

- [14] Maintz D, Sefarh H, Raupach R, et al. 64-slice multidetector coronary CT angiography : in vitro evaluation of 68 different stents. *Eur Radiol* 2006;16:818–26.
- [15] Collet C, Chevalier B, Cequier A, et al. Diagnostic Accuracy of Coronary CT Angiography for the Evaluation of Bioresorbable Vascular Scaffolds. *JACC Cardiovasc Imaging* 2018;11:722–32.
- [16] Van Mieghem CA, Cademartiri F, Mollet NR, et al. Multislice spiral computed tomography for the evaluation of stent patency after left main coronary artery stenting : a comparison with conventional coronary angiography and intravascular ultrasound. *Circulation* 2006;114:645–53.
- [17] Andreini D, Pontone G, Bartorelli AL, et al. Comparison of feasibility and diagnostic accuracy of 64-slice multidetector computed tomographic coronary angiography versus invasive coronary angiography versus intravascular ultrasound for evaluation of in-stent restenosis. *Am J Cardiol* 2009;103:1349–58.
- [18] Lim HB, Hur G, Kim SY, Kim YH, et al. Coronary stent fracture : detection with 64-section multidetector CT angiography in patients and in vitro. *Radiology* 2008;249:810–9.
- [19] Ebersberger U, Tricarico F, Schoepf UJ, et al. CT evaluation of coronary artery stents with iterative image reconstruction : improvements in image quality and potential for radiation dose reduction. *Eur Radiol* 2013;23:125–32.
- [20] Geyer LL, Schoepf UJ, Meinel FG, et al. State of the Art : Iterative CT Reconstruction Techniques. *Radiology* 2015;276:339–57.
- [21] Liu WJ, Li GZ, Liu HF, et al. Diagnostic accuracy of dual-source computed tomography angiography for the detection of coronary in-stent restenosis : A systematic review and meta-analysis. *Echocardiography* 2018;35:541–50.
- [22] Yue J, Chen J, Dou W, et al. Comparative analysis between 64- and 320-slice spiral computed tomography in the display of coronary artery stents and diagnosis of in-stent restenosis. *Exp Ther Med* 2015;10:1871–6.
- [23] Sado DM, Bull RK, Radvan JR. Computed tomography to visualise a left coronary artery main stem stent. *Heart* 2006;92:1759.
- [24] Juwana YB, Wirianta J, Suryapranata H, et al. Left main coronary artery stenosis undetected by 64-slice computed tomography : a word of caution. *Neth Heart J* 2007;15:255–6.
- [25] Jehl J, Comte A, Aubry S, et al. Clinical safety of cardiac magnetic resonance imaging at 3 T early after stent placement for acute myocardial infarction. *Eur Radiol* 2009;19:2913–8.
- [26] Ferreira PF, Gatehouse PD, Mohiaddin RH, et al. Cardiovascular magnetic resonance artefacts. *J Cardiovasc Magn Reson* 2013;15:41.
- [27] Von zur Mühlen C, Reiss S, Krafft A, et al. Coronary magnetic resonance imaging after routine implantation of bioresorbable vascular scaffolds allows non-invasive evaluation of vascular patency. *PLoS One* 2018;13:e0191413.
- [28] Nagel E, Thouet T, Klein C, et al. Noninvasive determination of coronary blood flow velocity with cardiovascular magnetic resonance in patients after stent deployment. *Circulation* 2003;107:1738–43.
- [29] Goldman S, Zadina K, Moritz T, et al. Long term patency of saphenous vein and left internal mammary artery grafts after coronary artery bypass surgery : results from a Department of Veterans Affairs Cooperative Study. *J Am Coll Cardiol* 2004;44:2149–56.
- [30] Chan M, Ridley L, Dunn DJ, et al. A systematic review and meta-analysis of multidetector computed tomography in the assessment of coronary artery bypass grafts. *Int J Cardiol* 2016;221:898–905.
- [31] Pesenti-Rossi D, Baron N, Georges JL, et al. Assessment of coronary-bypass graft patency by first-line multi-detector computed tomography. *Annales de cardiologie et d'angéiologie* 2014;63:284–92.
- [32] Mushtaq S, Conte E, Pontone G, et al. Interpretability of coronary CT angiography performed with a novel whole-heart coverage high-definition CT scanner in 300 consecutive patients with coronary artery bypass grafts. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2020;14(2):137–43.
- [33] Bunce NH, Lorenz CH, John AS, et al. Coronary artery bypass graft patency : assessment with true fast imaging with steady-state precession versus gadolinium-enhanced MR angiography. *Radiology* 2003;227:440–6.

5.7 Anomalies de connexion des artères coronaires responsables d'ischémie myocardique

Pierre Aubry^{18,19}, Fabien Hyafil¹⁸, Phalla Ou¹⁹

Rappels cliniques

Les anomalies de connexion des artères coronaires (ANOCOR) sont des anomalies congénitales non exceptionnelles (prévalence angiographique globale proche de 1 %) dont la majorité reste silencieuse [1]. Seules certaines anomalies (les connexions aortiques avec un trajet interartériel et les très rares connexions pulmonaires) peuvent donner une symptomatologie d'allure ischémique [2]. Les études anatomopa-

thologiques sur la mort subite associée à une ANOCOR ont montré une prévalence élevée du trajet interartériel (passage entre l'aorte et l'artère pulmonaire), parfois associé à un passage intramural aortique [3].

Une revue de 100 000 coroscanners a rapporté une prévalence d'ANOCOR avec un trajet interartériel de 0,3 % pour la coronaire gauche et 3,2 % pour la coronaire droite [4]. Chez près de 5 000 adolescents candidats à une pratique sportive, une IRM a identifié une vingtaine d'ANOCOR avec un trajet interartériel, avec une prévalence de 0,4 % pour la coronaire gauche et de 3,2 % pour la coronaire droite [5]. Un dépistage systématique par IRM a trouvé 3 ANOCOR droites à risque (1 %) chez 335 sujets sains avec une imagerie analysable [6].

Parmi la population générale ayant une ANOCOR à risque, une infime partie succomberait à une mort subite, et une faible part présenterait une symptomatologie d'allure ischémique. Une difficulté non rare est de rapporter la symptomatologie décrite à l'anomalie coronaire. Si un lien de causalité est établi, une correction peut être proposée [7]. La présentation clinique peut être un angor, mais aussi une précordialgie, une blockpnée, des palpitations, une lipothymie ou une syncope, avec un lien privilégié avec les efforts physiques sportifs avant l'âge de 30 ans. Une mort

¹⁸ Rédaction.

¹⁹ Validation.

subite ou un arrêt cardiaque récupéré peuvent être le premier événement clinique, mais exceptionnellement après l'âge de 35 ans. Les mécanismes conduisant à une fibrillation ventriculaire, souvent fatale, sont encore mal identifiés, mais une participation ischémique est vraisemblable [8]. Après l'âge de 35 ans, une symptomatologie est possible, avec la particularité d'une difficulté à documenter une ischémie myocardique. Aussi, il est préférable de parler de symptomatologie d'allure ischémique n'incluant pas forcément une preuve d'ischémie myocardique. L'absence de cette dernière n'est pas corrélée à une absence de risque de mort subite [9].

Chez l'adulte, de nombreuses ANOCOR sont découvertes fortuitement. En cas de lésions athéromateuses associées, il faut déterminer la responsabilité respective de la pathologie acquise et de l'anomalie congénitale. Pour les anomalies de connexion au niveau pulmonaire, une symptomatologie d'effort (dyspnée/angor) est fréquente, souvent associée à une ischémie myocardique documentée. La prévalence des ANOCOR pulmonaires est estimée à 1/300 000 naissances [2]. Dans le registre observationnel ANOCOR colligeant près de 500 anomalies chez l'adulte, seules 4 ANOCOR pulmonaires (0,8 %) ont été identifiées [10]. Ce texte n'aborde pas les ANOCOR de l'enfant et celles associées à une autre pathologie cardiaque structurelle congénitale.

Technique d'imagerie

- La tomodensitométrie (TDM) coronaire ou coroscanner est la méthode de référence pour le diagnostic précis d'une ANOCOR chez l'adulte. En plus de l'identification de l'artère concernée, du site de connexion et du type de trajet ectopique, elle permet la recherche de critères anatomiques de sévérité. Le scanner coronaire est utile aussi pour contrôler une correction d'ANOCOR.
- L'imagerie par résonance magnétique (IRM) cardiaque n'a qu'une place limitée chez l'adulte, car ses performances diagnostiques pour l'analyse du trajet ectopique sont nettement inférieures à celles du scanner coronaire. Elle peut être proposée pour rechercher des zones myocardiques de fibrose (IRM de repos) ou une diminution de la perfusion myocardique dans le territoire de l'ANOCOR (IRM de stress).

Tomodensitométrie

Le coroscanner doit être réalisé avec des systèmes de 3^e génération (64 détecteurs) ou mieux avec les derniers appareils de 4^e génération (256 à 320 détecteurs permettant de couvrir 16 cm en une rotation). Une voie veineuse de bon calibre est nécessaire pour permettre une injection du contraste à haut débit (5 mL/s). La fréquence cardiaque doit être maintenue si possible en dessous de 65 bpm pour limiter au maximum les artefacts de mouvements cardiaques. Un traitement par un bêtabloquant (*per os* et/ou par voie intraveineuse) peut être prescrit si besoin, ainsi qu'une à deux bouffées sublin-

guales de trinitrine juste avant l'examen pour obtenir une vasodilatation coronaire. L'examen TDM est réalisé avec une synchronisation ECG, si possible en mode prospectif pour limiter l'irradiation, pendant l'injection intraveineuse périphérique d'agent de contraste iodé (concentration 350 à 400 mg I/mL, 50 à 90 mL selon le poids). L'acquisition est déclenchée à la phase artérielle (détection du contraste dans l'aorte ascendante habituellement > 200 UH). La durée d'examen d'un scanner coronaire est de 10 minutes, dont moins d'une minute pour l'acquisition TDM.

IRM

Les séquences de base à acquérir sont les suivantes :

- séquence de repérage, en temps réel afin d'acquérir les vrais axes anatomiques du cœur ;
- séquence T2 sang noir avec saturation de la graisse ou encore une séquence STIR en apnée couvrant le VG en petit axe permettant de caractériser le myocarde en contraste spontané ;
- séquences ciné-IRM SSFP acquises en apnée avant ou après injection d'agent de contraste en petit axe, long axe du ventricule gauche (2 et/ou 3 cavités) et 4 cavités ;
- séquence de perfusion de repos de 1^{er} passage, multicoupe et multiplan permettant de couvrir tout le VG après un bolus intraveineux de 0,2 mmol/kg de chélate de gadolinium ;
- optionnelle : séquence de perfusion de stress de 1^{er} passage sous vasodilatation pharmacologique par injection intraveineuse d'adénosine ou de régadénoson ;
- séquence de rehaussement tardif (*Late Gadolinium Enhancement* ou LGE) acquise 5–7 minutes après l'injection du produit de contraste en petit axe, long axe et 4 cavités (acquisitions 2D ou 3D, en apnée ou en respiration libre). Des séquences PSIR (*Phase-Sensitive Inversion Recovery*) viennent compléter le cas échéant les séquences tardives ci-dessus lorsque le myocarde « normal » n'est pas correctement éteint ;
- optionnelle : séquence T1 *mapping* pour éventuellement aider à identifier avec une plus grande sensibilité une région de remodelage anormal telle qu'une fibrose interstitielle dans le myocarde. Après injection, il est possible d'estimer le volume extracellulaire qui est augmenté en cas de fibrose. Son intérêt clinique n'est cependant pas encore validé en cas d'ANOCOR.

La durée de l'examen IRM cardiaque est en moyenne de 40 minutes.

Éléments à analyser

Tomodensitométrie

L'analyse TDM se porte d'abord sur les coupes axiales à la recherche des ostia coronaires en situation habituelle dans le sinus aortique approprié, avec une position proche de 11 h pour la coronaire droite et de 5 h pour la coronaire gauche. L'absence d'un ostium en position habituelle doit faire rechercher une ANOCOR. Les images TDM sont

analysées à l'aide d'une reconstruction 3D MPR et de l'outil triple oblique en plaçant un des axes parallèle au plan de la valve aortique et les autres dans l'axe de l'aorte ascendante. L'ascension progressive de l'axe parallèle au plan de la valve aortique le long de l'aorte ascendante permet de confirmer la connexion anormale d'une artère coronaire. L'étape suivante est de classer l'ANOCOR selon des critères anatomiques :

- l'artère concernée;
- le site de connexion;
- le trajet initial par rapport aux troncs artériels;
- le degré de déformation artérielle.

Toutes les artères coronaires peuvent être concernées, et on peut observer parfois 2 ANOCOR chez un même patient. L'artère circonflexe est la plus concernée (50 % des cas), suivie par la coronaire droite (30 % des cas) et le tronc commun ou l'artère interventriculaire antérieure (20 % des cas). Le type de connexion doit être précisé : ostium séparé, ostium contigu à l'ostium controlatéral, ou connexion dans la coronaire controlatérale. Dans 90 % des cas, la connexion ectopique se situe dans le sinus aortique controlatéral ou l'artère controlatérale (avec une répartition 50/50). Les autres sites

de connexion peuvent être le sinus aortique approprié, le sinus aortique non coronaire, l'aorte tubulaire (> 5 mm de la jonction sinotubulaire aortique), ou le tronc pulmonaire ou une de ses branches.

L'artère coronaire unique, exceptionnelle, est caractérisée par un seul ostium sans trajet ectopique par rapport aux troncs artériels avec une artère sans ostium remplie de manière rétrograde par l'artère controlatérale (fig. 5.48).

Une forme rarement rencontrée, difficile à classer, est liée à une rotation anatomique horaire de l'aorte avec une position décalée de la coronaire droite qui se trouve devant l'artère pulmonaire, et donc avec un court trajet interartériel (fig. 5.49).

L'identification du trajet initial, avec 4 possibilités, est primordiale car l'évaluation du risque en dépend [11] :

- deux trajets sont reconnus facilement :
 - le trajet prépulmonaire toujours long, passant sur la paroi de l'infundibulum pulmonaire et du tronc pulmonaire (fig. 5.50),
 - le trajet rétroaortique assez long, passant entre l'aorte et l'oreillette gauche (fig. 5.51);
- les deux autres trajets ne doivent pas être confondus car leur signification pronostique est très différente [1, 2] :

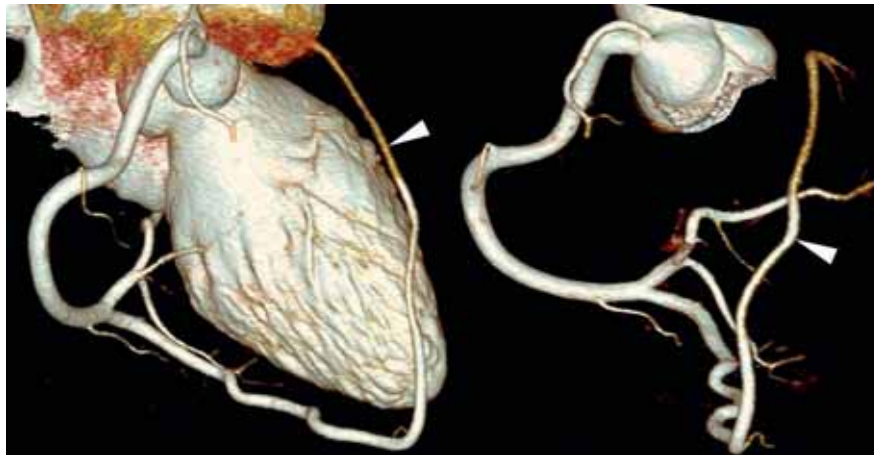


Fig. 5.48 Artère coronaire unique. Images TDM (rendu volumique) d'une artère coronaire unique avec absence d'ostium gauche et remplissage de l'artère interventriculaire antérieure (têtes de flèches) par l'artère coronaire droite. À noter l'absence de trajet ectopique au niveau des troncs artériels.

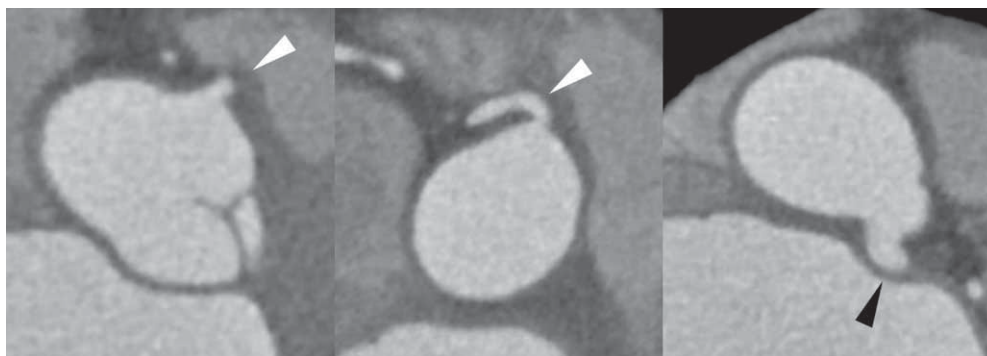


Fig. 5.49 Rotation aortique antihoraire. Images TDM (coupe axiale et reconstruction 3D) d'une artère coronaire droite (têtes de flèches blanches) connectée dans le sinus approprié en face de l'infundibulum en raison d'une rotation aortique antihoraire. À noter une connexion très postérieure de l'artère coronaire gauche (tête de flèche noire).

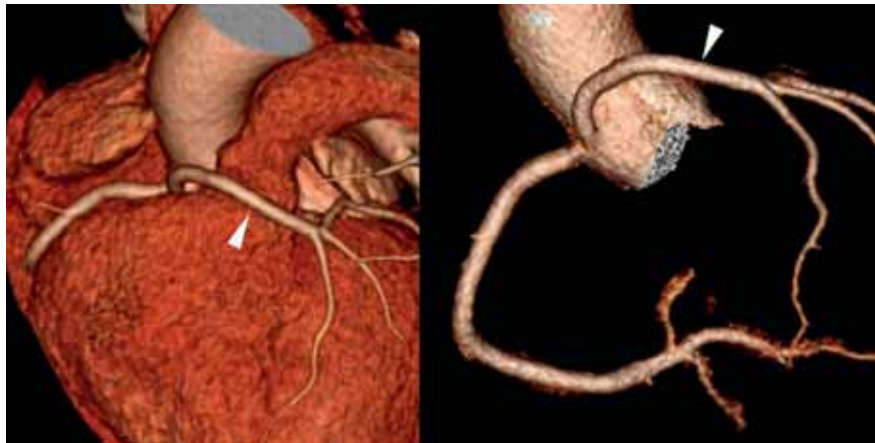


Fig. 5.50 Tronc commun ectopique avec trajet prépulmonaire. Images TDM (rendu volumique) d'un tronc commun connecté dans le sinus droit avec un trajet prépulmonaire (têtes de flèches).



Fig. 5.51 Tronc commun avec trajet rétroaortique. Image TDM (reconstruction 3D) d'un tronc commun connecté dans le sinus droit avec un trajet rétroaortique (tête de flèche).

- le trajet rétropulmonaire est assez long avec un court passage devant le sinus aortique non approprié, puis une descente derrière l'infundibulum pulmonaire avant une remontée en contact direct avec le myocarde vers le sillon interventriculaire (fig. 5.52). À ce niveau-là, la coronaire peut avoir un trajet intramyocardique plus ou moins profond (fig. 5.53),
- le trajet interartériel n'est jamais très long avec un passage entre l'aorte et le tronc pulmonaire (fig. 5.54). Un trajet interartériel ne passe jamais sous l'anneau aortique au contraire d'un trajet rétropulmonaire (fig. 5.55).

La distinction entre ces deux derniers trajets, parfois confondus, peut être confirmée si besoin par un centre expert, car les erreurs d'interprétation ne sont pas rares [10].

- Les ANOCOR aortiques avec un trajet interartériel sont les principales anomalies responsables d'une ischémie myocardique (tableau 5.6).
- Les ANOCOR avec un trajet prépulmonaire ou rétroaortique sont considérées comme bénignes en l'absence de maladie coronaire associée. Une prévalence particulièrement élevée d'athérome coronaire sur les trajets rétroaortiques a été suggérée [1].

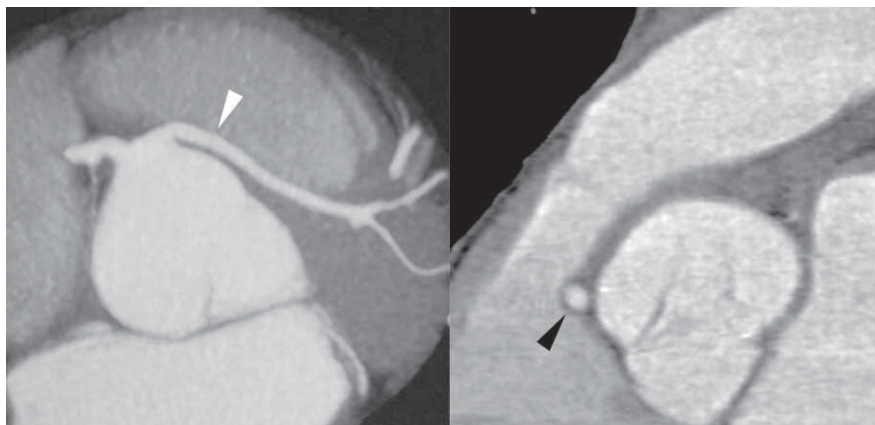


Fig. 5.52 Tronc commun avec trajet rétropulmonaire. Images TDM (reconstruction 3D) d'un tronc commun connecté dans le sinus droit avec un trajet rétropulmonaire. À noter un passage devant le sinus droit (tête de flèche blanche) puis derrière l'infundibulum pulmonaire (tête de flèche noire).

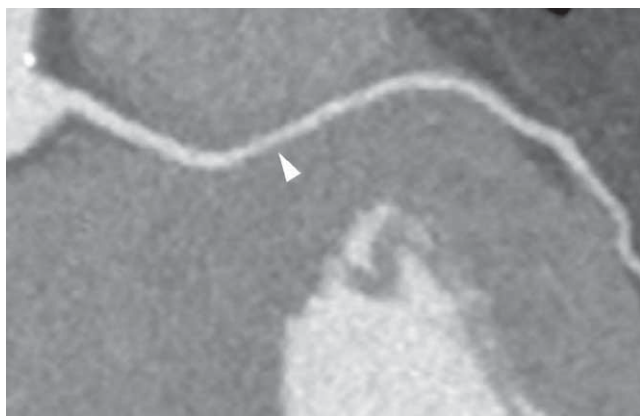


Fig. 5.53 Trajet rétropulmonaire avec passage intramyocardique. Image TDM (reconstruction 3D) d'une artère interventriculaire antérieure connectée dans le sinus droit avec trajet rétropulmonaire. À noter un passage intramyocardique avec réduction modérée du calibre artériel (tête de flèche).

- Les ANOCOR avec un trajet rétropulmonaire sont généralement considérées comme bénignes, mais certaines formes ont pu être rapportées comme une cause d'ischémie myocardique en cas de trajet intramyocardique profond [12].

Une réduction de calibre artériel peut alors être observée, parfois associée à des modifications dynamiques lors du cycle cardiaque (non analysables par le coroscanner avec une acquisition prospective).

- En cas de connexion dans l'aorte tubulaire, le trajet est considéré comme interartériel si la connexion est située au-dessus du sinus aortique controlatéral (fig. 5.56).
- En cas de connexion pulmonaire, le trajet ectopique est de longueur variable selon le site de connexion dans l'arbre artériel pulmonaire. Le plus souvent, la connexion est localisée dans le sinus pulmonaire situé en face du sinus aortique sans ostium.

L'analyse TDM des connexions pulmonaires est différente de celle des connexions aortiques (fig. 5.57). L'ANO-



Fig. 5.54 Tronc commun avec trajet interartériel. Images TDM (rendu volumique et reconstruction 3D) d'un tronc commun connecté dans le sinus droit avec un trajet interartériel (têtes de flèches).

COR et la coronaire controlatérale sont dilatées, ce qui peut gêner la visualisation de l'ostium et du trajet ectopique. Les ANOCOR pulmonaires sont toujours considérées à risque d'ischémie myocardique par un mécanisme de sous-perfusion de l'artère ectopique.

L'analyse morphologique d'un trajet interartériel est importante car l'identification seule d'une forme anatomique à risque ne suffit pas à quantifier ce risque. Les méthodes de mesure des différentes caractéristiques anatomiques sont indiquées dans le tableau 5.7, avec l'angle de connexion, le degré d'excentricité artérielle, et la

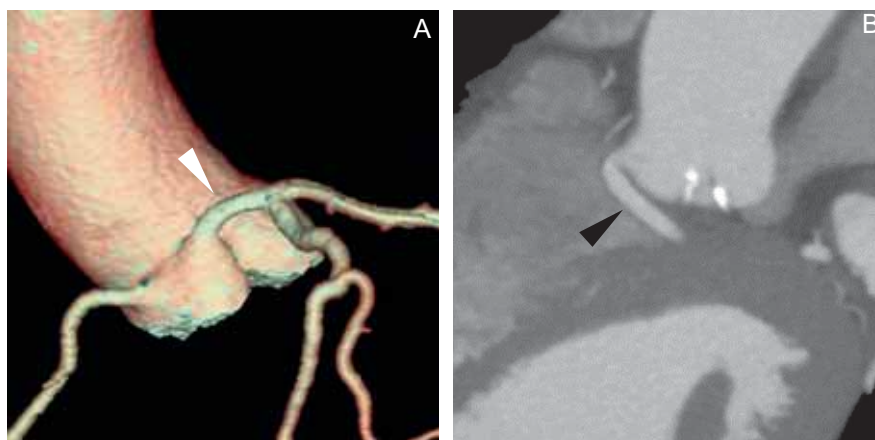


Fig. 5.55 Distinction entre trajet interartériel et trajet rétropulmonaire. Images TDM (rendu volumique et reconstruction 3D) d'un tronc commun connecté dans le sinus droit (A) avec un trajet interartériel (tête de flèche blanche) et d'un tronc commun connecté dans le sinus droit (B) avec un trajet rétropulmonaire (tête de flèche noire). À noter qu'un trajet interartériel passe au-dessus du plan de l'anneau aortique et qu'un trajet rétropulmonaire passe au-dessous.

Tableau 5.6 Classification des ANOCOR selon leurs risques (mort subite et/ou ischémie myocardique) en l'absence de maladie athéromateuse associée.

Artère	Trajet initial ectopique	Risques
Connexions ectopiques dans l'artère controlatérale ou le sinus controlatéral		
Tronc commun ou artère interventriculaire antérieure	Prépulmonaire Rétropulmonaire Interartériel Rétroaortique	Absents Généralement absents Présents Absents
Artère circonflexe	Rétroaortique	Absents
Artère coronaire droite	Prépulmonaire Interartériel Rétroaortique	Absents Présents Absents
Connexions ectopiques dans le sinus non coronaire		
Toute artère	Rétroaortique	Généralement absents
Connexions ectopiques dans le sinus approprié		
Toute artère	Parfois interartériel	Parfois présents
Connexions ectopiques dans l'aorte tubulaire au-dessus du sinus approprié		
Toute artère	Généralement non interartériel	Généralement absents
Connexions ectopiques dans l'aorte tubulaire au-dessus du sinus controlatéral		
Toute artère	Généralement interartériel	Généralement présents
Artère coronaire unique		
Toute artère	Absent	Absents
Connexions ectopiques dans l'artère pulmonaire		
Toute artère	Variable	Présents

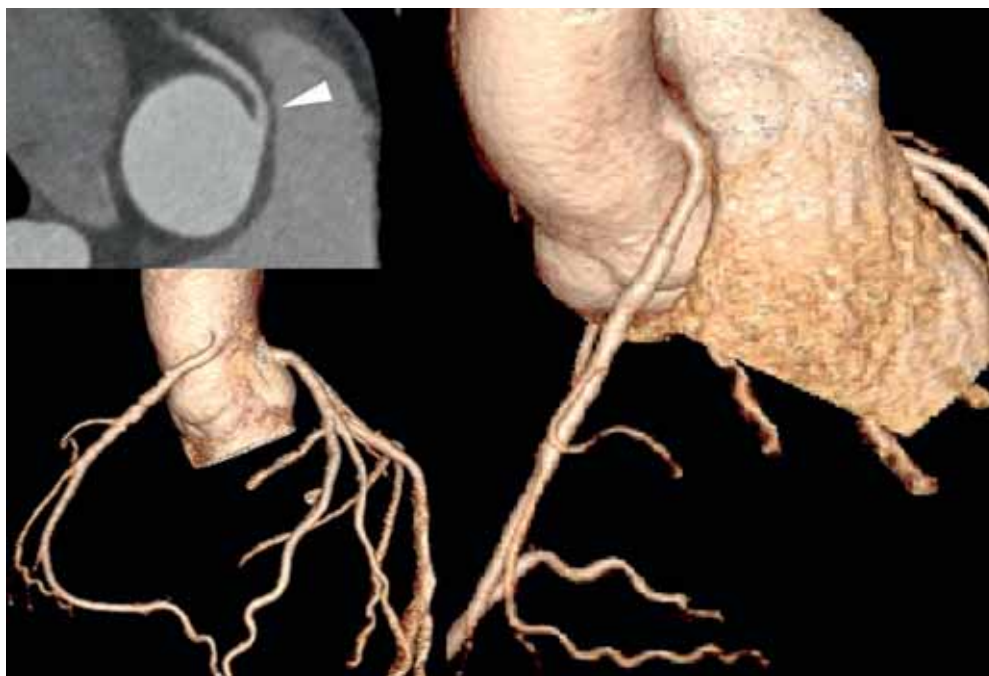


Fig. 5.56 Artère coronaire droite connectée dans l'aorte tubulaire au-dessus de la commissure droite – gauche et avec un trajet interartériel (tête de flèche).

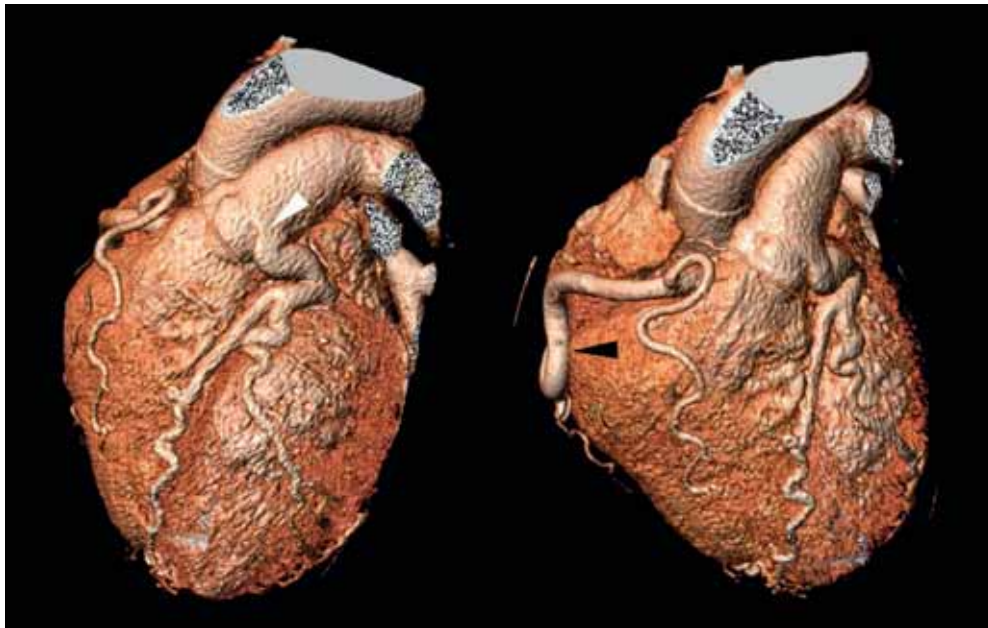


Fig. 5.57 Artère interventriculaire antérieure connectée dans l'artère pulmonaire. Images TDM (rendu volumique) d'une artère interventriculaire antérieure connectée dans le sinus pulmonaire postérogauche (tête de flèche blanche). À noter une dilatation de l'artère coronaire droite (tête de flèche noire).

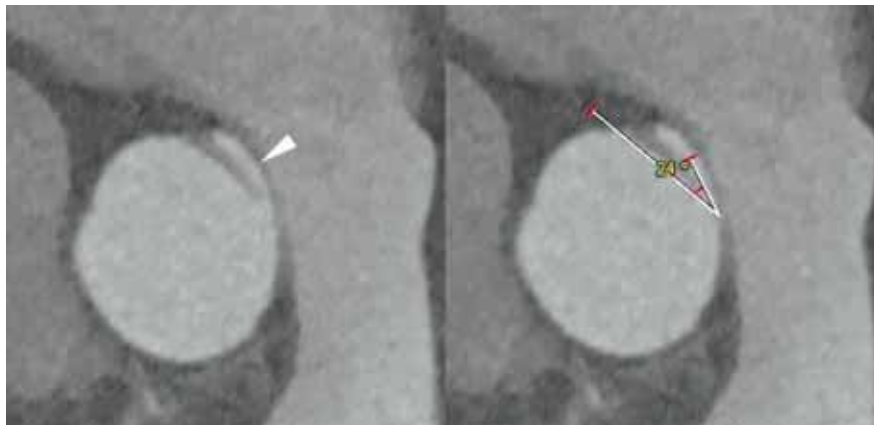


Fig. 5.58 Mesure de l'angle de connexion. Images TDM (reconstruction 3D) avec mesure de l'angle de connexion d'une artère coronaire droite connectée dans le sinus gauche avec un trajet interartériel (tête de flèche).

Tableau 5.7 Mesures TDM pour les ANOCOR avec un trajet interartériel.

Caractéristiques	Mesure
Angle de connexion (°)	Mesure de l'angle entre une ligne passant dans l'axe de la lumière du segment ectopique à 2 mm de l'ostium et une ligne tangente à l'aorte et passant par les 2 points de connexion de l'artère coronaire
Degré d'excentricité artérielle (ovale/fente)	Mesure du ratio grand axe sur petit axe au site de rétrécissement maximal du segment ectopique Forme ovale si ratio = 1,1 à 1,49 Forme en fente si ratio \geq 1,5
Réduction de calibre (%)	Mesure du petit axe du segment ectopique à l'endroit le plus rétréci comparée au diamètre du segment non ectopique proximal
Réduction de surface (%)	Mesure de la surface du segment ectopique à l'endroit le plus rétréci comparée à celle du segment non ectopique proximal

réduction de calibre et de surface de la lumière artérielle (fig. 5.58 et 5.59).

Il est possible de mesurer la longueur du trajet ectopique, mais sa signification pronostique n'est pas claire. Bien que leur valeur pronostique précise reste à définir, des critères anatomiques de gravité ont été décrits [13-16]. Ils sont rapportés dans le tableau 5.8. L'artère coronaire gauche est reconnue à plus haut risque de mort subite que l'artère coronaire droite [1]. La réduction du calibre artériel doit être interprétée, non pas comme une compression par les troncs artériels, mais comme une adaptation à l'espace disponible lors de la vasculogenèse coronaire. La résolution TDM ne permet pas de visualiser directement un passage intramural dans la paroi aortique reconnu comme un critère anatomique de sévérité, dont le diagnostic repose sur l'identification de plusieurs critères anatomiques indirects (tableau 5.8). Une analyse TDM complète est nécessaire pour identifier une maladie coronaire athéromateuse ou une cardiopathie associée pouvant expliquer une symptomatologie d'allure ischémique.

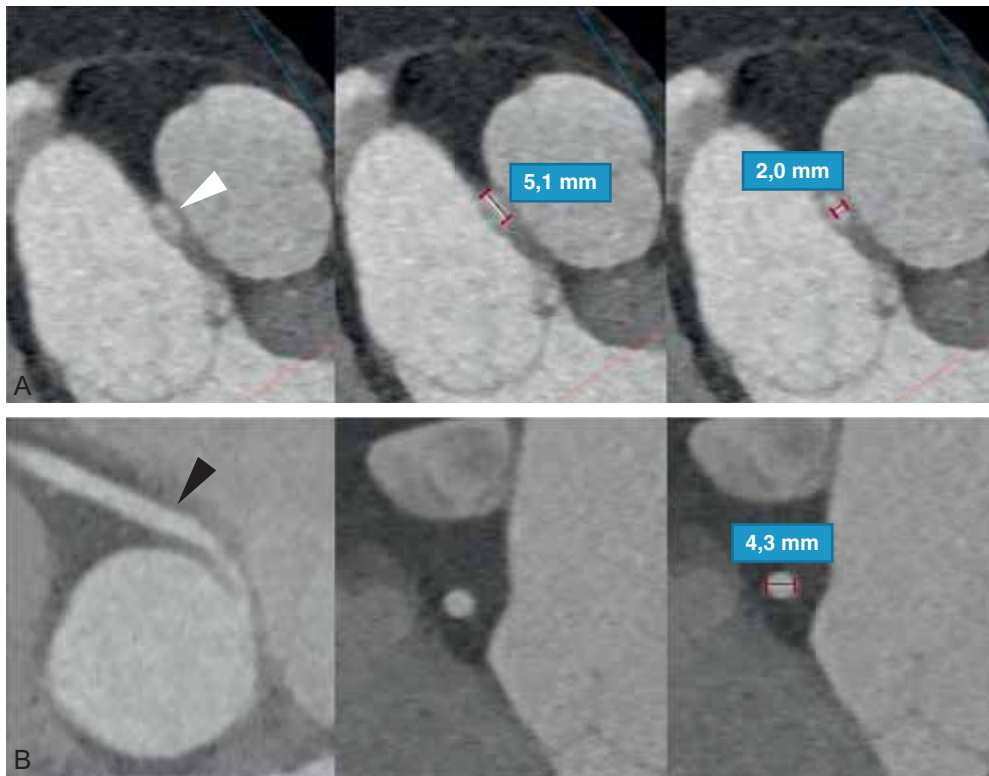


Fig. 5.59 Mesures des axes et surfaces. Images TDM (reconstruction 3D) avec mesures des axes d'une artère coronaire droite connectée dans le sinus gauche avec un trajet interartériel. Mesures au niveau du rétrécissement le plus important (A, tête de flèche blanche) et juste en aval du segment interartériel (B, tête de flèche noire). Degré d'excentricité : $5,1/2,0 = 2,6$. Réduction de calibre : $[(4,3 - 2,0)/4,3] \times 100 = 53 \%$. Réduction de surface : $[(14,5 - 8)/14,5] \times 100 = 45 \%$.

Tableau 5.8 Critères de sévérité TDM pour les ANOCOR avec un trajet interartériel.

Artère	Coronaire gauche
Angle de connexion	$\leq 30^\circ$
Degré d'excentricité artérielle	Forme en fente (ratio $\geq 1,5$)
Réduction de calibre	$\geq 50\%$
Réduction de surface	$\geq 50\%$
Passage intramural aortique certain	Association des trois critères suivants : – angle de connexion $\leq 30^\circ$ – forme en fente – réduction de calibre $\geq 50 \%$
Passage intramural aortique possible	Présence d'au moins 2 des 3 critères ci-dessus

IRM

L'analyse IRM a pour but d'identifier des séquelles de nécrose et/ou des zones de fibrose dense myocardique dans le territoire de l'ANOCOR sur la séquence de rehaussement tardif après l'administration de l'agent de contraste (fig. 5.60). Cette fibrose dense pourrait être un marqueur d'épisodes répétés d'ischémie myocardique silencieuse [17]. La fibrose interstitielle peut être détectée par l'augmentation anormale du T1 natif sur la séquence T1 *mapping* accompagnée d'une augmentation du volume extracellulaire. La perfusion myocardique de repos et sous stress pharmacologique est souvent normale car

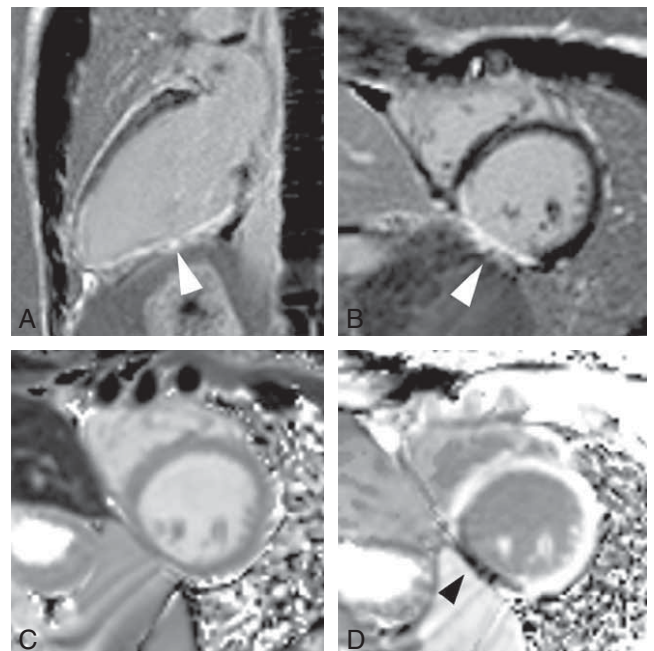


Fig. 5.60 Imagerie IRM de séquelle de nécrose myocardique. Images IRM chez un patient avec une artère coronaire droite connectée dans le sinus gauche et avec un trajet interartériel. Présence d'un hypersignal (têtes de flèches blanches) dans la paroi inférieure en faveur d'une séquelle myocardique ischémique sur les séquences de rehaussement tardif sur les coupes 2 cavités (A) et petit axe (B). Séquences de *mapping* T1 avant (C) et après injection (D) de chélate de gadolinium avec raccourcissement du T1 (tête de flèche noire).

l'utilisation d'un stress pharmacologique ne reproduit qu'imparfaitement les changements dynamiques survenant lors d'un effort physique intense. L'IRM cardiaque peut en revanche identifier des causes autres que l'ANOCOR dans les situations particulières de troubles du rythme ventriculaire ou d'arrêt cardiaque récupéré.

Place de l'imagerie dans l'arsenal diagnostique

La démarche diagnostique varie selon la présentation clinique. Un syndrome coronarien aigu est très rarement révélateur, mais la coronarographie reste un mode

fréquent de découverte (recherche ou évaluation d'une coronaropathie athéromateuse). Généralement, un scanner coronaire est alors indiqué pour classer au mieux l'ANOCOR. Seules les ANOCOR circonflexes ne nécessitent pas une imagerie en coupe complémentaire systématique, car un trajet rétroaortique, non à risque, est quasiment toujours présent. Une ANOCOR peut être aussi diagnostiquée au décours d'un arrêt cardiaque récupéré. Avec l'élargissement des indications pour infirmer ou confirmer une maladie coronaire athéromateuse, le coroscaner est un outil diagnostique fréquent. Aussi, de nombreuses anomalies peuvent être découvertes de manière fortuite.

Le coroscaner fournit des informations importantes pour la prise en charge du patient. D'abord, en identifiant correctement le type anatomique de l'ANOCOR (cf. [tableau 5.6](#)) : la forme est-elle reconnue comme à risque potentiel de mort subite et/ou d'ischémie myocardique ? Il peut exister un phénotype préférentiel pour le trajet ectopique.

- Pour la coronaire droite, le trajet interartériel est présent dans plus de 90 % des cas ([fig. 5.61](#)). Le trajet prépulmonaire est rare ([fig. 5.62](#)), le trajet rétroaortique est exceptionnel ([fig. 5.63](#)), et le trajet rétropulmonaire n'a jamais été décrit dans la littérature.
- Pour l'artère circonflexe, le trajet rétroaortique est présent dans plus de 98 % des cas ([fig. 5.64](#)).
- Les autres cas sont représentés par les exceptionnelles artères coronaires uniques et les connexions pulmonaires.

Les quatre trajets ectopiques peuvent être associés aux ANOCOR concernant le tronc commun et l'artère interventriculaire antérieure. Lorsqu'une forme à risque est identifiée, il faut rechercher des critères anatomiques de sévérité (cf. [tableau 5.8](#)).

Des études anatomopathologiques ont montré des cicatrices myocardiques localisées [9, 18]. L'IRM cardiaque est un complément utile pour analyser le myocarde. L'IRM cardiaque de repos peut être proposée pour rechercher des zones de fibrose ou de nécrose, en particulier après un arrêt cardiaque récupéré ou en cas de troubles du rythme ventriculaire graves. Au même titre que la scintigraphie myocardique ou l'échocardiogramme d'effort,

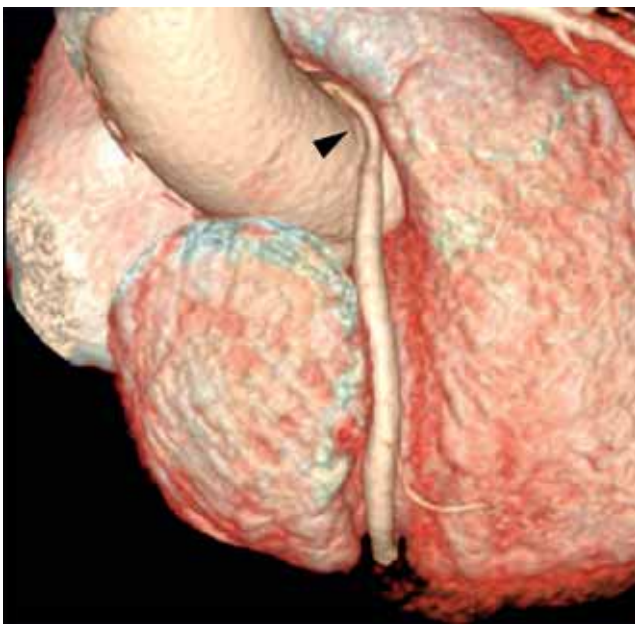


Fig. 5.61 Artère coronaire droite ectopique avec trajet interartériel. Image TDM (rendu volumique) d'une artère coronaire droite connectée dans le sinus gauche avec un trajet interartériel. À noter une déformation du calibre artériel initial (tête de flèche).



Fig. 5.62 Artère coronaire ectopique avec trajet prépulmonaire. Images TDM (reconstruction 3D et rendu volumique) d'une artère coronaire droite connectée dans l'artère interventriculaire antérieure avec un trajet prépulmonaire (têtes de flèches).



Fig. 5.63 Artère coronaire droite ectopique avec trajet rétroaortique. Image TDM (reconstruction 3D) d'une artère coronaire droite connectée dans le sinus gauche avec un trajet rétroaortique (tête de flèche).

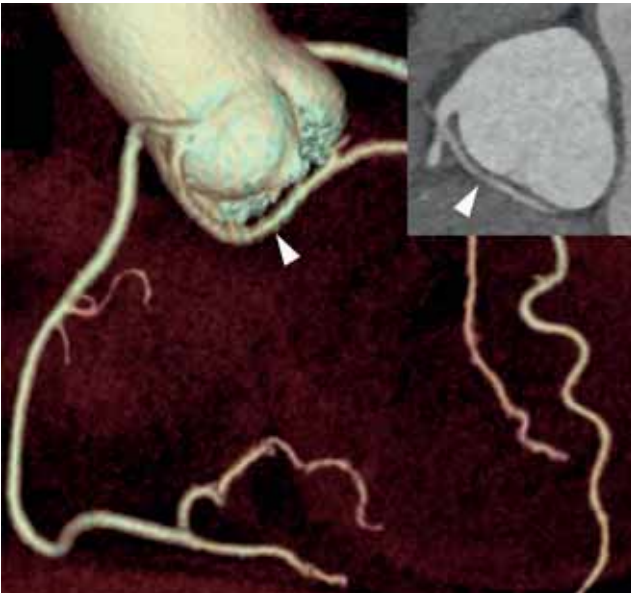


Fig. 5.64 Artère circonflexe ectopique avec trajet rétroaortique. Images TDM (rendu volumique et reconstruction 3D) d'une artère circonflexe connectée dans le sinus droit avec un trajet rétroaortique (têtes de flèches).

l'IRM de stress peut être utilisée pour documenter une ischémie myocardique, mais avec une faible sensibilité dans cette indication.

Impact sur le pronostic – Suivi

À ce jour, nous ne disposons pas d'outils d'imagerie permettant de stratifier avec précision le risque de mort subite en cas d'ANOCOR identifiée à risque. Des éléments cliniques comme une symptomatologie d'effort, en particulier une syncope ou un arrêt cardiaque récupéré, incitent à corriger systématiquement une ANOCOR à risque. L'imagerie en coupes est un élément important dans la discussion thérapeutique chez le sujet jeune asymptomatique. La prise en charge chez l'adulte de plus de 35 ans peut être difficile car le risque de mort subite est extrêmement faible, mais une symptomatologie d'allure ischémique peut exister. Les tests fonctionnels habituels peuvent être pris en défaut. La FFR-CT est un logiciel visant à évaluer le retentissement hémodynamique d'un rétrécissement coronaire en simulant, à partir des images du scanner acquises au repos, des conditions d'hyperémie à l'aide de l'hémodynamique des fluides et de l'évaluation de l'étendue du territoire myocardique de perfusion myocardique de l'artère. Des travaux préliminaires suggèrent que cette technique pourrait être intéressante pour confirmer la présence d'un passage intramural aortique en cas de trajet interartériel, en sachant que la valeur seuil de la FFR-CT qui correspondrait à la présence d'une ischémie myocardique n'est pas connue (fig. 5.65).

Les pratiques sur la prise en charge restent assez hétérogènes, expliquées en partie par nos connaissances encore limitées sur l'histoire naturelle ou corrigée des ANOCOR [19]. Les recommandations en cours préconisent une correction de type chirurgical en évitant le pontage [7, 20]. Le rapport bénéfices/risques de la chirurgie n'a pas encore été clairement évalué [21], même si les séries chirurgicales ont montré en général une amélioration fonctionnelle après correction [22]. Quelques équipes proposent une correction percutanée par angioplastie chez l'adulte symptomatique ayant une ANOCOR droite [23-25]. Les critères anatomiques définis par l'imagerie en coupes sont pris en considération quand une restriction sportive est discutée en cas d'ANOCOR à risque non corrigée [26, 27]. Il n'existe pas d'indication à un suivi par imagerie d'une ANOCOR non corrigée car les caractéristiques anatomiques n'évoluent pas chez l'adulte. La situation est différente pour les ANOCOR corrigées où le coroscaner est un outil performant pour évaluer le résultat d'une correction (fig. 5.66 et 5.67), et dépister des complications tardives (resténose, pseudo-anévrisme, etc.).

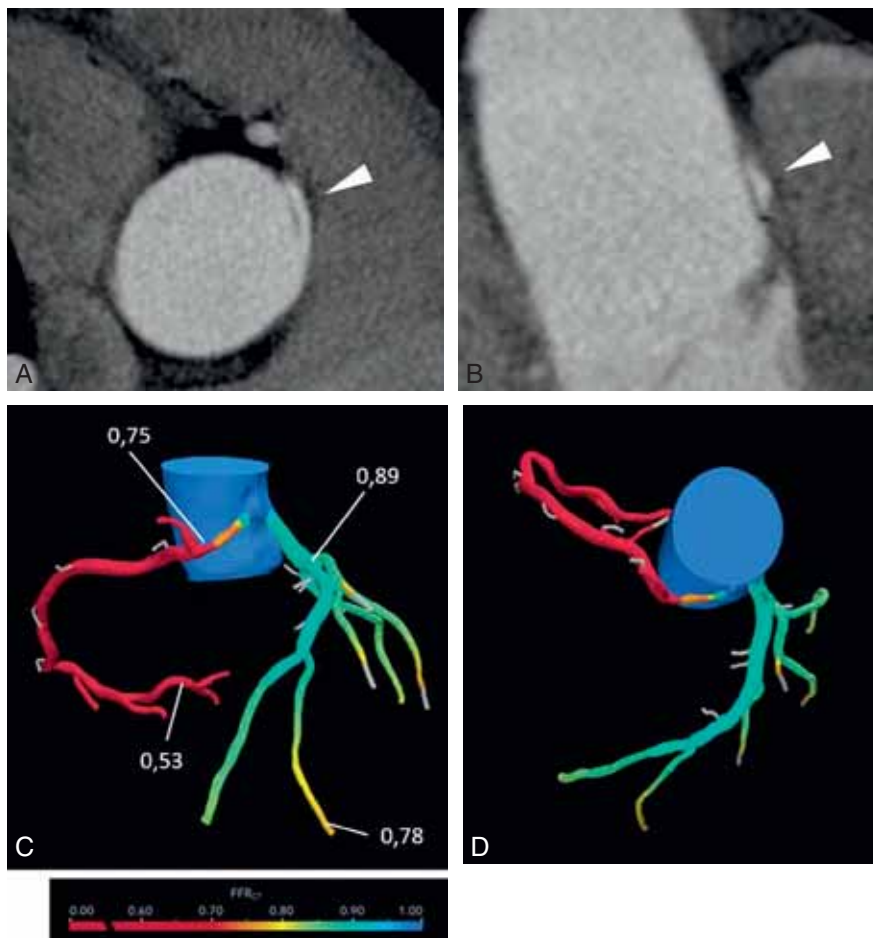


Fig. 5.65 Artère coronaire droite ectopique avec évaluation FFR-CT. **A, B.** Images TDM (reconstruction 3D) d'une artère coronaire droite connectée dans le sinus gauche avec un trajet interartériel (têtes de flèches). **C, D.** Images TDM (rendu volumique) avec mesure de la FFR (*Fractional Flow Reserve*).

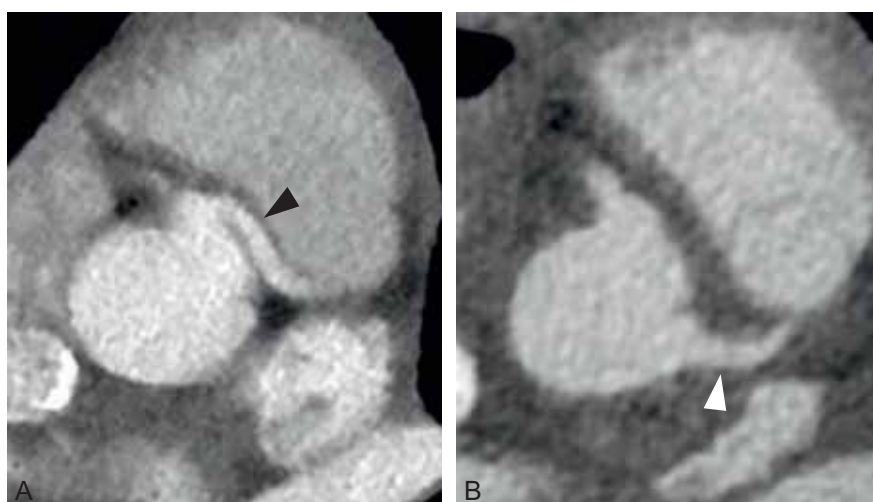


Fig. 5.66 Correction chirurgicale d'un tronc commun ectopique. Images TDM (reconstruction 3D) d'un tronc commun connecté dans le sinus droit (**A**) avec un trajet interartériel (tête de flèche noire) et corrigé chirurgicalement (**B**) avec création dans le sinus gauche d'un néo-ostium avec patch d'élargissement (tête de flèche blanche).

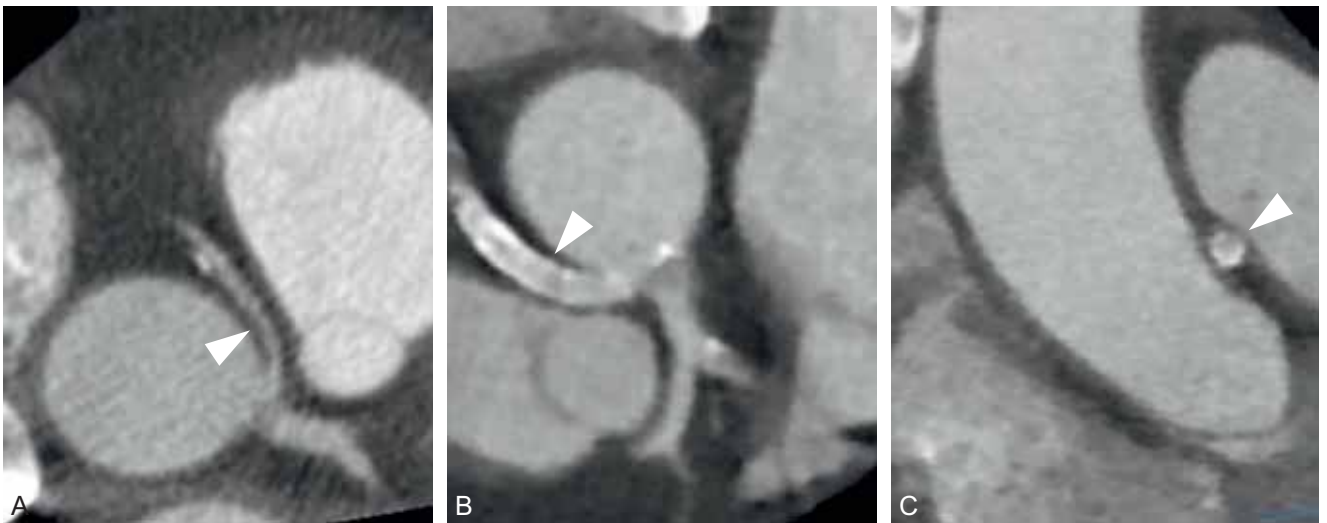


Fig. 5.67 Artère coronaire droite ectopique traitée par angioplastie. **A.** Image TDM (reconstruction 3D) d'une artère coronaire droite connectée dans le sinus gauche avec un trajet interartériel (tête de flèche). **B, C.** Images TDM (reconstruction 3D) à 24 mois d'une angioplastie avec *stenting* (têtes de flèches).

Conclusion

Le coroscaner est un outil non invasif à utiliser largement, soit pour le diagnostic initial d'une ANOCOR, soit pour compléter une autre imagerie. Il doit conduire à une analyse morphologique détaillée pour confirmer le diagnostic, préciser le trajet ectopique, et identifier des caractéristiques anatomiques évaluant les risques. Une analyse physiologique associée pourrait être utile en complément pour évaluer le retentissement hémodynamique des déformations artérielles observées dans les trajets interartériels. L'IRM cardiaque de repos permet l'identification de séquelles fibreuses myocardiques, potentiel point de départ possible d'arythmies ventriculaires graves.

Synthèse en pratique clinique

- Le coroscaner a un rôle clé dans le diagnostic des anomalies de connexion des artères coronaires (ANOCOR) et dans l'identification des formes à risque d'événements cardiovasculaires dont la mort subite.
- Une analyse anatomique détaillée est nécessaire en cas de trajet interartériel pour rechercher des critères de sévérité qui pourront intervenir dans la prise en charge.
- Une symptomatologie d'allure ischémique est possible chez l'adulte, même à un âge avancé, situation où une athérosclérose coronaire peut être associée.
- Le coroscaner est aussi utile pour suivre une correction d'ANOCOR.
- L'IRM cardiaque peut être proposée pour rechercher une fibrose myocardique, facteur déclenchant possible d'une arythmie ventriculaire grave.
- Pour la prévention de la mort subite, nous ne disposons pas de score de risque reposant uniquement sur l'imagerie en coupes.
- Lorsque la correction d'une ANOCOR est discutée, une décision collégiale au sein d'un staff multidisciplinaire comportant des spécialistes de l'imagerie en coupes cardiovasculaire est souhaitable.

Références

- [1] Aubry P, Halna du Fretay X, Calvert PA, Dupouy P, Hayfil F, Laissy JP, et al. Proximal anomalous connections of coronary arteries in adults. In: Rao PS, editor. Congenital heart disease : selected aspects. IntechOpen ; 2012. Available from : <https://www.intechopen.com/books/congenital-heart-disease-selected-aspects/proximal-anomalous-connections-of-coronary-arteries-in-adults>.
- [2] Pérez-Pomares JM, de la Pompa JL, Franco D, Henderson D, Ho SY, Houyel L, et al. Congenital coronary arteries anomalies : a bridge from embryology to anatomy and pathophysiology-a position statement of the development, anatomy and pathology ESC Working Group. Cardiovascular Research 2016;109:204–16.
- [3] Virmani R, Burke A, Farb A. Sudden cardiac death. CardiovascPathol 2001;10:211–8.
- [4] Cheezum MK, Liberthson RR, Shah NR, Villines TC, O'Gara PT, Lanzberg MJ, et al. Anomalous aortic origin of a coronary artery from the inappropriate sinus of valsalva. J Am Coll Cardiol 2017;69:1592–608.
- [5] Angelini P, Cheong BY, Lenge De Rosen VV, Lopez A, Uribe C, Masso AH, et al. High-risk cardiovascular conditions in sports-related sudden death : prevalence in 5,169 schoolchildren via cardiac magnetic resonance. Tex Heart Inst J 2018;45:205–13.
- [6] Prakken NH, Cramer MJ, Olimulder MA, Agostini P, Mali WP, Veltuis BK. Screening for proximal coronary artery anomalies with 3-dimensional MR coronary angiography. Int J Cardiovasc Imaging 2010;26:701–10.
- [7] Stout KK, Daniels CJ, Aboulhosn JA, Bozkurt B, Broberg CS, Colman JM, et al. 2018 AHA/ACC Guideline for the Management of Adults With Congenital Heart Disease : A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines. J Am Coll Cardiol 2019;73:1494–563.
- [8] Aubry P, Halna du Fretay X, Degrell P, Waldmann V, Karam N, Marijon E. Sudden cardiac death and anomalous connections of the coronary arteries : what is known and what is unknown ? Ann Cardiol Angeiol 2017;66:309–18.
- [9] Basso C, Maron B, Corrado D, Thiene G. Clinical profile of congenital coronary artery anomalies with origin from the wrong aortic sinus leading to sudden death in young competitive athletes. J Am Coll Cardiol 2000;35:1493–501.
- [10] Koutsoukis A, Halna du Fretay X, Dupouy P, Ou P, Laissy JP, Juliard JM, et al. Interobserver variability in the classification of

- congenital coronary abnormalities : a substudy of the anomalous connections of the coronary arteries registry. *Congenit Heart Dis* 2017;12:726–32.
- [11] Hoffman JI. Abnormal origins of the coronary arteries from the aortic root. *Cardiol Young* 2014;24:774–91.
- [12] Angelini P, Uribe C. Anatomic spectrum of left coronary artery anomalies and associated mechanisms of coronary insufficiency. *Catheter Cardiovasc Interv* 2018;92:313–21.
- [13] Angelini P. Novel imaging of coronary arteries anomalies to assess their prevalence, the causes of clinical symptoms, and the risk of sudden cardiac death. *Circ Cardiovasc Imaging* 2014;7:747–54.
- [14] Miller JA, Anavekar NS, El Yaman MM, Burkhart HM, Mille AJ, Julsrud PR. Computed tomographic angiography identification of intramural segments in anomalous coronary arteries with interarterial course. *Int J Cardiovasc Imaging* 2012;28:1525–32.
- [15] Gräni C, Buechel RR, Kaufmann PA, Kwong RY. Multimodality imaging in individuals with anomalous coronary arteries. *J Am Coll Cardiol Img* 2017;10:471–81.
- [16] Cheezum MK, Ghoshhajra B, Bittencourt MS, Hulten EA, Bhatt A, Mousavi N, et al. Anomalous origin of the coronary artery arising from the opposite sinus : prevalence and outcomes in patients undergoing coronary CTA. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2017;18:224–35.
- [17] Brothers JA, Kim TS, Fogel MA, Whitehead KK, Morrison TM, Paridon SM, et al. Cardiac magnetic resonance imaging characterizes stenosis, perfusion, and fibrosis, preoperatively and postoperatively in children with anomalous coronary arteries. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2016;152:205–10.
- [18] Corrado D, Thiene G, Cocco P, Frescura C. Non-atherosclerotic coronary artery disease and sudden death in the young. *Br Heart J* 1992;68:601–7.
- [19] Mery CM. Decision making in anomalous aortic origin of a coronary artery. *Congenit Heart Dis* 2017;12:630–2.
- [20] Brothers JA, Frommelt MA, Jaquiss RBD, Myerburg RJ, Fraser CD, Tweddell JS. Expert consensus guidelines : anomalous aortic origin of a coronary artery. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2017;153:1440–57.
- [21] Penalver JM, Mosac RS, Weitz W, Phoon CKL. Anomalous aortic origin of coronary arteries from the opposite sinus : a critical appraisal of risk. *BMC Cardiovascular Disorders* 2012;12:83.
- [22] Padalino MA, Franchetti N, Hazekamp M, Sojak V, Carrel T, Frigolia A, et al. Surgery for anomalous aortic origin of coronary arteries : a multicenter study from the European Congenital Heart Surgeons Association. *Eur J Cardiothorac Surg* 2019;56:693–703.
- [23] Angelini P, Uribe C, Monge J, Tobis JM, Elayda MA, Willerson JT. Origin of the right coronary artery from the opposite sinus of valsalva in adults : characterization by intravascular ultrasonography at baseline and after stent angioplasty. *Catheter Cardiovasc Interv* 2015;86:199–208.
- [24] Degrell P, Halna Du Fretay X, Dupouy P, Barragan P, Nejari M, Dugauquier C, et al. Anomalous connection of the right coronary artery with interarterial course : preliminary prospective experience of stenting in a selected adult population. *J Am Coll Cardiol* 2017;70(Suppl. B):B139–40.
- [25] Darki A, Motiwala A, Bakhos L, Lewis BE, Lopez JJ, Steen Jr. LH, et al. Technical success and long-term outcomes after anomalous right coronary artery stenting with cardiac computed tomography angiography correlation. *Catheter Cardiovasc Interv* 2019 Aug 20.
- [26] Van Hare GF, Ackerman MJ, Evangelista JA, Kovacs RJ, Myerburg RJ, Shafer KM, et al. Eligibility and disqualification recommendations for competitive athletes with cardiovascular abnormalities : task force 4 : congenital heart disease. *J Am Coll Cardiol* 2015;66:2372–84.
- [27] Borjesson M, Dellborg M, Niebauer J, LaGerche A, Schmied C, Solberg EE, et al. Recommendations for participation in leisure time or competitive sports in athletes-patients with coronary artery disease : a position statement from the Sports Cardiology Section of the European Association of Preventive Cardiology (EAPC). *Eur Heart J* 2019;40:13–8.