



Available online at
ScienceDirect
 www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France
EM|consulte
 www.em-consulte.com



Mise au point

Angioplastie d'une anomalie coronaire congénitale : un acte compliqué ?



Angioplasty of an anomalous coronary artery : A complex procedure ?

P. Aubry^{a,b,*}, X. Halna du Fretay^c, O. Boudvillain^{a,d}, A. Bejar^b, Y. Ettagmouti^b, P. Degrell^e

^a Département de cardiologie, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris, Groupe Hospitalier Bichat-Claude-Bernard, 75018 Paris, France

^b Service de cardiologie, Centre Hospitalier de Gonesse, 95500 Gonesse, France

^c Département de cardiologie, Pôle Santé Oreliance, 45770 Saran, France

^d Service de cardiologie, Hôpital Foch, 92150 Suresnes, France

^e Département de cardiologie, Institut National de Chirurgie Cardiaque et de Cardiologie Interventionnelle, L-1210 Luxembourg, Luxembourg

INFO ARTICLE

Historique de l'article :

Reçu le 20 juin 2024

Accepté le 25 juin 2024

Disponible sur Internet le xxx

Mots-clés :

Anomalie coronaire congénitale
 Anomalie de connexion aortique
 Maladie coronaire athéromateuse
 Cathétérisme
 Angioplastie coronaire

Keywords :

Congenital coronary anomalies
 Anomalous aortic origin
 Coronary artery disease
 Catheterization
 Percutaneous coronary intervention

RÉSUMÉ

Les anomalies de connexion des artères coronaires (ANOCOR) sont des anomalies congénitales avec de nombreuses formes anatomiques. Un traitement percutané peut être proposé dans certaines situations, soit plus souvent pour traiter une atteinte athéromateuse associée, soit plus rarement pour corriger une sténose congénitale. En raison des difficultés fréquentes de cathétérisme, les angioplasties des ANOCOR sont reconnues comme complexes. Une bonne connaissance anatomique facilite l'identification du site de connexion et du trajet ectopique initial d'une ANOCOR au cours d'une coronarographie. Le choix d'un cathéter adéquat est une étape importante de la procédure. Il existe une prévalence plus élevée de la maladie athéromateuse sur les trajets rétroaortiques par rapport aux autres trajets ectopiques. En cas de traitement d'une sténose athéromateuse en aval d'un trajet ectopique, on peut s'aider des techniques utilisées habituellement pour les procédures coronaires complexes. L'angioplastie de sténoses congénitales est possible techniquement, mais sa place dans les algorithmes de prise en charge reste à préciser. Ce type de traitement percutané peut être ciblé aujourd'hui sur les ANOCOR droites interartérielles chez l'adulte de plus de 35 ans avec une symptomatologie ischémique ou une ischémie myocardique.

© 2024 Elsevier Masson SAS. All rights are reserved, including those for text and data mining, AI training, and similar technologies.

ABSTRACT

Coronary artery anomalies (ANOCOR) are congenital anomalies with various anatomical forms. Percutaneous treatment can be offered in certain situations, most often to address associated atherosclerotic disease or, more rarely, to correct a congenital stenosis. Due to the frequent difficulties of catheterization, percutaneous coronary interventions for ANOCOR are recognized as complex procedures. A thorough anatomical understanding facilitates the identification of the connection site and the initial ectopic course of an ANOCOR during coronary angiography. Selecting an appropriate catheter is a crucial step in the procedure. There is a higher prevalence of atherosclerotic disease along retroaortic courses compared to other ectopic courses. When treating atherosclerotic stenosis downstream of an ectopic course, techniques typically used for complex coronary procedures can be helpful. While angioplasty for congenital stenosis is technically feasible, its role in management algorithms remains to be defined. Currently, this type of percutaneous treatment may be offered to right ANOCOR with interarterial course in adults over 35 years old and with ischemic symptoms or myocardial ischemia.

© 2024 Elsevier Masson SAS. All rights are reserved, including those for text and data mining, AI training, and similar technologies.

Abréviations et acronymes: AL, Amplatz left; ATL, Angioplastie coronaire transluminale; ANOCOR, Anomalies de connexion des artères coronaires; AR, Amplatz right; CD, Coronaire droite; Cx, Circonflexe; CLS, Contralateral support; EBU, Extra back-up; EEC, Echographie endocoronaire; FFR, Fractional flow reserve; iFR, Instantaneous wave-free ratio; IVA, Interventriculaire antérieure; MP, Multipurpose; JR, Judkins right; TCO, Tomographie par cohérence optique

* Auteur correspondant. Département de cardiologie, Assistance Publique-Hôpitaux de Paris, Groupe Hospitalier Bichat-Claude-Bernard, 75018 Paris, France.

E-mail address: pcaubry@yahoo.fr (P. Aubry).

<https://doi.org/10.1016/j.ancard.2024.101781>

0003-3928/© 2024 Elsevier Masson SAS. All rights are reserved, including those for text and data mining, AI training, and similar technologies.

1. Introduction

Les ANOMalies de connexion des artères CORonaires (ANOCOR) sont des anomalies congénitales non exceptionnelles, avec une prévalence angiographique proche de 0,8 % pour les connexions anormales au niveau aortique [1]. Leur découverte peut être fortuite (dépistage chez un sportif ou recherche d'une coronaropathie), ou non fortuite (bilan d'une symptomatologie ischémique, d'une ischémie myocardique documentée, ou d'un arrêt cardiaque récupéré). L'angioplastie coronaire transluminale (ATL) est reconnue comme un des traitements de l'insuffisance coronaire liée à une maladie athéromateuse. Généralement, les procédures d'ATL d'une ANOCOR sont reconnues comme complexes par les difficultés de cathétérisme, inhérentes à la position inhabituelle de l'ostium coronaire [2–4]. L'ATL peut être proposée dans plusieurs situations, d'une part pour traiter un athérome coronaire qui peut concerner le trajet ectopique ou le trajet non-ectopique, et d'autre part pour corriger des sténoses congénitales sur le trajet ectopique (Fig. 1). La place de l'ATL, encore limitée, pour le traitement de ces dernières, reste à préciser [5]. Cet article s'efforcera de fournir des informations pour augmenter les chances de succès du geste interventionnel, et pour limiter les risques de complications procédurales.

2. L'analyse angiographique de l'ANOCOR

Il s'agit d'une étape primordiale pour la planification d'une ATL que ce soit pour le traitement d'une sténose athéromateuse ou congénitale. Rencontrer une ANOCOR non connue pose des défis pour le cardiologue interventionnel, concernant le choix du cathéter, les manœuvres d'engagement, et les procédures interventionnelles [6]. La complexité du cathétérisme de l'ANOCOR peut augmenter la durée de la procédure et la dose de produit de contraste, mais également retarder une intervention lors d'un syndrome coronaire aigu si on rencontre une anomalie extrêmement rare (Fig. 2). La coronarographie offre une imagerie bidimensionnelle, parfois insuffisante pour analyser précisément certaines ANOCOR. Les cardiologues interventionnels peuvent tirer profit du scanner coronaire pour l'apprentissage d'une visualisation tridimensionnelle des structures cardiaques afin d'améliorer leurs performances diagnostiques. En dehors de l'artère circonflexe, qui a un phénotype anatomique dominant avec un trajet rétroaortique dans près de 99 % des cas [7], les autres artères nécessitent généralement l'apport de l'imagerie tomodensitométrique. La reconnaissance du trajet ectopique et la caractérisation précise de certaines ANOCOR sont importantes à considérer. L'analyse angiographique comporte plusieurs étapes : i) définir l'artère (ou les) artère(s) concernée(s) : tronc commun (TC), artère interventriculaire antérieure (IVA), artère circonflexe (Cx), artère coronaire droite (CD) ou artère septale ; ii) spécifier le site de connexion anormale : artère controlatérale, sinus controlatéral, sinus

non coronaire, sinus approprié, ou aorte ascendante ; iii) identifier le trajet ectopique initial en fonction des troncs artériels [8] : prépulmonaire (passage devant l'infundibulum pulmonaire et/ou le tronc pulmonaire), rétopulmonaire (passage derrière l'infundibulum pulmonaire puis au contact du myocarde), interartériel (passage entre l'artère pulmonaire et l'aorte), et rétroaortique (passage derrière l'aorte) ; iv) analyser quantitativement les trajets intrartériels et rétopulmonaires sièges possibles de rétrécissements congénitaux. Les trajets interartériels sont toujours associés à une réduction de calibre artériel en raison de l'espace restreint offert entre les troncs artériels. Cette réduction de calibre est variable, particulièrement marquée lorsqu'un passage intramural aortique est associé. Le scanner coronaire est reconnu comme l'outil d'imagerie de référence pour l'analyse quantitative d'un trajet interartériel [9–10]. Cette analyse doit s'attacher à mesurer l'angle de connexion coronaire dans l'aorte, typiquement aigu ($\leq 35^\circ$), et le degré d'excentricité artérielle juxtaostiale (rapport grand axe sur petit axe). Une déformation en fente (ou ellipsoïde) est caractérisée par un rapport ≥ 2.0 , et en ovale (ou ovalaire) par un rapport ≥ 1.3 et < 2.0 . Les réductions de diamètre et de surface peuvent être calculées en utilisant le diamètre artériel de référence au niveau de la jonction entre le segment ectopique et le segment non-ectopique de l'ANOCOR (Fig. 3). Il n'existe pas encore de définition tomographique universelle d'un passage intramural aortique, définition peu évidente en l'absence de visualisation des parois aortique et coronaire. Généralement, on retient ce diagnostic sur l'association de plusieurs critères : angle de connexion $\leq 35^\circ$, degré d'excentricité ≥ 2.0 et réduction de diamètre $\geq 50\%$. Ce passage intramural aortique peut être suspecté lors de la coronarographie pour une ANOCOR droite avec la présence d'un aspect effilé et rétréci ($\geq 50\%$) juxtaostial en incidence oblique antérieure droite (Fig. 4). Dans ces certains cas, il peut exister un doute sur la présence d'un passage intramural aortique. C'est l'imagerie endocoronaire, avec une préférence pour l'échographie endocoronaire (EEC), qui permet d'infirmier ou de confirmer le diagnostic (Fig. 4). L'EEC a l'avantage sur la tomographie par cohérence optique (TCO) de bien visualiser les lumières artérielles et les parois vasculaires, et c'est l'outil de référence pour infirmer ou confirmer un passage intramural aortique [11–12]. La réduction de calibre de certains trajets rétopulmonaires est de cause différente, soit par une hypoplasie proximale (Fig. 1), soit par un passage intramyocardique profond sur la partie distale (Fig. 5). Dans tous les cas, il est capital de distinguer un rétrécissement artériel congénital d'un rétrécissement artériel acquis en rapport avec une maladie athéromateuse. La présence d'athérome sur un trajet interartériel paraît rarissime [13]. Il peut être difficile d'identifier par la seule coronarographie la présence d'athérome sur les autres trajets ectopiques. Les outils d'imagerie endocoronaire, EEC ou TCO, permettent alors d'infirmier ou de confirmer le diagnostic d'athérome. Les trajets rétroaortiques présentent une prévalence d'athérome coronaire particulièrement élevée par rapport aux trajets

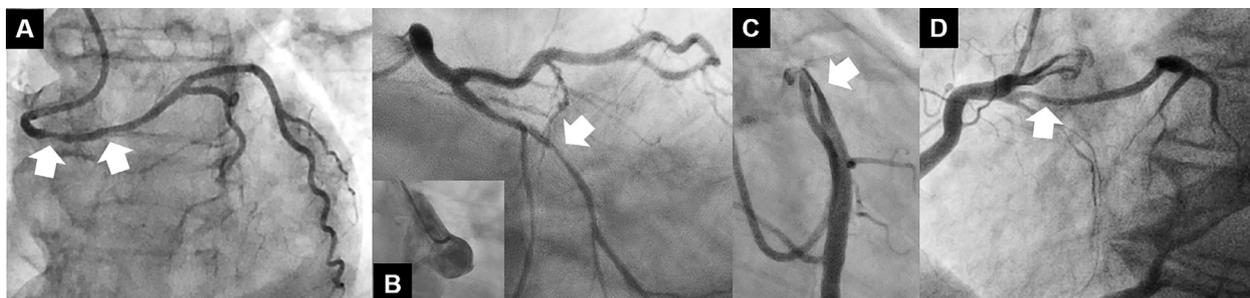


Fig. 1. Images angiographiques de sténoses coronaires acquises ou congénitales sur ANOCOR.

Panel A : sténoses athéromateuses (flèches blanches) sur une artère circonflexe connectée dans le sinus droit avec un trajet rétroaortique. Panel B : absence d'ostium gauche en position normale. Tronc commun connecté dans le sinus droit avec un trajet interartériel. Sténose athéromateuse sur l'artère marginale (flèche blanche). Panel C : sténose congénitale (flèche blanche) d'une artère coronaire droite connectée dans le sinus gauche. Panel D : sténose congénitale (flèche blanche) d'un tronc commun connecté dans le sinus droit avec un trajet rétopulmonaire. ANOCOR : anomalies de connexion des artères coronaires.

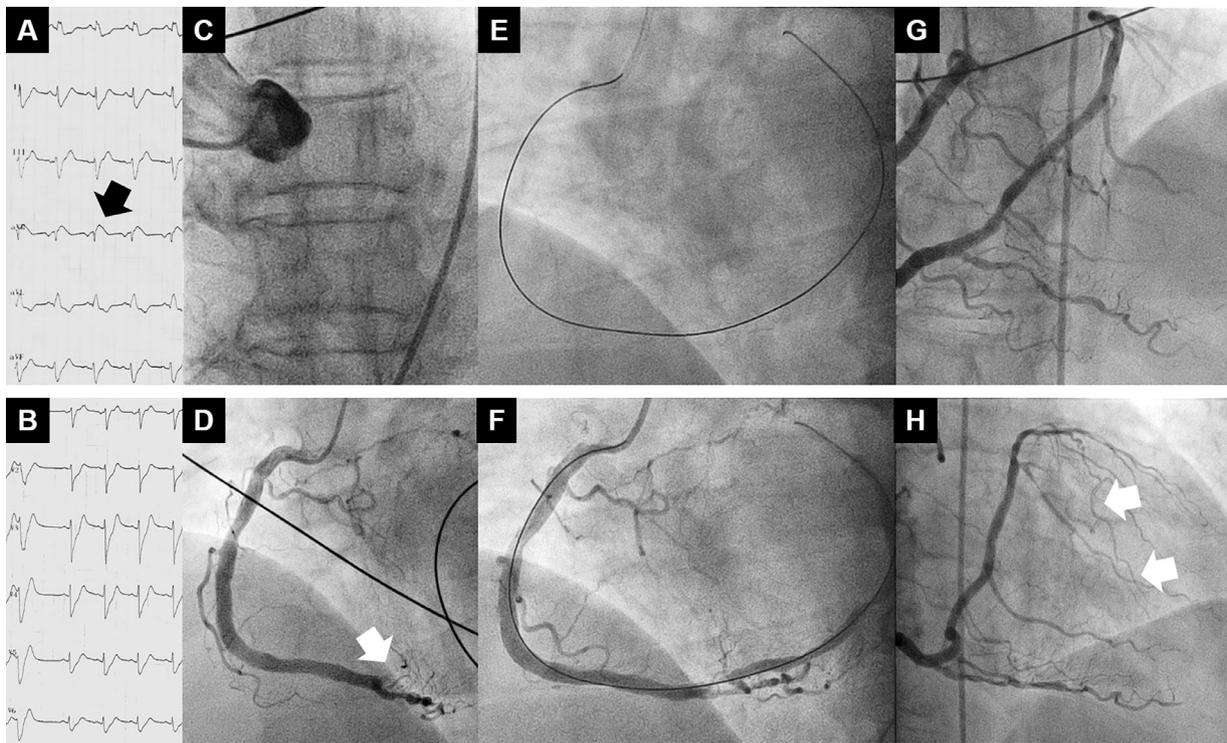


Fig. 2. Syndrome coronaire aigu sur une artère coronaire unique.

Tracés ECG (panels A et B) avec sus-décalage ST isolé en AVR (flèche noire). Absence d'ostium gauche (panel C). Artère coronaire droite avec occlusion aiguë de l'artère rétroventriculaire gauche (panel D). Passage d'un guide d'angioplastie avec un trajet inhabituel (panel E). Sténose très serrée de l'artère rétroventriculaire gauche (panel F). Artère coronaire unique avec remplissage rétrograde de l'artère coronaire gauche par l'artère coronaire droite (panel G). Artère interventriculaire antérieure hypoplasique (flèches blanches).

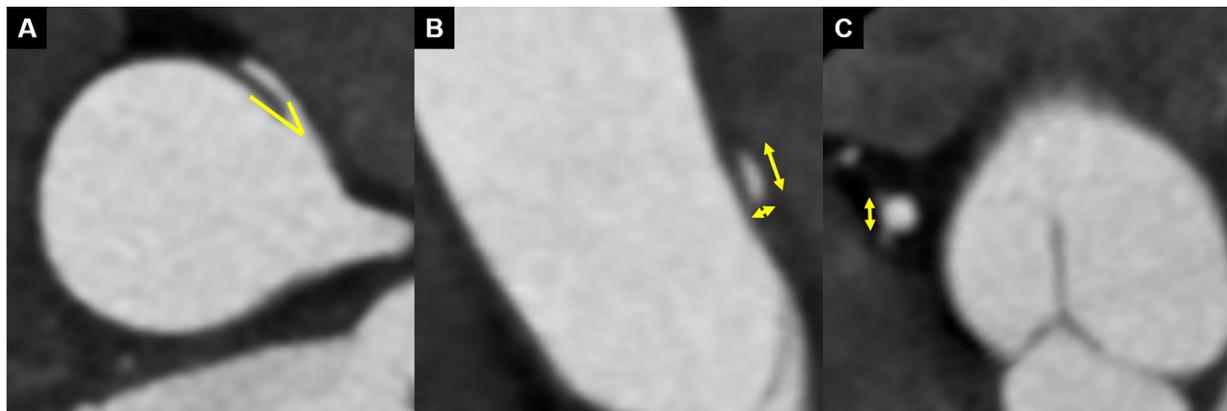


Fig. 3. Évaluation tomographique d'une artère coronaire droite connectée dans le sinus gauche avec un trajet interartériel et un passage intramural aortique.

Reconstruction tomographique multiplanaire. Panel A : vue axiale montrant la mesure de l'angle de connexion. Panel B : vue coronale affichant le grand axe et le petit axe du segment interartériel. Panel C : vue sagittale présentant le calibre normal de référence du segment distal.

interartériels, prépulmonaires ou rétopulmonaires [13]. Les mécanismes sous-jacents à ces variations de prévalence restent encore mal élucidés. Ces considérations soulignent l'importance d'une évaluation minutieuse par des techniques d'imagerie spécialisées pour comprendre ces anomalies coronaires congénitales. L'imagerie invasive et/ou non-invasive doit aussi s'attacher à identifier et à classer la présence d'une maladie athéromateuse en dehors du segment ectopique, c'est-à-dire sur le segment non-ectopique de l'ANOCOR, et sur l'artère controlatérale. Le début du segment non-ectopique peut être défini de la manière suivante : à partir du point où l'ANOCOR retrouve un trajet habituel au niveau de la zone myocardique appropriée. Le segment compris entre l'aorte et ce point est donc défini comme le segment ectopique (Fig. 6). Le choix de la

sonde diagnostique ou d'un cathéter-guide est une étape importante pour éviter trop de passages intravasculaires avec des temps de procédure allongés. Il est non rare que le premier choix de cathéter soit le bon. La Fig. 7 indique les sondes diagnostiques et les cathéters-guides pouvant être recommandés en fonction du type d'artère, du site connexion et du trajet ectopique associé. Des cathéters-guides spécifiques ont été développés pour certaines ANOCOR, mais leur disponibilité varie selon les pays [14]. Il a été aussi rapporté des modifications manuelles de l'extrémité distale de cathéters-guides de type standard [15–16]. Il est reconnu que les cathéters-guides assurent plus de stabilité, et permettent des mouvements de rotation mieux contrôlés. En cas d'abord brachial hostile, il faut passer à la voie fémorale.

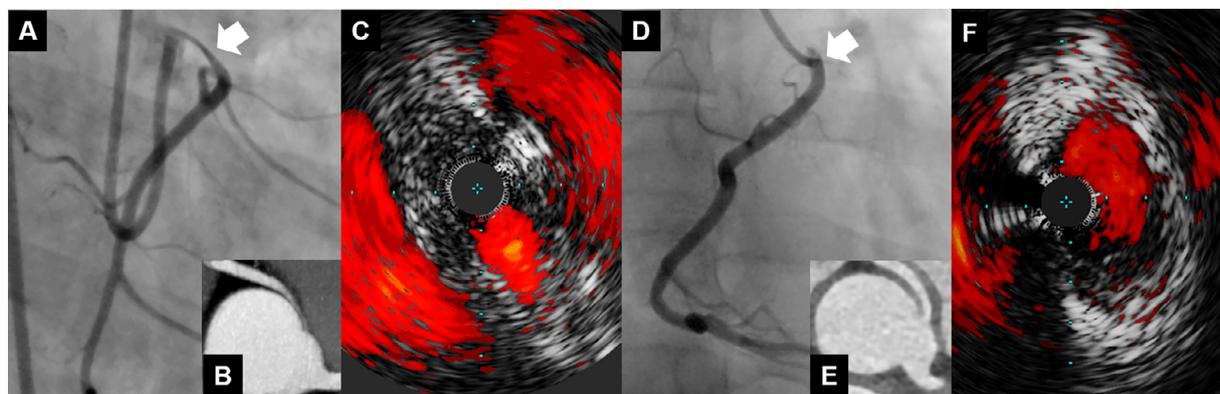


Fig. 4. Imagerie endocoronaire d'artères coronaires droites avec un trajet interartériel.

Panels A et B : images angiographique et tomographique d'une artère coronaire droite (flèche blanche) connectée dans le sinus gauche avec un trajet interartériel. Panel C : image d'échographie endocoronaire montrant un aspect luminal ellipsoïde en faveur d'un passage intramural aortique. Panels D et E : images angiographique et tomographique d'une artère coronaire droite (flèche blanche) connectée dans le sinus gauche avec un trajet interartériel. Panel F : image d'échographie endocoronaire montrant un aspect luminal ovalaire non en faveur d'un passage intramural aortique.



Fig. 5. Tronc commun connecté dans le sinus droit avec un trajet rétropulmonaire.

Panels A et B : images angiographique et tomographique d'un tronc commun connecté dans le sinus droit avec un trajet rétropulmonaire. Réduction de calibre (flèches blanches) sur la partie distale du segment ectopique en rapport avec un passage intramyocardique.

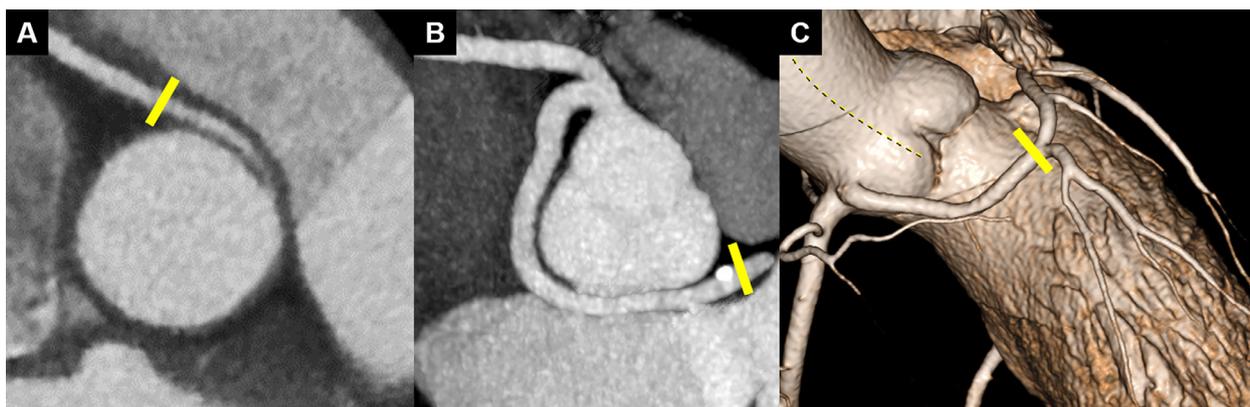


Fig. 6. Identification du segment ectopique d'une ANOCOR.

Images tomographiques montrant la limite (trait jaune) séparant le trajet ectopique du trajet non-ectopique. Panel A : artère coronaire droite connectée dans le sinus droit avec un trajet interartériel. Panel B : tronc commun connecté dans l'artère coronaire droite avec un trajet rétroaortique. Panel C : tronc commun connecté dans le sinus droit avec un trajet rétropulmonaire. ANOCOR : anomalies de connexion des artères coronaires.

3. Les recommandations et les pratiques actuelles

Les recommandations du traitement percutané pour les syndromes coronaires aigus ou chroniques [17–18] permettent de sélectionner les patients éligibles présentant une maladie athéromateuse significative sur une ANOCOR, que ce soit sur le segment ectopique ou le segment non ectopique. Elles ne seront pas

détaillées dans cet article. Les recommandations européennes et nord-américaines [19–20] pour la prise en charge des adultes avec une ANOCOR associée à un trajet interartériel sont assez proches, avec le traitement chirurgical toujours proposé en première ligne. Les indications sont de classe I ou IIa pour les formes symptomatiques ou avec ischémie myocardique. Les ANOCOR gauches asymptomatiques et sans ischémie myocardique peuvent être proposées à la chirurgie

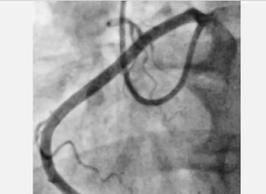
Tronc commun ou artère IVA	Site de connexion	Trajet ectopique	Cathéters
	Sinus droit	Prépulmonaire, rétopulmonaire ou rétroaortique	JR 4, AR 1-2, AL 1, MP, EBU
	Sinus droit	Interartériel	Standard gauche, JR 4, EBU
	Coronaire droite	Prépulmonaire, rétopulmonaire ou rétroaortique	Standard droit
	Coronaire droite	Interartériel	Standard droit
	Aorte	Absent or interartériel	AL 1-2, MP
	Sinus gauche	Absent ou interartériel	Standard gauche
	Sinus non-coronaire	Rétroaortique	Standard gauche/droit
	Artère coronaire unique	Non applicable	Standard droit
Artère circonflexe	Site de connexion	Trajet ectopique	Cathéters
	Sinus droit	Rétroaortique	JR 4, AR 1-2, AL 1, MP
	Coronaire droite	Rétroaortique	JR 4, AR 1-2, AL 1
	Artère coronaire unique	Non applicable	Standard droit
Coronaire droite	Site de connexion	Trajet ectopique	Cathéters
	Sinus gauche	Interartériel	EBU, AL 0.75-1-2, XB, CLS
	Tronc commun	Interartériel	Standard gauche
	Interventriculaire antérieure	Prépulmonaire	Standard gauche
	Aorte	Absent or interartériel	AL 1-2, MP
	Sinus droit	Absent or interartériel	Standard droit
	Sinus non-coronaire	Rétroaortique	Standard droit/gauche
	Artère coronaire unique	Non applicable	Standard gauche

Fig. 7. Choix de sondes diagnostiques et de cathéters guides en fonction de l'ANOCOR, du site de connexion et du trajet ectopique.

AL : Amplatz left ; AR : Amplatz right ; CLS : Contralateral Support ; EBU : Extra Back-Up ; JR : Judkins right ; MP : Multipurpose. ANOCOR : anomalies de connexion des artères coronaires.

(classe IIa), alors que les ANOCOR droites asymptomatiques, sans ischémie myocardique et sans anatomie à risque relèvent de la seule surveillance dans les recommandations européennes. L'angioplastie n'apparaît comme alternative à la chirurgie que dans une seule recommandation nord-américaine en cas de risque chirurgical élevé [21]. Ces recommandations ne tiennent généralement pas compte de l'âge, bien que ce dernier soit très lié au risque de mort subite. Implicitement, on comprend que ces recommandations ciblent d'abord une réduction du risque de mort subite en prévention primaire, même si la correction d'une symptomatologie ischémique ou d'une ischémie myocardique est aussi attendue. En l'absence d'études comparatives, les niveaux de preuve sont assez bas pour ces recommandations qui reposent surtout sur des avis d'experts. En prévention secondaire après un arrêt cardiaque récupéré, une correction chirurgicale est de classe I dans les recommandations européennes et nord-américaines si l'ANOCOR est la cause retenue la plus probable [22–23]. La place de la chirurgie pour les ANOCOR droites symptomatiques et/ou ischémiques peut être challengée par l'angioplastie coronaire dans la population de plus de 35 ans, un âge à partir duquel le risque de mort subite est particulièrement bas [24–26]. Les recommandations actuelles sur les ANOCOR sont bien entendu ciblées pour les patients indemnes de maladie coronaire athéromateuse. Chez les patients adultes associant une ANOCOR et une maladie athéromateuse, si une revascularisation est nécessaire, un traitement chirurgical peut se discuter par pontages selon les recommandations en cours. Il faut éviter de réaliser un pontage coronaire sur une ANOCOR droite avec un trajet interartériel et sans sténose athéromateuse significative située en aval, au risque d'involution du greffon par le flux compétitif résiduel car la réduction de surface artérielle dépasse rarement 70%.

4. L'angioplastie d'une sténose athéromateuse sur un segment ectopique d'anomalie coronaire congénitale

L'angioplastie d'une sténose athéromateuse sur le segment ectopique concerne principalement les ANOCOR avec un trajet rétroaortique affectant surtout l'artère Cx (Fig. 1), ou plus rarement le

TC. Comme signalé précédemment, la prévalence d'une maladie athéromateuse est plus basse sur les trajets prépulmonaires ou rétopulmonaires. À notre connaissance, il n'a pas été rapporté à ce jour d'ATL d'une sténose athéromateuse sur un trajet interartériel. L'ANOCOR circonflexe peut être connectée dans l'artère CD proximale ou dans le sinus droit, au-dessous et à gauche de l'ostium droit sur une coupe tomographique axiale, et donc à droite de l'ostium droit sur le plan anatomique visible sur une coupe tomographique inversée (Fig. 8). Une fois choisi un cathéter-guide approprié, généralement de type JR (Judkins right) ou AR (Amplatz right), le mouvement de rotation de ce dernier doit être réalisé dans un sens horaire, en se retirant lentement de l'ostium droit lorsque la connexion ectopique est située dans l'artère CD (Fig. 8). Lorsque la connexion est située dans le sinus droit, un cathéter-guide de type Multipurpose (MP) peut aussi être utilisé. Quel que soit le cathéter-guide utilisé, il faut poursuivre la manœuvre de rotation horaire lorsqu'on s'approche de l'ostium droit. La stabilité du cathéter-guide est assurée par la mise en place rapide d'un guide d'angioplastie coronaire. Il peut être utile de renforcer cette stabilité par un autre guide coronaire positionné dans l'artère CD (Fig. 9). Les deux ostias des artères CD et Cx sont généralement contigus, mais situés dans des plans différents. Aussi, le risque de compression extrinsèque de l'artère CD est limité lorsque le stent doit couvrir l'ostium de l'artère Cx. Le traitement percutané du trajet ectopique athéromateux de l'artère Cx ne pose pas de problème particulier. Ce traitement peut être plus complexe pour les TC ou les artères IVA avec un trajet prépulmonaire ou rétopulmonaire en raison de l'instabilité du cathéter-guide qui n'a pas l'appui passif aortique habituel (Fig. 10). Dans les deux situations, l'ANOCOR est connectée à droite de l'ostium droit sur une coupe tomographique axiale, et donc à gauche de l'ostium droit sur le plan anatomique (Fig. 11). Lorsqu'un cathéter-guide de type JR ou AR est utilisé, il faut le retirer doucement de l'ostium droit avec une manœuvre de rotation antihoraire (Fig. 11). Parfois, un cathéter-guide de type MP peut être utilisé pour un TC ou une artère IVA avec un trajet rétopulmonaire qui est descendant. Un cathéter-guide de type Extra Back-up (EBU) peut être intéressant pour un TC ou une artère IVA avec un trajet prépulmonaire qui est ascendant.

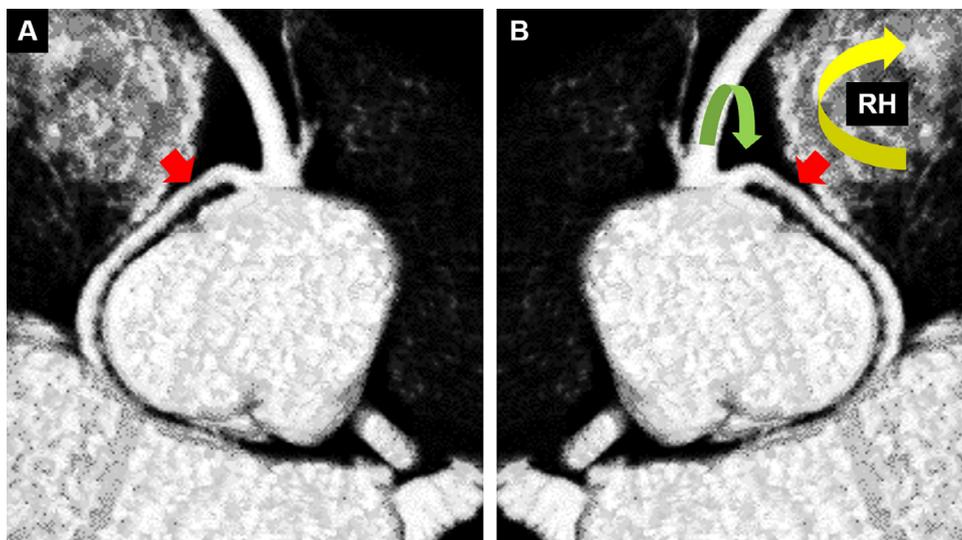


Fig. 8. Manœuvre du cathéter pour canuler une artère circonflexe ectopique.
 Panel A : image tomographique (flèche rouge) montrant une artère circonflexe connectée dans le sinus droit avec un trajet rétroaortique. Panel B : image tomographique inversée illustrant la manœuvre du cathéter (flèche jaune) pour passer l'artère coronaire droite à l'artère circonflexe (flèche verte) avec une rotation horaire (RH).

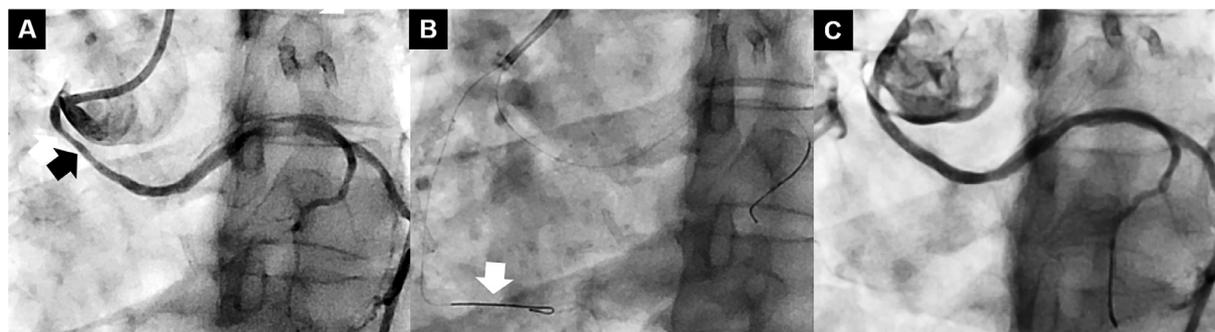


Fig. 9. Angioplastie sur le segment ectopique athéromateux d'une artère circonflexe.
 Images angiographiques d'une artère circonflexe connectée dans le sinus droit avec un trajet rétroaortique. Panel A : sténose athéromateuse (flèche noire) sur le segment ectopique. Panel B : mise en place d'un guide coronaire (flèche noire) dans l'artère coronaire droite distale pour stabiliser le cathéter-guide de type Multipurpose (MP). Panel C : résultat après angioplastie avec stenting.

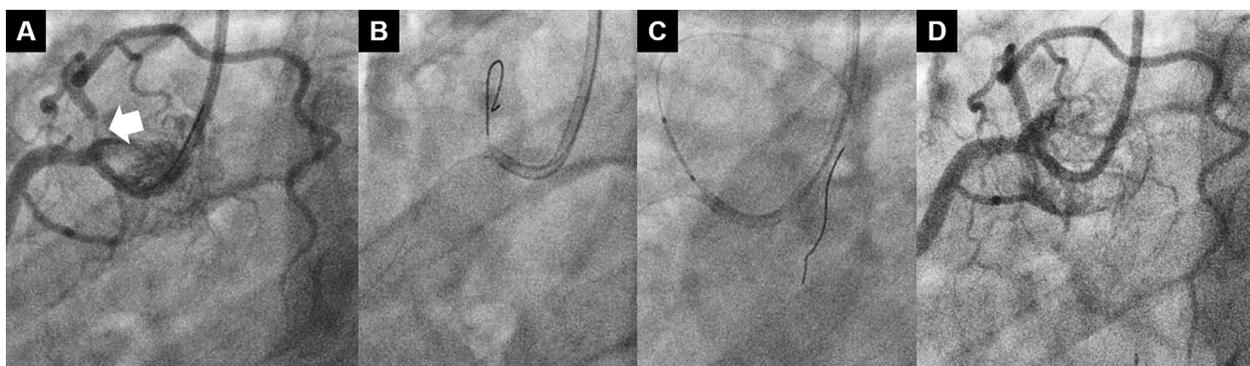


Fig. 10. Angioplastie sur le segment ectopique athéromateux d'une artère interventriculaire antérieure
 Images angiographiques d'une artère interventriculaire antérieure connectée dans l'artère coronaire droite avec un trajet prépulmonaire. Panel A : sténose athéromateuse (flèche blanche) sur le segment ectopique. Panel B : mise en place d'un guide coronaire dans l'artère interventriculaire antérieure. Panel C : mise en place d'un stent. Panel D : résultat après angioplastie avec stenting.

5. L'angioplastie d'une sténose athéromateuse sur un segment non-ectopique d'anomalie coronaire congénitale

L'indication du geste percutané repose bien entendu sur les mêmes critères que ceux utilisés pour la maladie coronaire athéromateuse. Les difficultés techniques citées précédemment sont

les mêmes, à savoir une canulation sélective parfois difficile et un appui passif insuffisant. Il peut s'ajouter un trajet ectopique tortueux ou très long, et des lésions distales ou complexes. Les solutions à envisager sont identiques à celles appliquées aux procédures interventionnelles complexes : utilisation d'un cathéter d'extension, ancrage du cathéter-guide par un ballon distal, ou mise en place d'un

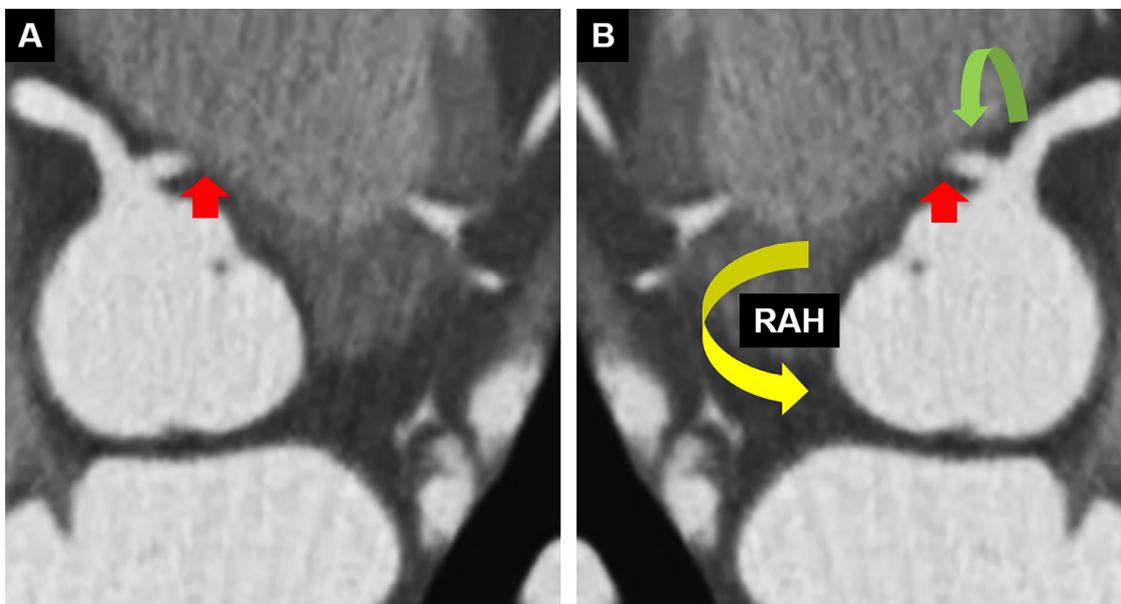


Fig. 11. Manœuvre du cathéter pour un tronc commun ectopique.

Panel A : image tomographique (flèche rouge) montrant un tronc commun connecté dans l'artère coronaire droite avec un trajet rétopulmonaire. Panel B : image tomographique inversée illustrant la manœuvre du cathéter (flèche jaune) pour passer de l'artère coronaire droite au tronc commun (flèche verte) avec une rotation antihoraire (RAH).

second guide coronaire dans l'ANOCOR (Fig. 12). Comme signalé auparavant, il peut être utile aussi de mettre un guide coronaire dans l'artère connectée normalement dans l'aorte. Le choix du cathéter-guide peut nécessiter plusieurs tentatives. Les cathéters les plus utilisés sont de type AR, JR ou MP pour l'artère circonflexe, et de type EBU, Contralateral Support (CLS), XB ou AL pour la coronaire droite. Le choix est plus vaste pour les TC ou les artères IVA avec un trajet prépulmonaire ou rétopulmonaire (Fig. 7). La technique de cathétérisme d'une ANOCOR droite sera détaillée dans le paragraphe suivant.

6. L'angioplastie d'une sténose congénitale sur un segment ectopique d'anomalie coronaire congénitale

L'ATL est une méthode thérapeutique encore très peu développée dans ce cadre. Seules de petites séries ont été rapportées [5,27–30]. Toutefois, la faisabilité du traitement percutané a été rapportée sans risques péri-procéduraux majeurs [5]. Quels patients sont éligibles ? Le management des patients avec une ANOCOR doit être discuté au mieux par une équipe multidisciplinaire spécialisée et disposant d'un

algorithme décisionnel mis à jour régulièrement (Fig. 13). Les ANOCOR droites chez l'adulte de plus de 35 ans représentent aujourd'hui la principale indication potentielle à un traitement percutané en cas de symptômes ischémiques et/ou d'ischémie myocardique. La découverte d'une ANOCOR gauche symptomatique avec un trajet interartériel est très rare chez l'adulte de plus de 35 ans. La nécessité de documenter une ischémie myocardique est bien entendu recommandée en s'aidant des tests non-invasifs ou invasifs habituellement utilisés pour la maladie athéromateuse. Le stimulant qui paraît le plus sensible est la dobutamine qui peut être utilisée avec l'imagerie par ultrasons ou résonance magnétique [31]. L'étude des indices physiologiques intracoronaires (Pd/Pa, iFR, diastolic FFR) peut être aussi réalisée sous dobutamine au cours d'une exploration invasive [32–33]. En cas de très haut-risque opératoire, ce qui est rarement le cas, le traitement percutané peut être proposé pour une ANOCOR gauche avec un trajet interartériel. Par ailleurs, l'ATL peut être utile en cas des rares échecs de la chirurgie correctrice (Fig. 14), soit en phase aiguë (phénomène thrombotique), soit à distance (sténose résiduelle ou cicatricielle) [34]. En dehors des ANOCOR avec un trajet interartériel, il existe de très rares ANOCOR gauches avec un

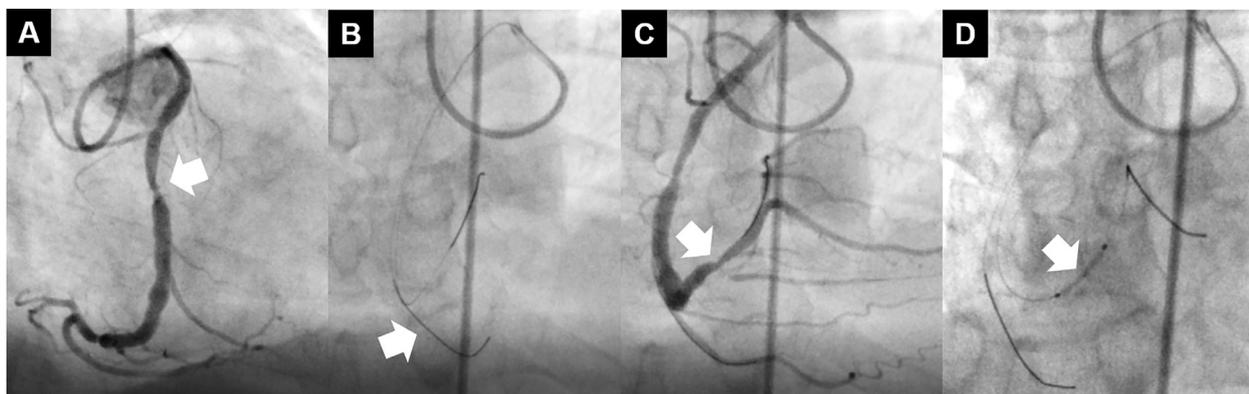


Fig. 12. Angioplastie sur le segment non-ectopique athéromateux d'une artère coronaire droite.

Images angiographiques d'une artère coronaire droite connectée dans le sinus gauche. Panel A : sténose athéromateuse (flèche blanche) sur le segment moyen. Panel B : mise en place d'un deuxième guide coronaire (flèche noire) dans l'artère marginale du bord droit pour stabiliser le cathéter-guide de type Extra-Back-Up (EBU). Panel C : sténose athéromateuse (flèche blanche) sur le segment distal. Panel D : mise en place d'un stent sur le segment distal.

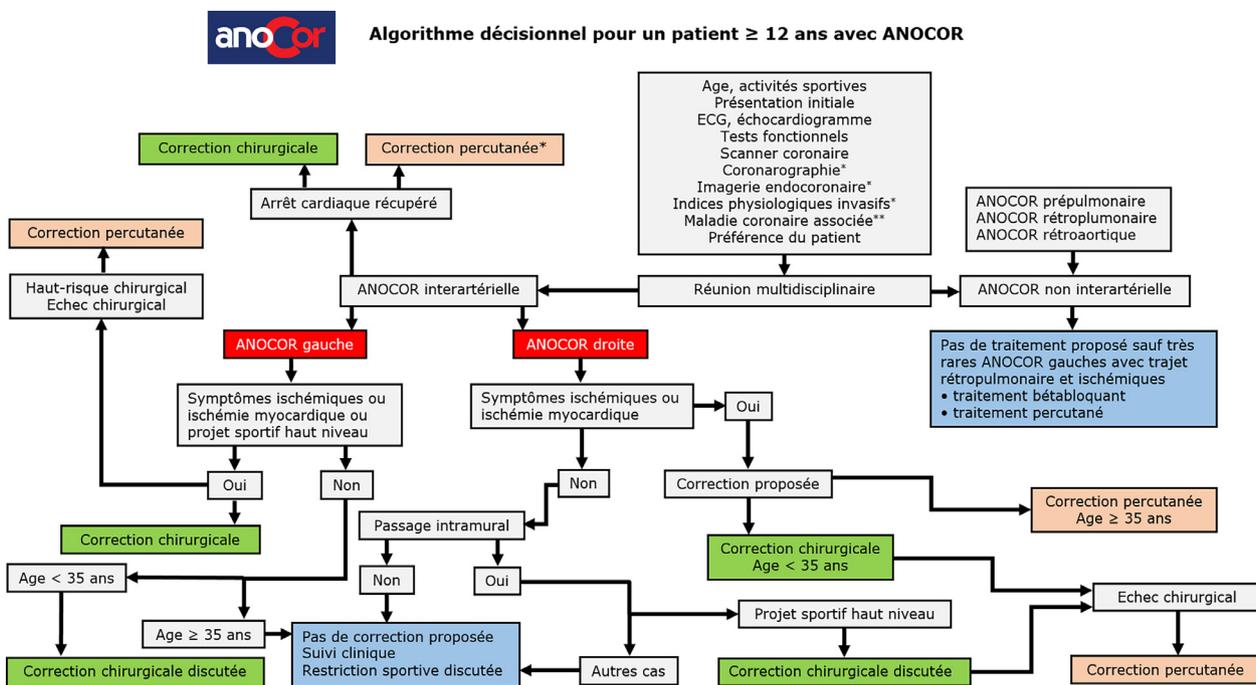


Fig. 13. Algorithme décisionnel utilisé par le groupe ANOCOR.
 *optionnel. **stratégie de revascularisation à adapter en cas de maladie coronaire significative. ***fonction de l'âge et de l'indication d'un défibrillateur automatique implantable.
 ANOCOR : anomalies de connexion des artères coronaires.

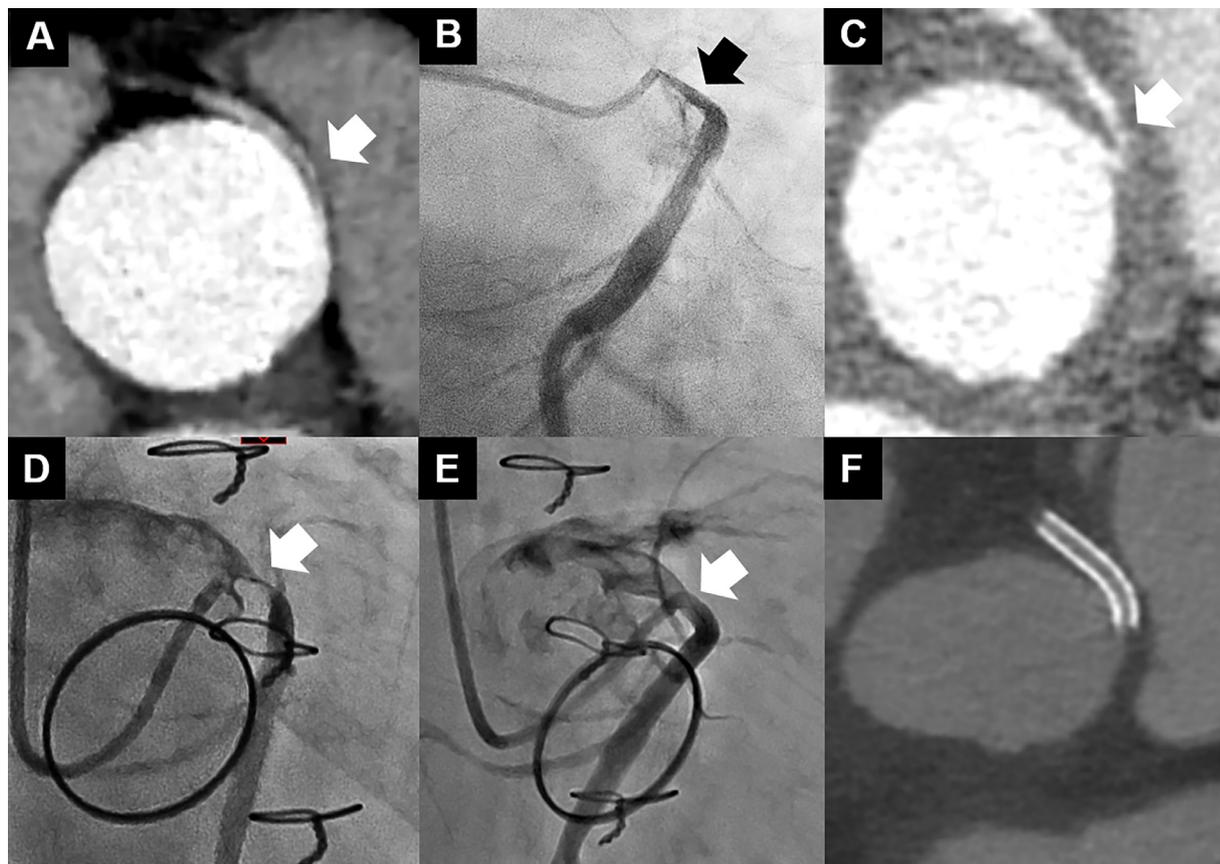


Fig. 14. Angioplastie d'une artère coronaire après réimplantation aortique.
 Panels A et B : images tomographique et angiographique (panels A et B) d'une artère coronaire droite (flèches blanche et noire) connectée dans le sinus gauche avec un trajet interartériel chez une patiente nécessitant une cure d'anévrisme aortique. Panels C et D : images tomographique et angiographique après réimplantation de l'artère coronaire droite dans le tube aortique avec une sténose résiduelle sévère (flèches blanches). Panel E : image angiographique après angioplastie avec stenting (flèche blanche). Panel F : image tomographique du stent (flèche blanche) à 1 mois.

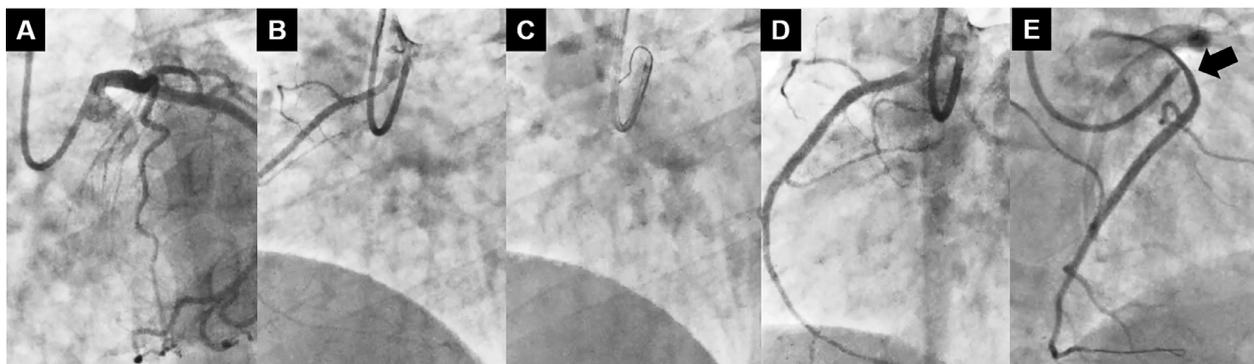


Fig. 15. Technique de cathétérisme d'une artère coronaire droite connectée dans le sinus gauche avec un trajet interartériel.
 Panel A : cathétérisme du tronc commun avec un cathéter-guide Extra-Back Up en incidence oblique antérieure gauche (40°). Panel B : rotation horaire douce du cathéter-guide après extubation du tronc commun pour se positionner en face de l'ostium droit. Panel C : mise en place d'un guide coronaire dans l'artère coronaire droite. Panel D : poussée douce du cathéter-guide vers l'ostium pour obtenir une meilleure opacification artérielle. Panel E : opacification artérielle en incidence oblique antérieure droite (40°) avec un aspect en bec de flûte (flèche noire) évocateur d'un passage intramural aortique.

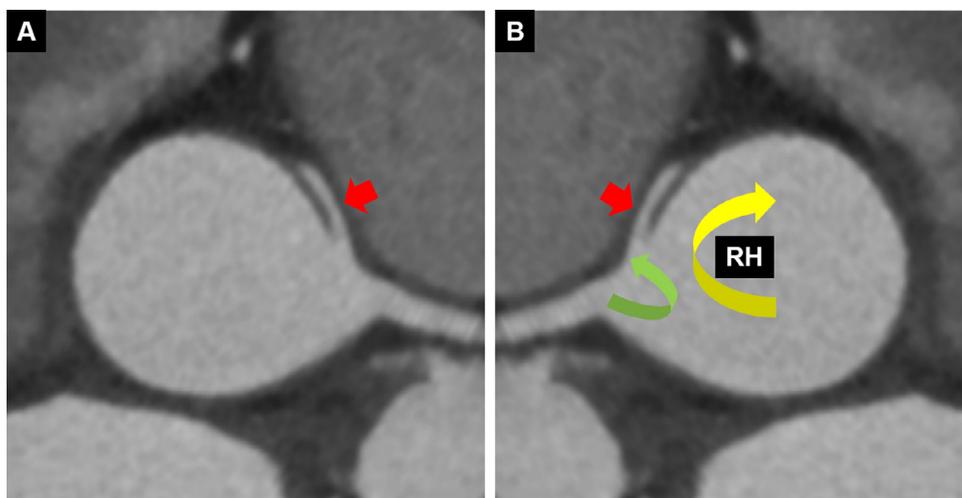


Fig. 16. Manœuvre du cathéter pour une coronaire droite ectopique.
 Panel A : image tomographique (flèche rouge) montrant une artère coronaire droite connectée dans le sinus gauche avec un trajet interartériel. Panel B : image tomographique inversée illustrant la manœuvre du cathéter (flèche jaune) pour passer du tronc commun à l'artère coronaire droite (flèche verte) avec une rotation antihoraire (RH).

trajet rétopulmonaire, qui peuvent être responsables de symptômes et/ou d'ischémie myocardique. L'imagerie non invasive ou invasive peut mettre en évidence une réduction de calibre lorsque le trajet ectopique passe profondément dans le septum interventriculaire (Fig. 5). Le risque de mort subite semble proche de zéro pour ce type d'anomalie. L'ATL pourrait être une alternative thérapeutique à la chirurgie (possible mais reconnue comme complexe) chez l'adulte dans cette forme anatomique lorsqu'il existe une réduction de surface > 50 % associée des critères hémodynamiques d'ischémie myocardique. Quels sont les objectifs de l'angioplastie ? Les buts de l'ATL sur un trajet interartériel associé à un passage intramural aortique sont, d'une part, un remodelage artériel avec une correction de la forme ellipsoïde et un gain de surface, et d'autre part, une résistance mécanique aux contraintes exercées sur la paroi aortique en cas d'efforts physiques importants. Comment procéder ? La première étape est d'assurer un cathétérisme de l'ANOCOR droite qui permet la mise en place d'un guide coronaire, puis une opacification suffisante en s'aidant si besoin d'un cathéter d'extension. La description du cathétérisme d'une ANOCOR droite est présentée dans la Fig. 15. Les mouvements du cathéter-guide doivent toujours être lents avec comme objectif de positionner son extrémité en face de l'ostium ectopique, en partant de l'ostium gauche avec la poursuite d'un

mouvement horaire (Fig. 16). Les cathéters-guides les plus utilisés sont de type EBU ou AL. La stabilité, rarement optimale en raison de la connexion tangentielle à l'aorte, du cathéter-guide peut être améliorée par la mise en place d'un guide coronaire dans la coronaire gauche distale. Un guidage par imagerie endocoronaire est conseillé en privilégiant l'échographie plus facile d'utilisation. Cette évaluation permet de mesurer la zone à traiter (passage intramural plus segment juxta-aortique, soit en général 20/25 mm) et de choisir le diamètre de la prothèse en se basant sur le calibre artériel situé juste en aval du segment juxta-aortique. Le *stenting* direct avec une endoprothèse active est la règle. Il a été suggéré d'utiliser un ballon coupant pour faciliter l'ouverture du stent. On peut noter, lors de l'inflation du ballon, un remplissage assez lent car le segment intramural offre une résistance particulièrement élevée au déploiement du stent (Fig. 17). Il faut privilégier les stents avec une épaisseur de mailles élevée et utiliser des hautes pressions (> 20 bars). Il faut éviter une protrusion trop importante dans l'aorte qui génère un éventuel geste ultérieur en cas de resténose intrastent. L'évaluation endocoronaire post *stenting* permet d'optimiser si besoin le résultat initial. L'obtention d'une forme ovale est généralement la règle en cas d'implantation du stent dans un passage intramural aortique (Fig. 18). La technique d'angioplastie est résumée dans la Fig. 19. Quels sont les résultats ?

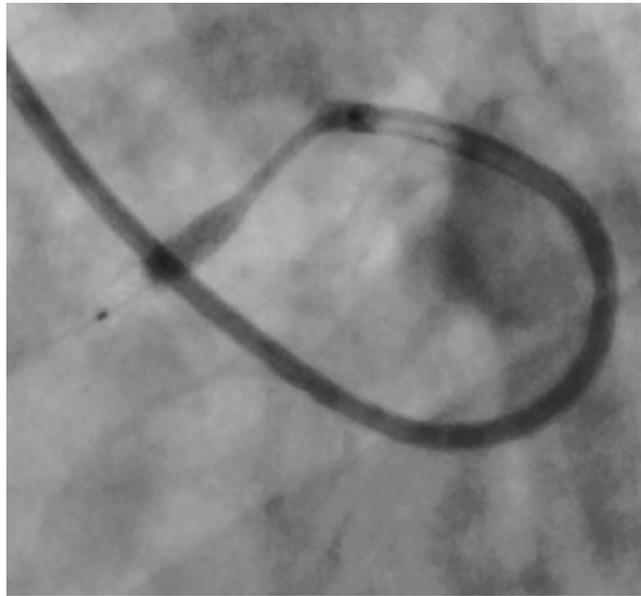


Fig. 17. Inflation d'un ballon d'angioplastie coronaire.
Image angiographique d'un ballon gonflé dans un trajet interartériel avec un passage intramural aortique.

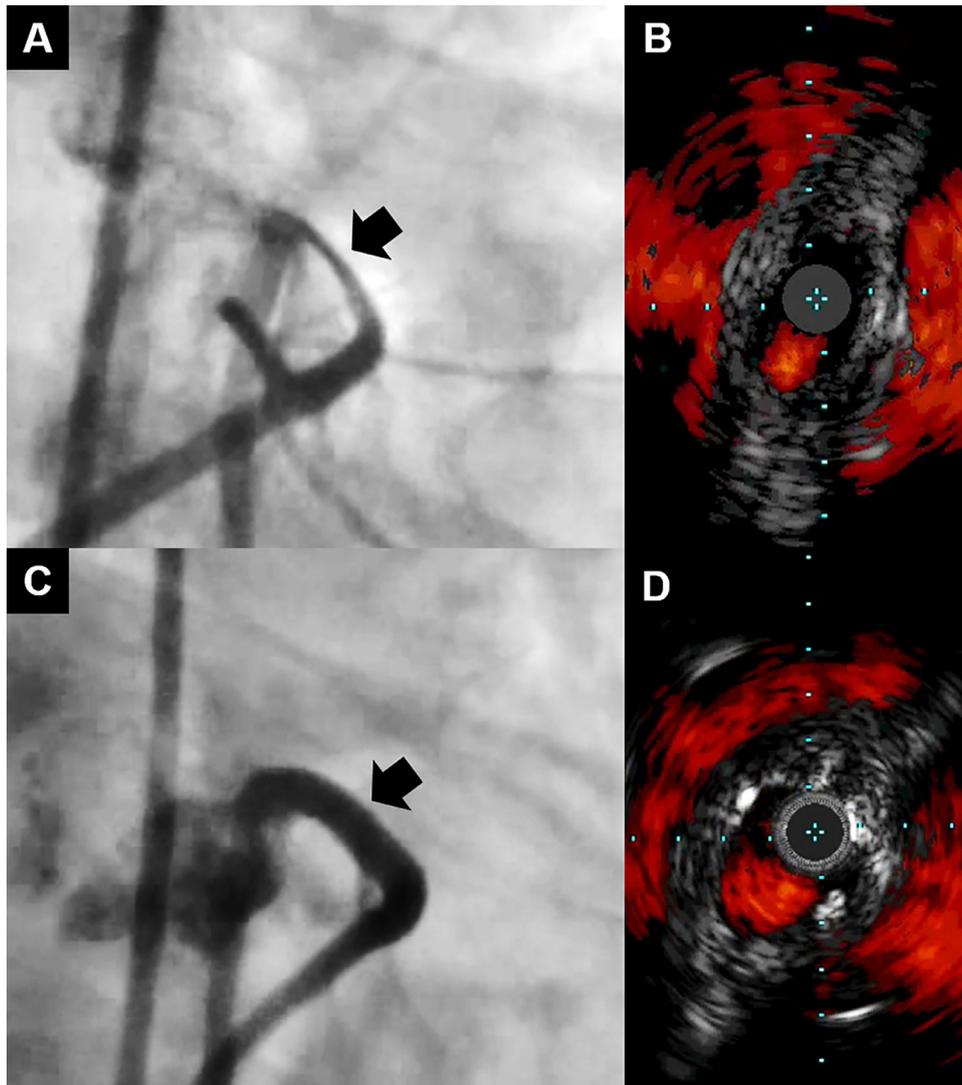


Fig. 18. Angioplastie d'une sténose congénitale.
Panels A et B : images angiographique et échographique d'une artère coronaire droite connectée dans le sinus gauche avec un trajet interartériel et un passage intramural aortique. Panels C et D : images angiographique et échographique après une angioplastie avec stenting.

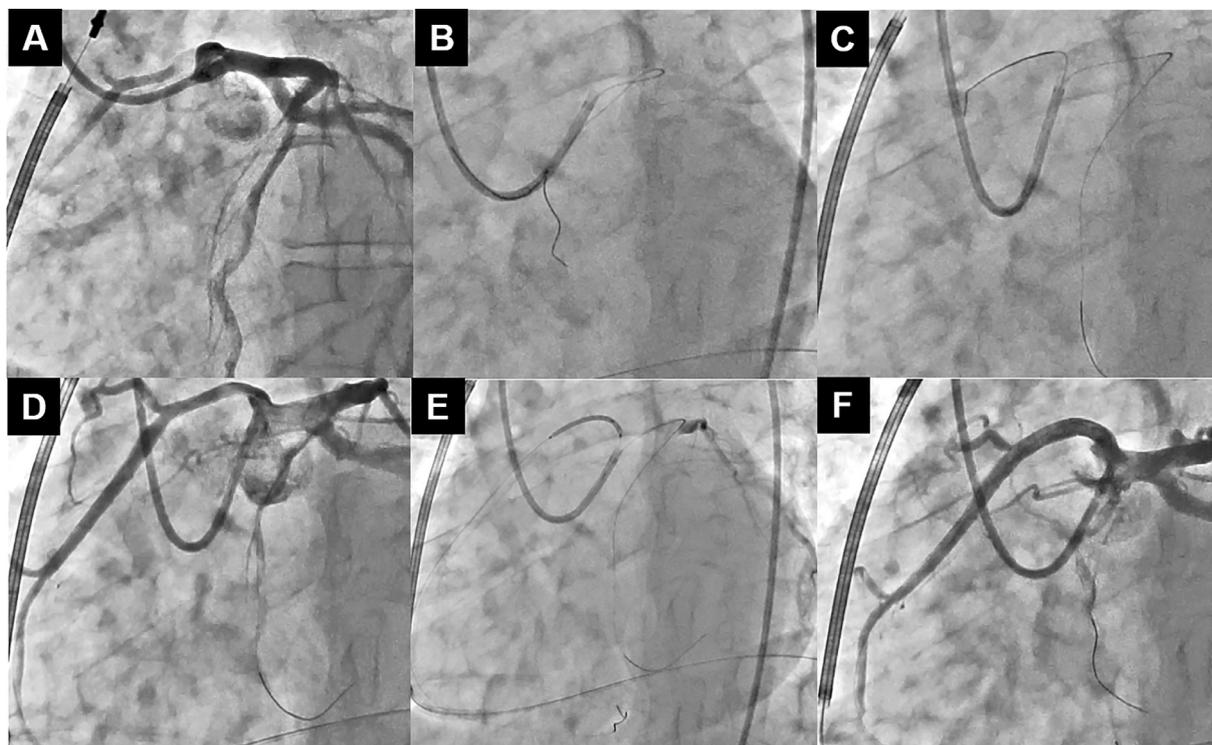


Fig. 19. Technique d'angioplastie d'une artère coronaire droite connectée dans le sinus gauche avec un trajet interartériel.

Panel A : cathétérisme du tronc commun avec un cathéter-guide Extra-Back Up. Panel B : mise en place d'un guide coronaire dans l'artère interventriculaire antérieure pour stabiliser le cathéter-guide. Panel C : mise en place d'un guide coronaire dans l'artère coronaire droite. Panel D : visualisation du segment interartériel. Panel E : mise en place du stent. Panel F : résultat après angioplastie.

Les premières séries n'ont pas rapporté de dissection traumatique au niveau de l'ANOCOR ou de la paroi aortique. Le résultat final peut montrer un aspect non circulaire mais avec un gain notable de surface artérielle. Les résultats publiés sur l'angioplastie des ANOCOR restent limités [5,27–30]. Moins de cent cas ont été rapportés, essentiellement des ANOCOR droites. Une symptomatologie ischémique ou une ischémie myocardique peuvent s'améliorer après la procédure

interventionnelle. L'histoire de la conformabilité d'un stent placé dans un passage intramural aortique est encore mal connue. Les contrôles tomographiques réalisés n'ont pas mis en évidence de déformation de la structure métallique d'une prothèse implantée dans la paroi aortique et au contact de l'artère pulmonaire (Fig. 20). Des cas de resténose intrastent symptomatique (environ 8 % des cas) par hyperplasie néointimale ont été rapportés. Une nouvelle angioplastie est parfois nécessaire avec l'emploi préférentiel de ballons actifs. Bien entendu, l'hypothétique effet du traitement percutané sur une diminution du risque de mort subite n'a pas été évalué. Il convient d'assurer un suivi clinique et tomographique suffisamment prolongé avant de proposer une diffusion plus large de la technique [35–36].

7. Conclusion

Une procédure interventionnelle coronaire réalisée sur une ANOCOR est généralement complexe, du fait des difficultés techniques à assurer une canulation sélective et à obtenir une stabilité suffisante du cathéter-guide. Une certaine connaissance de l'anatomie des ANOCOR et des cathéters guides les plus adaptés doit éviter un temps de procédure trop long. Tout cardiologue interventionnel doit être prêt à faire face à la prise en charge d'une ANOCOR en phase aiguë d'infarctus. Les mouvements des cathéters-guides, pas toujours intuitifs dans certaines formes anatomiques, doivent être réalisés en s'aidant d'une vision tridimensionnelle apportée par l'imagerie tomographique pour comprendre l'implantation des ostias ectopiques et leurs trajets initiaux. Le traitement des sténoses athéromateuses d'une ANOCOR répond aux mêmes recommandations que celui des sténoses athéromateuses sans la présence d'une ANOCOR. L'angioplastie d'une sténose congénitale sur le trajet interartériel d'une ANOCOR est techniquement possible, et sans surrisque procédural. Elle peut être discutée actuellement chez l'adulte de plus de 35 ans, peu exposé au risque de mort subite, avec une ANOCOR droite symptomatique ou



Fig. 20. Stent implanté dans un trajet interartériel avec passage intramural aortique. Image tomographique sans injection à 24 mois d'un stent implanté dans un trajet interartériel d'une artère coronaire droite connectée dans le sinus gauche.

avec ischémie myocardique. La constitution de registres avec des effectifs larges et des suivis conséquents permettront dans l'avenir de positionner l'angioplastie des sténoses congénitales dans les algorithmes décisionnels de l'adulte ayant une ANOCOR.

Conflits d'intérêts

Les auteurs déclarent n'avoir aucun conflit d'intérêts en lien avec ce travail.

Références

- [1] Cheezum MK, Liberthson RR, Shah NR, et al. Anomalous aortic origin of a coronary artery from the inappropriate sinus of valsalva. *J Am Coll Cardiol* 2017;69:1592–608.
- [2] Sarkar K, Sharma SK, Kini AS. Catheter selection for coronary angiography and intervention in anomalous right coronary arteries. *J Interv Cardiol* 2009;22:234–9.
- [3] Uthavakumaran K, Subban V, Lakshmanan A, et al. Coronary intervention in anomalous origin of the right coronary artery (ARCA) from the left sinus of valsalva (LSOV): a single center experience. *Indian Heart J*. 2014;66:430–4.
- [4] Hammami R, Ben Mrad I, Bahloul A, et al. Angioplasty of anomalous coronaries arising from the opposite sinus with an interarterial course, is it safe? *J Saudi Heart Assoc* 2021;33:296–305.
- [5] Aubry P, Halna du Fretay X, Boudvillain O, Degrell P, Working Group ANOCOR. Place of angioplasty for coronary artery anomalies with interarterial course. *Front Cardiovasc Med* 2021;7:596018. doi: 10.3389/fcvm.2020.596018.
- [6] Ben-Dor I, Weissman G, Rogers T, et al. Catheter selection and angiographic view for anomalous coronary arteries. A practical view. *J Am Coll Cardiol Intv* 2021;14:995–1008.
- [7] Koutsoukis A, Halna du Fretay X, Dupouy P, 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.
- [8] Aubry P, Halna du Fretay X, Calvert PA, et al. Proximal anomalous connections of coronary arteries in adults editor. In: Rao PS, editor. *Congenital heart disease: selected aspects*. Intech; 2012. <http://www.intechopen.com/books/congenital-heart-disease-selected-aspects/proximal-anomalous-connections>.
- [9] Gräni C, Buechel RR, Kaufmann PA, Kwong RY. Multimodality imaging in individuals with anomalous coronary arteries. *JACC Cardiovasc Imaging* 2017;10:471–81.
- [10] Gaudino M, Di Franco A, Arbustini E, et al. Management of adults with anomalous aortic origin of the coronary arteries: state-of-the-art review. *J Am Coll Cardiol* 2023;82:2034–53.
- [11] Angelini P, Velasco JA, Ott D, Khoshnevis GR. Anomalous coronary artery arising from the opposite sinus: descriptive features and pathophysiologic mechanisms, as documented by intravascular ultrasonography. *J Invasive Cardiol* 2003;15:507–14.
- [12] Bigler MR, Kadner A, Räber L, et al. Therapeutic management of anomalous coronary arteries originating from the opposite sinus of valsalva: current evidence, proposed approach, and the unknown. *J Am Heart Assoc* 2022;20:e027098. doi: 10.1161/JAHA.122.027098.
- [13] Zendjebil S, Koutsoukis A, Rodier T, et al. ANOCOR investigators. Prevalence and location of coronary artery disease in anomalous aortic origin of coronary arteries. *Coron Artery Dis* 2024. doi: 10.1097/MCA.0000000000001385.
- [14] Qayyum U, Leya F, Steen L, et al. New catheter design for cannulation of the anomalous right coronary artery arising from the left sinus of valsalva. *Catheter Cardiovasc Interv* 2003;60:382–8.
- [15] Kim JY, Yoon SG, Doh JH, et al. Two cases of successful primary intervention in patients with an anomalous right coronary artery arising from the left coronary cusp. *Korean Circ J* 2008;38:179–83.
- [16] Lin CC, Yeh KH, Chou HH, Hsu SY, Chang HC. A novel technique for percutaneous coronary intervention for anomalous right coronary artery arising from the left sinus of valsalva. *Acta Cardiol Sin* 2015;31:235–40.
- [17] Knuuti J, Wijns W, Saraste A, et al. 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes. *Eur Heart J* 2020;41:407–77.
- [18] Byrne RA, Rossello X, Coughlan JJ, et al. 2023 ESC Guidelines for the management of acute coronary syndromes. *Eur Heart J* 2023;44:3720–826.
- [19] Stout KK, Daniels CJ, Aboulhosn JA, 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.
- [20] Baumgartner H, De Backer J, Babu-Narayan SV, et al. 2020 ESC Guidelines for the management of adult congenital heart disease. *Eur Heart J* 2021;42:563–645.
- [21] Brothers JA, Frommelt MA, Jaquiss RDB, Myerburg RJ, Fraser Jr CD, Tweddell JS. Expert consensus guidelines: anomalous aortic origin of a coronary artery. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2017;153:1440–57.
- [22] Al-Khatib SM, Stevenson WG, Ackerman MJ, et al. 2017 AHA/ACC/HRS Guideline for management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association task force on clinical practice guidelines and the heart rhythm society. *J Am Coll Cardiol* 2018;72:e91–e220.
- [23] Zeppenfeld K, Tfelt-Hansen J, de Riva M, et al. 2022 ESC Guidelines for the management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death. *Eur Heart J* 2022;43:3997–4126.
- [24] Penalver JM, Mosac RS, Weitz W, Phoon KKL. Anomalous aortic origin of coronary arteries from the opposite sinus: a critical appraisal of risk. *BMC Cardiovasc Disord* 2012;12:83.
- [25] Hoffman JL. Abnormal origins of the coronary arteries from the aortic root. *Cardiol Young* 2014;24:774–91.
- [26] Aubry P, Halna du Fretay X, Degrell P, Waldmann V, Karam N, Marjion 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.
- [27] Doorey AJ, Pasquale MJ, Lally JF, Mintz GS, Marshall E, Ramos DA. Six-month success of intracoronary stenting for anomalous coronary arteries associated with myocardial ischemia. *Am J Cardiol* 2000;86:580–2.
- [28] Hariharan R, Kacere RD, Angelini P. Can stent-angioplasty be a valid alternative to surgery when revascularization is indicated for anomalous origination of a coronary artery from the opposite sinus? *Tex Heart Inst J* 2002;29:308–13.
- [29] 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.
- [30] Darki A, Motiwala A, Bakhos L, et al. Technical success and long-term outcomes after anomalous right coronary artery stenting with cardiac computed tomography angiography correlation. *Catheter Cardiovasc Interv* 2020;96:320–7.
- [31] Molossi S, Doan T, Sachdeva S. Anomalous coronary arteries - a state-of-the-art approach. *Cardio Clin* 2023;41:51–69.
- [32] Driesen BW, Warmerdam EG, Sieswerda GT, et al. Anomalous coronary artery originating from the opposite sinus of Valsalva (ACAOS), fractional flow reserve- and intravascular ultrasound-guided management in adult patients. *Catheter Cardiovasc Interv* 2018;92:68–75.
- [33] Bigler MR, Ashraf A, Seiler C, et al. Hemodynamic relevance of anomalous coronary arteries originating from the opposite sinus of Valsalva-In search of the evidence. *Front Cardiovasc Med* 2021. doi: 10.3389/fcvm.2020.591326.
- [34] Gaillard M, Pontailleur M, Danial P, et al. Anomalous aortic origin of coronary arteries: an alternative to the unroofing strategy. *Eur J Cardiothorac Surg* 2020;58:975–82.
- [35] Stark AW, Gräni C. Percutaneous coronary intervention in anomalous right coronary artery: Ready to implement in clinical routine? *Interv Cardiol* 2022;17:e15. doi: 10.15420/jicr.2022.17.
- [36] Angelini P, Uribe C. Stent angioplasty in coronary artery anomalies with intramural course: when, why, how, with that results? *J Soc Cardiovasc Angiogr Interv* 2023. doi.org/10.1016/j.scai.2023.100595.