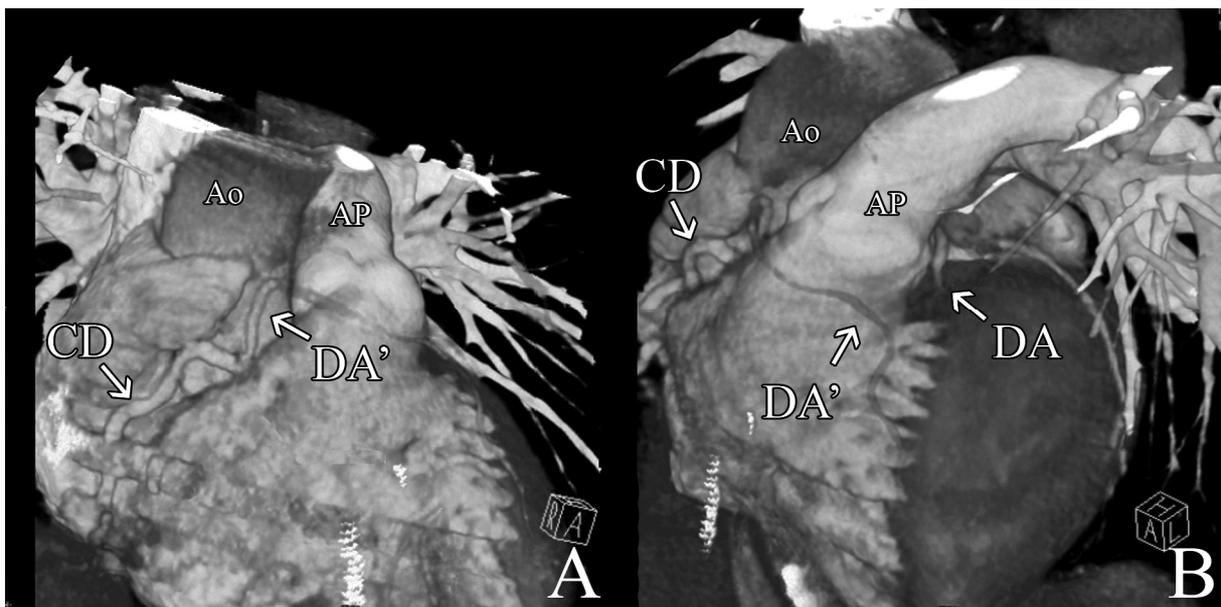


Fig. 21 – Reconstrução volumétrica de CTC de 16 cortes; vista anterior (A) e antero superior esquerda (B) com miocárdio e grandes vasos; visualização da aorta (Ao), artéria pulmonar (AP), coronária direita (CD), descendente anterior (DA) e ramo variante descendente anterior (DA') com origem na artéria coronária direita e trajecto inter arterial.

Se associada a malformações congénitas, como tetralogia de Fallot, é um dado importante durante a reparação cirúrgica. Isoladamente, é pouco provável que tenha impacto e relevância clínica (Loukas et al., 2009).

Variantes da Terminação Coronária

Tabela 5 – variantes da terminação coronária classificadas clinicamente como: relevante (R) quando existe uma relação entre patologia e a anatomia descrita, possivelmente relevante (P) quando não é clara a existência de relação entre patologia e anatomia, e benigna (B) quando a anatomia é clinicamente irrelevante.

Característica das variantes da terminação coronária	Relevância Clínica
Fístulas coronárias	R
Arcada coronária	B
Terminação extracardíaca	P

Fístulas coronárias

Uma fístula é definida como uma comunicação anormal entre uma artéria coronária e um seio coronário, uma câmara do coração ou a veia cava superior. Pode ser congénita ou adquirida. Em séries angiográficas aparece descrita em 0,1% a 0,2% dos indivíduos (Madureira, 2008). É mais frequente na artéria coronária direita, sendo que a comunicação é feita, por ordem de maior frequência, para o ventrículo direito, seguido da aurícula direita e da artéria pulmonar.

O efeito hemodinâmico é o de um shunt esquerdo-direito (excepto quando a terminação é no ventrículo ou aurícula esquerdos). A extensão da alteração hemodinâmica vai depender do local de drenagem bem como da resistência da própria fístula, o que por sua vez influencia a apresentação clínica.

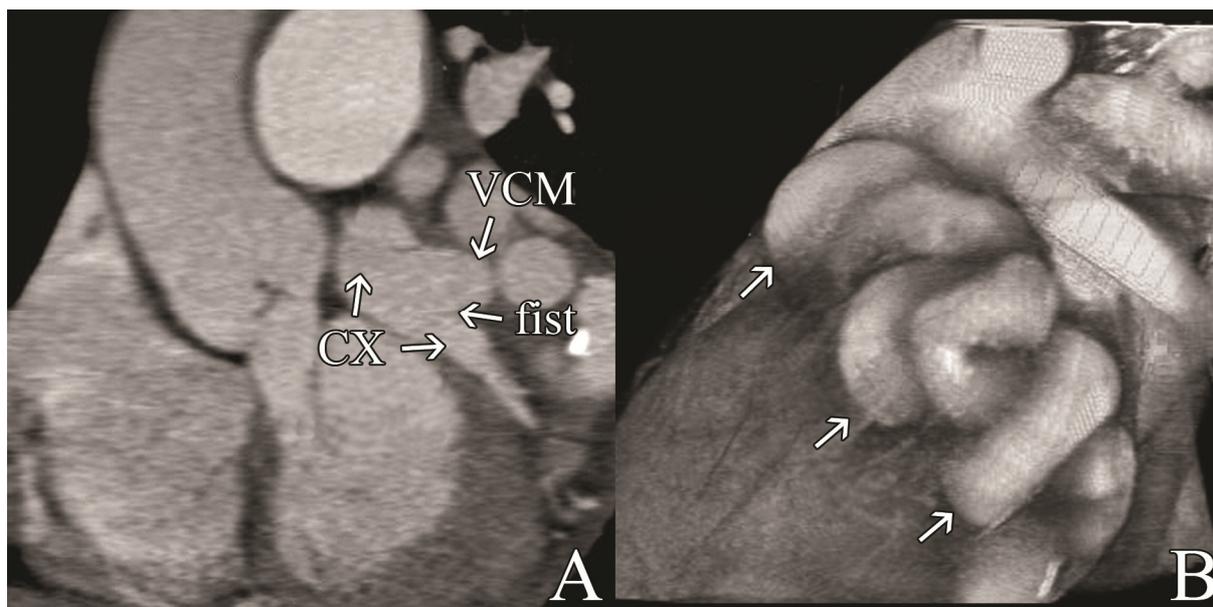


Fig. 22 – Reformatação mulplanar (A) e reconstrução volumétrica lateral esquerda (B) de CTC de 16 cortes; visualização da artéria circunflexa (CX) dilatada e com trajecto tortuoso (setas a branco; imagem B) devido a fístula para a veia cardíaca maior (VCM). Observa-se menor calibre distal à fístula (fist) da artéria circunflexa (CX). Imagens originais de Datta et al. (2005).

A presença de isquémia cardíaca e/ou enfarte miocárdico resultam de um fenómeno de “roubo” ou ruptura de um aneurisma. Cerca de metade dos portadores são assintomáticos (Levin et al., 1978), porém, a presença de fístula condiciona um risco de complicações cardíacas (endocardite, insuficiência cardíaca congestiva, enfarte miocárdio e morte súbita) que aumenta com a idade, pelo que deve ser considerada a hipótese de tratamento cirúrgico (Sağlam et al., 2008).

Arcada coronária

É uma situação rara, em que existe uma comunicação entre as duas artérias coronárias principais, sem presença de estenose. Ao contrário dos ramos colaterais, que apresentam um trajecto tortuoso, neste caso as artérias têm um trajecto proeminentemente a direito. Não existe descrição de qualquer alteração patológica na literatura associada a esta variante.

Terminação extracardiaca

Alteração também rara, pode envolver artérias bronquiais, pericárdicas ou mamária interna, entre outras. Funcionalmente é significativa quando existe um gradiente de pressão entre os vasos, pelo que necessita de uma análise caso a caso.

Conclusão

A tomografia computadorizada multi-corte possibilita uma excelente visualização da anatomia coronária e suas variantes de origem, trajecto e terminação. A combinação de uma excelente resolução temporal e espacial com a capacidade de visualização tridimensional colocam a coronariografia por tomografia computadorizada na primeira linha do diagnóstico e avaliação das variantes da anatomia coronária. As potencialidades da tomografia computadorizada neste contexto não estão esgotadas; a constante evolução tecnológica promete um alargamento das suas capacidades e indicações.

O conhecimento teórico da anatomia coronária, normal e suas variantes, é um requisito indispensável na avaliação dos exames de CTC. Só assim é possível uma correcta identificação e classificação das variantes das artérias coronárias, distinguindo as variantes clinicamente relevantes das demais. As alterações como a presença de trajecto inter arterial, artéria coronária única, origem ectópica, estenose do ostium, fístula e ponte de miocárdio não devem ser ignoradas pelo risco de manifestações clínicas graves, incluindo a morte súbita.

Agradecimentos

Ao Doutor Paulo Donato, orientador do trabalho, agradeço o acompanhamento e o apoio prestado. Acima de tudo, obrigado pela motivação que me transmitiu pela área da Imagiologia, que me permitiu não só desenvolver este trabalho, como também alargar os meus horizontes.

Uma palavra de apreço à Clínica Universitária de Radiologia dos Hospitais da Universidade de Coimbra e ao seu Director, Professor Doutor Filipe Caseiro Alves, pela disponibilização dos dados que permitiram a ilustração e o enriquecimento deste trabalho.

O meu sincero agradecimento a todas as pessoas que contribuíram directa ou indirectamente para a realização do trabalho.

Bibliografía

- Achenbach S, Ulzheimer S, Baum U, Kachelriess M, Ropers D, Giesler T, Bautz W, Daniel WG, Kalender WA, Moshage W (2000) Noninvasive coronary angiography by retrospectively ECG-gated multislice spiral CT. *Circulation* 102:2823-8.
- Alemañ GB, Burgos AA, Agüero PM, Rodríguez SC, Villoslada JC, Ezquerro EA (2008) Normal anatomy, anatomical variants, and anomalies of the origin and course of the coronary arteries on multislice CT. *Radiologia* 50:197-206.
- Alexander RW, Griffith GC (1956) Anomalies of the coronary arteries and their clinical significance. *Circulation* 14:800-5.
- Angelini P (2007) Coronary artery anomalies: an entity in search of an identity. *Circulation* 115:1296-305.
- Angelini P, Velasco JA, Flamm S (2002) Coronary anomalies: incidence, pathophysiology, and clinical relevance. *Circulation* 106:2449-54.
- Cerqueira MD, Weissman NJ, Dilsizian V, Jacobs AK, Kaul S, Laskey WK, Pennell DJ, Rumberger JA, Ryan T, Verani MS; American Heart Association Writing Group on Myocardial Segmentation and Registration for Cardiac Imaging (2002) Standardized myocardial segmentation and nomenclature for tomographic imaging of the heart. A statement for healthcare professionals from the Cardiac Imaging Committee of the Council on Clinical Cardiology of the American Heart Association. *Int J Cardiovasc Imaging* 18:539-42.
- Cheitlin MD, De Castro CM, McAllister HA (1974) Sudden death as a complication of the anomalous left coronary origin from the anterior sinus of Valsalva. *Circulation* 50:774-9.

- Click RL, Holmes DR Jr, Vlietstra RE, Kosinski AS, Kronmal RA (1989) Anomalous coronary arteries: location, degree of atherosclerosis and effect on survival--a report from the Coronary Artery Surgery Study. *J Am Coll Cardiol* 13:531-7.
- Coles DR, Smail MA, Negus IS, Wilde P, Oberhoff M, Karsch KR, Baumbach A (2006) Comparison of radiation doses from multislice computed tomography coronary angiography and conventional diagnostic angiography. *J Am Coll Cardiol* 47:1840-5.
- Datta J, White CS, Gilkeson RC, Meyer CA, Kansal S, Jani ML, Arildsen RC, Read K (2005) Anomalous coronary arteries in adults: depiction at multi-detector row CT angiography. *Radiology* 235:812-8.
- Gaemperli O, Schepis T, Valenta I, Koepfli P, Husmann L, Scheffel H, Leschka S, Eberli FR, Luscher TF, Alkadhi H, Kaufmann PA (2008) Functionally relevant coronary artery disease: comparison of 64-section CT angiography with myocardial perfusion SPECT. *Radiology* 248:414-23.
- Garg N, Tewari S, Kapoor A, Gupta DK, Sinha N (2000) Primary congenital anomalies of the coronary arteries: a coronary arteriographic study. *Int J Cardiol* 74:39-46.
- Gittenberger de Groot AC, Sauer U, Oppenheimer DA, Quaegebeur J (1983) Coronary arterial anatomy in transposition of the great arteries: A morphologic study. *Ped Cardiol* 4:15-24.
- Gonzalez-Angulo A, Reyes HA, Wallace SA (1966) Anomalies of the origin of coronary arteries. (Special reference to single coronary artery). *Angiology* 17:96-103.
- Greuter MJW, Flohr T, van Ooijen PMA, Oudkerk M (2007) A model for temporal resolution of multidetector computed tomography of coronary arteries in relation to rotation time, heart rate and reconstruction algorithm. *Eur Radiol* 17:784-812.

- Hausleiter J, Meyer T, Hadamitzky M, Huber E, Zankl M, Martinoff S, Kastrati A, Schömig A (2006) Radiation dose estimates from cardiac multislice computed tomography in daily practice: impact of different scanning protocols on effective dose estimates. *Circulation* 113:1305-10.
- Heron M, Hoyert DL, Murphy SL, Xu J, Kochanek KD, Tejada-Vera B (2009) Deaths: final data for 2006. *Natl Vital Stat Rep* 57:1-134.
- Herzog C, Nguyen SA, Savino G, Zwerner PL, Doll J, Nielsen CD, Flohr TG, Vogl TJ, Costello P, Schoepf UJ (2007) Does Two-Segment Image Reconstruction at 64-Section CT Coronary Angiography Improve Image Quality and Diagnostic Accuracy?. *Radiology* 244:121-9.
- Kacmaz F, Ozbulbul NI, Alyan O, Maden O, Demir AD, Balnay Y, Erbay AR, Atak R, Senen K, Olcer T, Ilkay E (2008) Imaging of coronary artery anomalies: the role of multidetector computed tomography. *Coronary Artery Disease* 19:203-9.
- Karaca M, Kirilmaz A, Oncel G, Oncel D, Yilmaz H, Tamci B, Gurcay B (2007) Contrast-enhanced 64-slice computed tomography in detection and evaluation of anomalous coronary arteries. *Tohoku J. Exp. Med.* 213:249-59.
- Kaufmann PA (2008) Low-Dose Computed Tomography Coronary Angiography With Prospective Triggering A Promise for the Future. *J Am Coll Cardiol* 52:1456-7.
- Levin DC, Fellows KE, Abrams HL (1978) Hemodynamically significant primary anomalies of the coronary arteries. Angiographic aspects. *Circulation* 58:25-34.
- Lipsett J, Cohle SD, Berry PJ, Russell G, Byard RW (1994) Anomalous coronary arteries: a multicenter pediatric autopsy study. *Pediatr Pathol* 14:287-300.
- Loukas M, Groat C, Khangura R, Owens DG, Anderson R (2009) The normal and abnormal anatomy of the coronary arteries. *Clinical Anatomy* 22:114-28.

- Ludinghausen MV (2003) *The Clinical Anatomy of Coronary Arteries*. New York: Springer.
- Madureira AJ. Scientific meeting ESCR 2008. *Coronary Arteries: Anatomy and Variants*; 16-18 Outubro 2008; Porto, Portugal.
- Maron BJ, Thompson PD, Puffer JC, McGrew CA, Strong WB, Douglas PS, Clark LT, Mitten MJ, Crawford MH, Atkins DL, Driscoll DJ, Epstein AE (1996) Cardiovascular preparticipation screening of competitive athletes. A statement for health professionals from the Sudden Death Committee (clinical cardiology) and Congenital Cardiac Defects Committee (cardiovascular disease in the young), American Heart Association. *Circulation* 94:850-6.
- Maruyama T, Takada M, Hasuike T, Yoshikawa A, Namimatsu E, Yoshizumi T (2008) Radiation Dose Reduction and Coronary Assessability of Prospective Electrocardiogram-Gated Computed Tomography Coronary Angiography: Comparison With Retrospective Electrocardiogram-Gated Helical Scan. *J Am Coll Cardiol* 52:1450–5.
- Matherne GP, Lim SD (2008) Congenital Anomalies of the Coronary Vessels and the Aortic Root. In: Moss and Adams' heart disease in infants, children, and adolescents (7th ed.), pp702-14. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins.
- McConnell MV, Ganz P, Selwyn AP, Li W, Edelman RR, Manning WJ (1995) Identification of anomalous coronary arteries and their anatomic course by magnetic resonance coronary angiography. *Circulation* 92:3158-62.
- Ministério da Saúde. Portal da saúde – Doenças Cardiovasculares [documento da Internet]. Lisboa: Ministério da Saúde; 1 de Outubro de 2009 [consultado a 11 de Março de 2010]. Disponível em: <http://www.min-saude.pt/portal/conteudos/enciclopedia+da+saude/doencas/doencas+do+aparelho+circulatorio/doencascardiovasculares.htm>

- Musiani A, Cernigliaro C, Sansa M, Maselli D, De Gasperis C (1997) Left main coronary artery atresia: literature review and therapeutical considerations. *Eur J Cardiothorac Surg* 11:505-14.
- Netter FH (1996) *Atlas de anatomia humana*. Porto Alegre: Artes Médicas.
- Ozgun M, Rink M, Hoffmeier A, Botnar RM, Heindel W, Fischbach R, Maintz D (2007) Intraindividual comparison of 3D coronary MR angiography and coronary CT angiography. *Acad Radiol* 14:910-6.
- Pannu HK, Flohr TG, Corl FM, Fishman EK (2003) Current concepts in multi-detector row CT evaluation of the coronary arteries: principles, techniques, and anatomy. *Radiographics* 23:S111-25.
- Pinho T, Leta R, Carreras F, Alomar X, Pons-Lladó G (2006) Assessment of coronary artery anomalies with multislice computed tomography. *Rev Port Cardiol* 25:641-5.
- Roberts WT, Bax JJ, Davies LC (2008) Cardiac CT and CT coronary angiography: technology and application. *Heart* 94:781-92.
- Robicsek F, Sanger PW, Daugherty HK, Gallucci V (1967) Origin of the anterior interventricular (descending) coronary artery and vein from the left mammary vessels. A previously unknown anomaly of the coronary system. *J Thorac Cardiovasc Surg* 53:602-4.
- Runza G, Grutta L, Galia M, Alaimo V, Evola S, Cademartiri F, Midiri M (2008) CT Anatomy of the Heart and Classification in Coronary Segments. In: *Clinical Applications of Cardiac CT* (Springer), pp175-95.
- Rybicki FJ, Otero HJ, Steigner ML, Vorobiof G, Nallamshetty L, Mitsouras D, Ersoy H, Mather RT, Judy PF, Cai T, Coyner K, Schultz K, Whitmore AG, Di Carli MF (2008) Initial evaluation of coronary images from 320-detector row computed tomography. *Int J Cardiovasc Imaging* 24:535-46.

- Sağlam H, Koçoğullari CU, Kaya E, Emmiler M (2008) Congenital coronary artery fistula as a cause of angina pectoris. *Turk Kardiyol Dern Ars* 36:552-4.
- Samarendra P, Kumari S, Hafeez M, Vasavada BC, Sacchi TJ (2001) Anomalous circumflex coronary artery: benign or predisposed to selective atherosclerosis. *Angiology* 52:521-6.
- Santucci PA, Bredikis AJ, Kavinsky CJ, Klein LW (2001) Congenital origin of the left main coronary artery from the innominate artery in a 37-year-old man with syncope and right ventricular dysplasia. *Catheter Cardiovasc Interv* 52:378-81.
- Scanlon PJ, Faxon DP, Audet AM, Carabello B, Dehmer GJ, Eagle KA, et al (1999) ACC/AHA Guidelines for Coronary Angiography: Executive Summary and Recommendations. A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee on Coronary Angiography) Developed in collaboration with the Society for Cardiac Angiography and Interventions. *Circulation* 99:2345-57.
- Schmitt R, Froehner S, Brunn J, Wagner M, Brunner H, Cherevatyy O, Gietzen F, Christopoulos G, Kerber S, Fellner F (2005) Congenital anomalies of the coronary arteries: imaging with contrast-enhanced, multidetector computed tomography. *Eur Radiol* 15:1110-21.
- Schuijf JD, Bax JJ, Shaw LJ, de Roos A, Lamb HJ, van der Wall EE, Wijns W (2006) Meta-analysis of comparative diagnostic performance of magnetic resonance imaging and multislice computed tomography for noninvasive coronary angiography. *Am Heart J* 151:404-11.
- Sinha A, Mahnken AH, Borghans A, Krüger S, Koos R, Dedden K, Wildberger JE, Hoffman R (2006) Multidetector-row computer tomography vs. angiography and intravascular

ultrasound for the evaluation of the diameter of proximal coronary arteries. *Int J Cardiol* 110:40-5.

Stolzmann P, Scheffel H, Schertler T, Frauenfelder T, Leschka S, Husmann L, Flohr TG, Marincek B, Kaufmann PA, Alkadhi H (2008) Radiation dose estimates in dual source computed tomography coronary angiography. *Eur Radiol* 18:592–9.

Sundaram B, Patel S, Bogot N, Kazerooni EA (2009) Anatomy and terminology for the interpretation and reporting of cardiac MDCT: part I, structured report, coronary calcium screening and coronary artery anatomy. *AJR* 192:574-83.

Taylor AM, Thorne SA, Rubens MB, Jhooti P, Keegan J, Gatehouse PD, Wiesmann F, Grothues F, Somerville J, Pennell DJ (2000) Coronary artery imaging in grown up congenital heart disease: complementary role of magnetic resonance and x-ray coronary angiography. *Circulation* 101:1670-8.

Yamanaka O, Hobbs RE (1990) Coronary artery anomalies in 126,595 patients undergoing coronary angiography. *Cathet Cardiovasc Diagn* 21:28-40.

Zeina AR, Odeh M, Blinder J, Rosenschein U, Barmeir E (2007) Myocardial bridge: evaluation on MDCT. *AJR Am J Roentgenol* 188:1069-73.

Zimmermann E, Schnapauff D, Dewey M (2008) Cardiac and coronary anatomy in computed tomography. *Seminars in Ultrasound CT and MRI* 29:176-81.

Ilustração do trabalho com recurso à base de dados da Clínica Universitária de Radiologia dos Hospitais da Universidade de Coimbra.