

## Le cathétérisme cardiaque interventionnel: Etat de la question et revue de la littérature

### *The interventional cardiac catheterization: state of the question and literature review*

Senga JL\*, Lubenga Y\*\*, Shiku JD\*,  
Moniotte S\*\*\*.

#### Correspondance

John Senga Lwamba  
Service Cardio-Pulmonaire, Département de Pédiatrie,  
Cliniques Universitaires de Kinshasa, RD Congo.  
Tél. : (+243) 81 96 54 472  
Courriel : selijohnes@gmail.com

#### Summary

The cardiac catheterization currently allows the treatment of a large number of cardiovascular diseases in both children and adult patients. The first feat considered as the beginning of the cardiac catheterization was realized in 1928 by Werner Forssmann who got himself a radio-opaque flexible tube through a brachial vein to its right atrial cavity. The cardiac catheterization is divided into diagnostic catheterization and interventional catheterization. The first one allows the evaluation of the hemodynamic parameters and the study of cardiac anatomy particularly in the complex heart disorders. Presently, interventional cardiac catheterization is established as an alternative process to the cardiac surgery in the coverage of number of congenital and acquired heart diseases. It is even the first choice of treatment of the pathologies like patent ductus arteriosus and *secundum* atrial septal disease. It associates the use of catheters, balloons for percutaneous dilation, prosthesis as well as of the radiography equipment.

The authors review various stages and procedures of the cardiac catheterization, the indications as well as the types of interventions to be realized. The complications as well as the advantages of cardiac catheterization are also handled.

**Key-words** : cardiac catheterization- congenital heart diseases- percutaneous treatment

*History of article* : received on May 6<sup>th</sup>, 2016 ; accepted the August 26<sup>th</sup>, 2016

\* Service cardio-pulmonaire, Département de Pédiatrie, Cliniques Universitaires de Kinshasa, Kinshasa, RD Congo

\*\* Service de cardiologie, Département de Médecine Interne, Cliniques Universitaires de Kinshasa, Kinshasa, RD Congo

\*\*\* Service de cardiologie Pédiatrique, Cliniques Universitaires Saint-LUC, Bruxelles, Belgique

#### Résumé

Le cathétérisme cardiaque permet actuellement de traiter un grand nombre de maladies cardio-vasculaires tant chez les jeunes patients que chez les adultes. Le premier geste considéré comme le début du cathétérisme cardiaque fut posé en 1928 par Werner Forssmann qui s'introduisit lui-même un tube flexible radio-opaque à travers une veine brachiale jusque dans son oreillette droite. Le cathétérisme cardiaque est divisé en cathétérisme diagnostique et en cathétérisme interventionnel. Le premier permet l'évaluation des paramètres hémodynamiques ainsi que l'étude de l'anatomie cardiaque particulièrement dans les cardiopathies complexes. Le cathétérisme cardiaque interventionnel, qui s'est progressivement développé depuis trois décennies, constitue actuellement un procédé alternatif à la chirurgie dans la prise en charge de certaines cardiopathies congénitales et acquises. Il est même le premier choix de traitement des pathologies comme la persistance du canal artériel et la communication inter-auriculaire *secundum*.

Il associe l'usage des cathéters, des ballons pour dilatation percutanée, des prothèses et l'équipement radiographique.

Les auteurs passent en revue les différentes étapes et procédures du cathétérisme cardiaque, les indications ainsi que les types d'interventions à réaliser. Les complications ainsi que les avantages y sont également traités.

**Mots-clés** : cathétérisme cardiaque- cardiopathies congénitales- traitement percutané.

*Historique de l'article* : reçu le 6 mai 2016 ; accepté le 26 août 2016

#### Introduction

Les cardiopathies congénitales sont les malformations les plus fréquentes à la naissance. Leur prévalence varie d'un pays à l'autre et même dans un seul pays, d'une région à une autre (1-5) avec une moyenne de 10 cas pour 1000 naissances vivantes (3), et des extrêmes allant de 6,9 à 38,1 pour 1000 dans certaines études (1). Hoffman les décrit comme étant plus fréquentes dans les populations à ressources limitées à cause du taux de natalité élevée et du nombre élevé d'enfants par femme dans ces contrées (6). Ainsi, le fardeau médical et financier est de ce fait plus lourd que pour les pays développés qui possèdent par ailleurs un meilleur plateau technique et technologique pour leur prise en charge (5).

Une proportion significative de ces malformations cardiaques majore le risque de morbidité et de mortalité parmi les enfants, et peut nécessiter des interventions médicales à répétition dans les premiers mois de vie. Le développement de la cardiologie pédiatrique interventionnelle a heureusement changé la stratégie thérapeutique pour beaucoup de patients avec malformation cardiaque congénitale ou acquise. Le progrès de la technologie en salle de cathétérisme devrait permettre l'expansion des interventions que l'on pourrait effectuer sans chirurgie par thoracotomie ou stérnotomie.

Dans de nombreux pays développés, le cathétérisme cardiaque fait actuellement partie intégrante du service de cardiologie et de l'éventail thérapeutique dans la prise en charge des pathologies cardiovasculaires. Ainsi est née la cardiologie pédiatrique interventionnelle dont l'intérêt s'est progressivement étendu avec le temps depuis les années 90. Par contre, apporter des soins de qualité aux enfants dits 'cardiaques' constitue toujours un challenge dans les pays à ressources limitées (7).

Longtemps confiné à l'évaluation des paramètres hémodynamiques (mesure de la saturation en oxygène et des pressions dans les cavités cardiaques et les gros vaisseaux, mesure des débits et résistances pulmonaires, étude de l'anatomie cardiaque pour les cardiopathies complexes) en vue d'un diagnostic anatomique et fonctionnel débouchant sur un acte chirurgical, le cathétérisme cardiaque est actuellement devenu le premier choix dans le traitement d'un grand nombre des pathologies cardiaques et vasculaires, tant chez l'enfant que chez l'adulte, même à des âges extrêmes de la vie et dans certaines situations particulières comme la grossesse (8-10).

Les nombreux avantages du cathétérisme cardiaque interventionnel font déjà l'objet de plusieurs publications. Toutefois, au-delà de ses avantages qui seront décrits ci-dessous, le cathétérisme cardiaque est aussi un art dont les résultats dépendent des conditions d'opérabilité

et des facteurs interpersonnels ou individuels qui sont parfois imprévisibles et incontrôlables. Dans la grande majorité des cas, les suites opératoires post-cathétérismes sont excellentes, avec un taux de succès allant de 88 à 97% (8, 11, 12).

L'objectif de cette revue générale est de donner un aperçu sur l'évolution et les connaissances actuelles en matière de cathétérisme interventionnel dans la prise en charge des maladies cardio-vasculaires de l'enfant.

## Historique

Le premier geste reconnu comme cathétérisme cardiaque fut posé en 1928 par Werner Forssmann, un chirurgien Allemand qui s'introduisit lui-même un tube flexible radio-opaque à travers une veine brachiale, jusque dans l'oreillette droite (13). La compréhension de l'anatomie humaine, particulièrement l'angiologie, ainsi que les études autopsiques, ont certainement permis à Forssmann de poser ce geste innovateur. Progressivement, des « laboratoires » de cathétérisme cardiaque se sont développés, d'abord aux Etats-Unis d'Amérique, en soutien à la chirurgie cardiaque dans le but de préciser le diagnostic anatomique des malformations cardiaques avant une intervention chirurgicale (13).

En 1966, Rashkind imprima une nouvelle impulsion dans le domaine du cathétérisme (14). Il inaugura l'ère du cathétérisme interventionnel en réalisant la toute première septostomie atriale à l'aide d'un ballonnet (BAS, Balloon Atrial septostomy). Cette intervention portant aujourd'hui encore le nom de « la manœuvre de Rashkind ». Il s'agit ici d'élargir un foramen ovale ou une communication inter-auriculaire restrictive dans le but de favoriser un mélange sanguin dans certaines cardiopathies telles que la transposition des gros vaisseaux ou certains ventricules uniques (14, 15). Ce geste est devenu courant de nos jours, alors qu'originellement, la septostomie atriale était effectuée par voie chirurgicale.

Le développement du cathétérisme cardiaque s'est enrichi ces dernières années des progrès combinés de l'imagerie médicale, de l'informatique et de nouvelles technologies de l'information.

S'associant à d'autres technologies dont l'usage des ultrasons, le cathétérisme cardiaque a étendu nettement son champ d'action. Plusieurs pathologies cardiaques et vasculaires, initialement prises en charge et traitées par la seule chirurgie palliative ou correctrice sont présentement soignées par cathétérisme cardiaque interventionnel. Le cathétérisme cardiaque est devenu de plus en plus performant, au point de supplanter la chirurgie dans certaines indications, avec l'avantage d'avoir un temps de récupération post-procédure nettement moindre pour une performance équivalente (16).

### Quelques définitions opérationnelles

Nous proposons les définitions opérationnelles suivantes pour permettre une bonne compréhension de certains termes techniques utilisés dans ce manuscrit:

- Cathétérisme : vient du mot grec « kathetêr » qui signifie « sonde ». Le cathétérisme cardiaque est donc l'introduction d'un tube radio-opaque, flexible appelé « sonde » à travers les vaisseaux et cavités cardiaques afin de les « sonder » dans un but diagnostique ou thérapeutique. La radio-opacité des sondes permet leur visualisation ainsi que le suivi de leur progression à l'aide des rayons X sur un écran de radioscopie. A travers la sonde ou le cathéter, on peut injecter un produit de contraste ou y faire passer du matériel d'intervention percutanée comme les ballons, les prothèses ou les stents.
- Cathétérisme cardiaque interventionnel ou cardiologie interventionnelle: domaine de la cardiologie dans lequel le cathétérisme cardiaque vise à corriger temporairement ou définitivement les malformations cardiaques ou vasculaires en utilisant du matériel introduit par voie percutanée tel que prothèses, ballons, stents, ...
- Manœuvre de Rashkind ou Atrioseptostomie au ballonnet: manœuvre réalisée dans certaines malformations cardiaques consistant à élargir le foramen ovale grâce à une sonde au bout de laquelle se trouve un ballonnet que l'on gonfle lorsque l'extrémité de la sonde se trouve dans l'oreillette gauche et qu'on tire brusquement vers l'oreillette droite ou la veine cave inférieure pour déchirer au passage le septum inter-auriculaire. Ce geste vise à obtenir un mélange sanguin suffisant entre la petite et la grande circulation, permettant ainsi de différer une intervention chirurgicale, seul moyen d'assurer une réparation complète ou partielle.
- Angioplastie : dilatation d'un vaisseau sténosé à l'aide d'un ballon dilaté sous pression. Ce geste est parfois suivi de la mise en place d'un stent dans le but d'éviter une nouvelle sténose.
- Valvuloplastie : dilatation au ballon d'une valve intracardiaque. Lorsque la valve pulmonaire présente par exemple une régurgitation post-opératoire (Tétralogie de Fallot), il est actuellement possible de la remplacer par un stent à l'intérieur duquel une valve jugulaire de bœuf a été cousue, de façon à réaliser un remplacement valvulaire par voie percutanée.
- Coronarographie: opacification des vaisseaux coronaires à l'aide d'un produit de contraste. On peut ainsi détecter d'éventuelles sténoses ou anévrismes coronaires. La coronarographie peut être suivie par une angioplastie avec ou sans pose de stent.
- Stent : petit dispositif métallique cylindrique que l'on insère au niveau d'un vaisseau sanguin rétréci. Le stent sert à distendre suffisamment le vaisseau pour permettre un meilleur écoulement du flux sanguin. Le stent est dilaté en fonction des dimensions natives du vaisseau et de l'âge du patient. Il

peut aussi être « valvé » avec une valve jugulaire de bœuf, comme décrit ci-dessus. C'est le cas de la valve Melody® (17).

- Prothèse : c'est une sorte d'ombrelle, souvent métallique, que l'on place au niveau d'une communication ou d'un vaisseau anormal en vue de son occlusion. Il en existe plusieurs modèles selon les fabricants et selon les pathologies dans lesquelles elles sont utilisées. Pour une même pathologie, plusieurs modèles de prothèses sont disponibles. En Amérique du Nord, certains modèles de prothèses ne sont toutefois pas homologués par l'Organisme chargé de contrôle de l'alimentation et des médicaments (Food and Drug Administration), alors qu'ils sont utilisés en pratique courante en Europe.
- Coïl : petit dispositif souvent en forme de touffe poilue, de rouleau ou de boucle permettant d'obstruer certains vaisseaux anormaux.

La mise en place de ces prothèses ou de ces stents ne date que du début des années 90 et n'a par conséquent, pas encore fait la preuve de sa totale innocuité. Cependant, à moyen terme, ce matériel semble très bien toléré par l'organisme, et il n'existe virtuellement pas d'effets secondaires systémiques décrits, en dehors des accidents techniques (embolisations, perforations de paroi, etc.).

### **Procédures, types et matériel de cathétérisme cardiaque**

Un cathétérisme cardiaque peut être réalisé soit dans un seul but diagnostique (de plus en plus rare), soit dans un but thérapeutique (interventionnel) ou encore en complément à une chirurgie cardiaque par thoracotomie ou stérnotomie (procédure hybride).

#### *Types de cathétérisme cardiaque*

Il existe différentes techniques de cathétérisme, et selon les voies d'abord, on distingue :

- Cathétérisme droit : il consiste à opacifier le cœur droit c'est-à-dire les veines systémiques, l'oreillette et le ventricule droits ainsi que les artères pulmonaires et leur lit capillaire. Le trajet du cathéter suit toute veine périphérique d'un calibre assez large pour remonter vers le cœur. La voie d'abord est habituellement une veine fémorale droite, mais on peut également accéder au cœur droit par la veine fémorale gauche, une veine sous-clavière, jugulaire, radiale ou brachiale. L'abord trans-hépatique peut également être utilisé sous contrôle échographique dans les autres voies d'accès sont thrombosées. Chez le nouveau-né, la veine ombilicale est souvent utilisée, notamment pour les septostomies au ballonnet.
- Cathétérisme gauche : c'est l'opacification du cœur gauche, qui comprend les artères systémiques (l'aorte et ses branches), et le ventricule gauche. La ponction est généralement réalisée au niveau de l'artère fémorale et le cathéter est avancé par voie rétrograde vers le ventricule gauche en passant par l'artère iliaque et l'aorte (dans ses différents segments : abdominale, thoracique, horizontale, ascendante). Dans ce cathétérisme gauche, il est indispensable d'administrer de l'héparine intraveineuse au patient afin de prévenir une thrombose artérielle ou des embolisations de caillots (18).

Cathétérisme gauche et droit peuvent bien évidemment être combinés chez le même patient. La voie d'accès est choisie en fonction de la procédure à réaliser et des antécédents vasculaires du patient (anatomie spécifique (interruption de la veine cave inférieure par exemple), thrombose artérielle ou veineuse,). Plusieurs voies d'abord sont parfois nécessaires pour une seule procédure.

#### *Procédure du cathétérisme cardiaque*

Nous reprenons ici les principales étapes d'un cathétérisme cardiaque:

- Préparation du matériel à utiliser.
- Désinfection cutanée de la (des) voie(s) d'accès.
- Repérage de la voie d'abord : veine et/ou artère selon le type de KT.
- Introduction d'une aiguille dans la veine ou dans l'artère selon la technique de Seldinger. Dès le reflux du sang, on introduit un guide métallique très fin et flexible, sur lequel un introducteur valvé sera ensuite avancé. La dimension de l'introducteur est fonction du poids du patient et de la procédure à réaliser. L'introducteur comprend une valve hémostatique à son extrémité libre. Dès que l'introducteur est en place, on procède au retrait du guide.
- Introduction d'une sonde à travers le dilatateur jusqu'au niveau des cavités cardiaques ou des vaisseaux à explorer. Le trajet de la sonde est suivi sur un écran par fluoroscopie.
- Procédure proprement dite selon les cas : diagnostique, électrophysiologique ou interventionnelle.

#### *Matériel et salle de cathétérisme cardiaque*

Une salle ou un laboratoire classique de cathétérisme cardiaque ('cathlab' pour les anglosaxons) est semblable à une salle d'opération chirurgicale dans laquelle serait disponible un appareil de radiologie conventionnelle ou numérisée afin de permettre l'acquisition et le stockage des images réalisées en cours de procédure. Le laboratoire de cathétérisme cardiaque est aussi doté du matériel nécessaire aux mesures hémodynamiques (courbes de pression), aux injections intravasculaires de produit de contraste et au stockage définitif des données recueillies pendant la procédure. Une salle technique est nécessairement couplée à la salle de cathétérisme. L'utilisation des rayons X pour la production des images nécessite l'emploi de vêtements de protection, comme des tabliers en plomb protégeant les organes plus sensibles (médiastin, thyroïde, gonades), des lunettes plombées protégeant les cristallins, ou encore

des écrans plombés interposés entre l'opérateur et le patient.

En plus de la salle de cathétérisme, une diversité importante de matériel utilisée dans les procédures percutanées : aiguilles de ponction, seringues, introducteurs, dilatateurs, bassins réniformes, guides, différents types de sondes ainsi que des prothèses ou des ballons de dilatation de multiples tailles ...

Dans un pays à ressources faibles, il est important d'innover en vue de minimiser les coûts d'achat de tout ce matériel sans sacrifier la fiabilité, l'efficacité et la sûreté des procédures. C'est l'expérience que Senga *et al.* ont déjà publiée sur base d'une pratique au Rwanda, ce avec des résultats probants (19).

Certaines procédures ne nécessitent pas absolument l'usage de radiations. L'usage d'une échographie cardiaque trans-thoracique, voire trans-œsophagienne, peut minimiser fortement le temps d'exposition aux rayons X (10, 20, 21).

#### *Anesthésie*

Durant la procédure de cathétérisme cardiaque diagnostique ou thérapeutique, le malade est généralement soumis à une sédation avec anesthésie locale du point de ponction ou à une anesthésie générale, suivant le cas, la durée et le type d'intervention envisagée (12, 22-25). Certains auteurs recommandent que la sédation soit proposée uniquement par des praticiens habitués et connaissant la physiologie spécifique des cardiopathies congénitales. Une supplémentation en oxygène, une ventilation assistée ou mécanique, les modifications de l'équilibre acido-basique ou les altérations des résistances systémiques et/ou pulmonaires pourraient fausser l'interprétation des données diagnostiques (22).

#### *Les interventions proprement dites*

Le cathétérisme cardiaque interventionnel chez les enfants concerne dans la plupart de cas les affections congénitales nécessitant soit une occlusion d'une communication anormale soit une dilatation d'un vaisseau ou d'une valve,

alors que chez les adultes, il concerne majoritairement les anomalies des coronaires.

Dans cette revue, nous voulons traiter essentiellement de ce qui se fait en pédiatrie. Nous allons brièvement décrire les différentes pathologies cardiovasculaires prises en charge par cathétérisme selon les types d'intervention percutanée.

\* Pathologies traitées par la mise en place d'une prothèse

*La communication inter-auriculaire* : elle représente entre 19 et 20% de toutes les cardiopathies congénitales (1, 2). C'est un orifice ouvert dans le septum séparant les 2 oreillettes. Il existe 4 types de CIA : CIA primum, secundum, sinus venosus et sinus coronaire. Seule la CIA secundum ayant suffisamment des berges libres pouvant permettre l'ancrage de la prothèse peut bénéficier de la fermeture percutanée. Cependant, la fermeture percutanée de CIA sinus coronaire n'a déjà été rapportée que dans quelques rares cas (26, 27).

La CIA entraîne une surcharge volumétrique des cavités droites et majore le débit et la saturation au niveau pulmonaire. Il est indispensable de fermer une CIA si l'enfant est symptomatique ou si le rapport des débits (débit pulmonaire sur le débit systémique (Qp/Qs) dépasse un certain seuil. Dans leur série concernant des enfants de moins de 12 mois porteurs de CIA, Thomas *et al* (9) avaient en moyenne un Qp/Qs égal à 1,6. La prise en charge est réalisée par voie droite, avec mise en place d'une ombrelle. L'intervention consiste à obstruer le défaut interauriculaire grâce une prothèse (8, 11, 12, 28-30). Chaque type d'ombrelle a ses caractéristiques physico-chimiques et une conformation propre selon le fabricant mais le taux de réussite varie globalement entre 88 et 97% selon les séries (8, 11). Parmi les complications décrites, nous pouvons citer la persistance d'un shunt résiduel (8, 11) pouvant souvent régresser avec le temps (8), des troubles de rythme cardiaque (11), l'embolisation ou la migration de la prothèse dans le ventricule gauche ou l'aorte (11, 19) ou

même l'érosion de la racine de l'aorte lorsqu'il n'y a pas suffisamment de berges pour permettre une fixation de la prothèse au centre de la paroi auriculaire. Dans la majorité de cas, la procédure est très bien tolérée, et on observe une régression des symptômes endéans quelques semaines (9). La croissance des septum interauriculaire n'est pas perturbée, même si la mise en place de la prothèse a été réalisée tôt dans la vie (28).

*Le foramen ovale perméable (FOP)*: c'est la persistance d'un foramen ovale au-delà de la période néonatale. Dans leur publication, Bhardwaj *et al.* n'avaient retenu que les enfants dont l'âge était supérieur à 3 mois comme ayant un FOP (2). Ce dernier peut être mis en évidence à l'échographie cardiaque trans-thoracique ou trans-oesophagienne ou par le Doppler Trans-crânien. Il se présente sous forme d'un septum interauriculaire anévrysmal, avec une valvule de Vieussens plus ou moins mobile. Considéré comme banal chez les enfants et les jeunes, il est incriminé chez certains adultes dans la survenue de cas des migraines ou d'accidents vasculaires cérébraux consécutifs à des embolies paradoxales (31-33). Des cas d'AVC consécutif au FOP ont été pareillement décrits chez des enfants (34).

*La communication interventriculaire* : Selon la plupart des travaux, la CIV serait la plus fréquente de toutes les cardiopathies congénitales (1, 2), et consiste en un défaut dans le septum interventriculaire. On distingue, selon les auteurs 4 ou 5 types de CIV (péri-membraneuse, musculaire, sous-aortique et sous-pulmonaire) mais seules certaines CIV musculaires et péri-membraneuses peuvent être occluses par voie percutanée. Pour leur fermeture, différentes prothèses adaptées sont disponibles selon le type de CIV, afin de ne pas entraîner des lésions érosives aortiques (35-37). On peut également fermer certaines CIV antérieures par voie hybride, grâce à une sternotomie inférieure minimale (36).

*La persistance du canal artériel (PCA) :* le canal artériel est un vaisseau embryologique indispensable à la vie intra-utérine. Sa perméabilité au-delà de la période néonatale peut être à la base d'une décompensation cardiaque tandis que chez les prématurés, il peut entraîner des hémorragies cérébrales ou pulmonaires, une entérocolite ulcéro-nécrosante ou une insuffisance rénale. La persistance du canal artériel est une pathologie fréquente. Elle représente environ 8-10% des cas de cardiopathies congénitales (1, 2). Dans ces cas et en tous cas au-delà de l'âge de 1 an, sa fermeture est obligatoire, et peut être réalisée par des prothèses ou par des coïls (19, 38-39). Les suites après la procédure sont habituellement simples.

*Les shunts vasculaires anormaux :* un large éventail des anomalies vasculaires peuvent être traitées par cathétérisme interventionnel : il peut s'agir des fistules artério-veineuses pulmonaires ou paravertébrales, de fistules coronaires, de collatérales artérielles aorto-pulmonaires (MAPCAs) ou veino-veineuses systémiques, ou encore de certains shunts chirurgicaux tel que le shunt de Blalock-Taussig modifié ou le shunt central (40-44). L'embolisation de ces shunts anormaux ou chirurgicaux peut également se faire en utilisant soit des coïls soit des prothèses.

Pathologies traitées par une angioplastie ou une valvuloplastie au ballon

*Sténose valvulaire :* lorsqu'elle est symptomatique et que le gradient de pression dépasse un seuil donné suivant la valve concernée (en général > 70 mmHg), il est nécessaire de procéder à l'angioplastie au ballon de la valve sténosée. Plusieurs modèles de ballon existent dans le commerce. Il existe des ballons de dimensions variables, à haute, moyenne ou basse pression. Le modèle et le type de ballon à utiliser dépendent de la valve pathologique et parfois de l'opérateur lui-même. La dilatation de la sténose valvulaire pulmonaire est la procédure la plus fréquente (45-47). La sténose mitrale (48,

49) et aortique (50, 51) peut aussi bénéficier de l'angioplastie. Plus rare, la sténose tricuspide peut également être dilatée par voie percutanée (52, 53). Il importe de bien calibrer les dimensions du ballon en fonction de l'anneau valvulaire du patient, au risque de créer une insuffisance valvulaire significative (49, 54). Cette angioplastie peut être effectuée à divers âges, et même pendant la grossesse si nécessaire (49)

*Sténose vasculaire :* tout vaisseau présentant une sténose peut être dilaté, avec ou sans pose d'un stent. Il peut s'agir de la coarctation de l'aorte, dans ses diverses localisations et manifestations, selon le matériel utilisé et à différents âges de sa découverte (55-63), de la sténose pulmonaire ou des branches pulmonaires (10, 64) ou de la sténose de l'artère rénale (65). Lorsqu'un dépôt d'athérome conduit à une réduction du calibre d'un vaisseau, avant ou après la pose d'un stent, on peut procéder, à l'aide d'un rotablator, à une sorte de « polissage » de l'endothélium vasculaire (66). Cette indication est toutefois exceptionnelle en pédiatrie.

Remplacement valvulaire percutané pour insuffisance avec ou sans sténose associée: Le remplacement ou l'implantation valvulaire par cathétérisme cardiaque est une innovation de ces dernières années et devient de plus en plus une alternative à la chirurgie (17, 53, 67, 68). Dans le décours des premiers remplacements de la valve pulmonaire par la valve Melody<sup>®</sup>, ce type de procédure concerne actuellement les maladies de toutes les valves cardiaques : aortique, mitrale et tricuspide (53, 69-73). Les résultats sont excellents bien que le coût de ces « valves de remplacement » demeure encore élevé. Au total, le remplacement valvulaire par cathétérisme a pourtant beaucoup plus d'avantages que la chirurgie pour les résultats semblables, et son remboursement par les systèmes de soins de santé serait cohérent sur le plan financier et médical.

Pathologies traitée par la mise en place d'un stent

*La coarctation de l'aorte* : habituellement localisée au niveau de l'isthme aortique (aorte thoracique descendante dans sa partie supérieure), la coarctation aortique peut autant concerner les autres segments de l'aorte thoracique ou abdominale. Dans ce dernier cas, on parle de Middle syndrome. Les manifestations cliniques sont dominées par des signes de défaillance cardiaque gauche, une hypertension artérielle aux membres supérieurs ou des douleurs abdominales. Le diagnostic est fortement suspecté cliniquement lorsqu'il y a une différence de perception des pouls et de la tension artérielle entre les membres supérieurs et inférieurs. Dans ce cas, c'est un cathétérisme gauche qui est réalisé en vue d'une dilatation au ballon avec ou sans pose d'un stent au niveau de la sténose puis de sa dilatation à l'aide d'un ballon (55, 56, 60, 72, 73). Plusieurs modèles de stents et notamment des stents 'couverts' par une membrane de Goretex, sont disponibles pour le stenting de l'aorte.

*La sténose des coronaires* : on procède à un cathétérisme gauche; après une coronarographie permettant de visualiser le système artériel coronaire, une dilatation ou la pose d'un stent est réalisée au niveau du segment rétréci. Essentiellement réalisée chez les adultes, cette procédure a déjà été rapportée chez les enfants porteurs d'une sténose coronarienne (74, 75), notamment dans la phase chronique de la maladie de Kawasaki.

Toute pathologie ducto-dépendante dans le but de garder perméable le canal artériel de façon permanente. Dans ce cas, il est nécessaire de garder totalement ouvert le canal artériel afin de faciliter le passage du flux sanguin vers les poumons ou vers l'aorte. On procédera à la mise en place d'un stent dans la lumière du canal artériel, suivi de son inflation grâce à un ballon (76, 77). C'est donc une alternative aux shunts

chirurgicaux dans les cas des cardiopathies ducto-dépendantes.

#### Autres procédures d'interventions

*Ablation d'un foyer ectopique* : lorsqu'un trouble de rythme cardiaque est secondaire à l'existence d'un foyer ectopique, on peut procéder à son ablation percutanée en utilisant une sonde ou un cathéter de radiofréquence (78). Cette méthode est utilisée en électrophysiologie interventionnelle.

La radiofréquence peut autant être utilisée pour la perforation de la valve pulmonaire en cas d'atrésie pulmonaire à septum interventriculaire intact (79). Cette procédure est devenue une approche standard dans cette pathologie complexe.

Une Biopsie endomyocardique (80) peut être aussi effectuée lors d'un cathétérisme interventionnel, à visée diagnostique (évaluation de rejet post-transplantation, bilan de myocardite ou de maladie métabolique, ...).

#### Avantages du cathétérisme cardiaque interventionnel

Ceux-ci sont nombreux. Citons par exemple:

- Les avantages socio-économiques : plusieurs études ont démontré que le coût lié au cathétérisme cardiaque interventionnel est moins onéreux que celui de la chirurgie classique (81), bien que quelques rares publications semblent l'infirmer (82).
- Les avantages liés à la durée de séjour hospitalier : le malade qui bénéficie d'une procédure de traitement percutané reste généralement 2 à 3 jours à l'hôpital, quelques soit l'importance de la pathologie. Il faut cependant signaler qu'il est impérieux de surveiller le patient pendant au moins 24h après la réalisation du cathétérisme. Par ailleurs, il n'est pas habituel de transférer le patient aux soins intensifs après la prise en charge percutanée.
- Les avantages liés au confort du malade : généralement, le malade ne ressent pas de

douleur autant qu'il en aurait en cas de chirurgie cardiaque.

- Les avantages liés à l'esthétique par l'absence d'une cicatrice de stérnotomie ou de thoracotomie, sachant que certaines cicatrices deviennent disgracieuses en post-opératoire chirurgical.

### Complications et accidents

La plupart des articles montrent la faisabilité, la sécurité et la très bonne tolérance de la plupart des procédures percutanées (12, 64, 83), même dans des milieux moins équipés (19). Diverses complications, parfois graves, ont néanmoins été déplorées pendant ou dans le décours de cathétérismes cardiaques. En terme d'incidence, ces accidents restent marginaux. Au nombre de ces complications, celles qui semblent plus fréquentes sont essentiellement des complications hémorragiques, thrombo-emboliques ou ischémiques (18, 84-89) pouvant évoluer jusqu'à l'amputation d'un membre. Des lésions valvulaires (48, 90), une endocardite (surtout sur des valves percutanées) (68, 91), des lésions des artères pulmonaires (51), une embolisation des prothèses (19, 92), une érosion cardiaque (93) et des troubles de rythme cardiaque (11, 92) sont parfois observées, principalement lorsqu'il s'agit d'une procédure interventionnelle. Des rares cas de formation de nouvelles cardiopathies, par exemple d'une communication inter-auriculaire ou d'une coarctation aortique, ont été publiés (94, 95). Dans les cas de complication sévère, la mortalité liée directement au cathétérisme cardiaque n'est pas nulle (45, 46). Enfin, le développement des cancers chez des patients ayant subi un ou plusieurs cathétérismes dans l'enfance a aussi fait l'objet des études récentes assez larges (96) incriminant principalement les radiations utilisées lors de la fluoroscopie. Des études multicentriques internationales sont d'ailleurs toujours en cours pour évaluer plus précisément ce risque.

### Conclusion

Le développement du cathétérisme cardiaque interventionnel apporte une alternative crédible et sûre à la chirurgie cardiaque. Certes, la chirurgie cardiaque avec ou sans circulation extracorporelle reste le « gold standard » dans la prise en charge de nombreuses cardiopathies, tant congénitales qu'acquises. Le cathétérisme se pratique de moins en moins à visée uniquement diagnostique. La proportion de cathétérismes interventionnels ou de procédures hybrides en salle d'opération est en croissance constante. Les avantages du cathétérisme cardiaque interventionnel sont nombreux et le seront davantage avec l'amélioration technique du matériel utilisé. Les techniques encore exploratoires telles que l'association du cathétérisme à l'imagerie par résonance magnétique devrait d'ailleurs aller dans ce sens, tout en permettant de diminuer les effets néfastes des radiations ionisantes encore employées de nos jours dans l'énorme majorité des centres. Le chemin est long, mais il est rempli de perspectives encourageantes, particulièrement pour les enfants des pays à ressources limitées.

### Références

1. Liu F, Yang Y-N, Xie X, Li X-M, Ma X, Fu Z-Y *et al* Prevalence on Congenital Heart Disease in Xinjiang Multi-Ethnic Region of China. *PloS ONE* 2015 ; **10**: 11.
2. Bhardwaj R, Rai SK, Yadav AK, Lakhota S, Agrawal D, Kumar A, Mohapatra B. Epidemiology of Congenital Heart Disease in India. *Congenit Heart Dis.* 2015; **10**: 437-446
3. Hoffmann JJ, Kaplan S. Incidence of congenital heart disease. *J Am Coll Cardiol* 2002 ; **39** :1890-1900.
4. Suliman A. The state of heart disease in Sudan. *Cardiovasc J Afr* 2011 ; **22**:191-196.
5. Nikyar B, Sedehi M, Mirfazeli A, Qorbani M, Golalipour M-J. Prevalence and pattern of congenital heart disease among neonates in Gorgan, Northern Iran (2007-2008). *Iran J Pediatr* 2011 ; **21**:307-312.
6. Hoffman JJ. The global burden of congenital heart disease. *Cardiovasc J Afr* 2013 ; **24**:141-145.

7. Tomita H, Haneda N, Higaki T, Kataoka K. Successful introduction of interventional catheterisation and other paediatric cardiology services in a developing country. *Cardiol Young*. 2013; **23**:405-408.
8. Bishnoi RN, Everett AD, Ringel RE, Owada CY, Holzer RJ, Chisolm JL, Radtke WA, Scott Lim D, Rhodes JF Jr, Coulson JD. Device closure of secundum atrial septal defects in infants weighing less than 8 Kg. *Pediatr Cardiol* 2014; **35**: 1124-1131.
9. Thomas VC, Vincent R, Raviele A, Diehl H, Qian H, Kim D. Transcatheter closure of secundum atrial septal defect in infants less than 12 months of age improves symptoms of chronic lung disease. *Congenit Heart Dis*. 2012; **7**:204-411.
10. Galal MO, Jadoon S, Momenah TS. Pulmonary valvuloplasty in a pregnant woman using transthoracic echo guidance: technical considerations. *Can J Cardiol* 2015 ; **31**:5-7.
11. Godart F, Houeijeh A, Recher M, Francart C, Polge AS, Richardson M, Cajot MA, Duhamel A. Transcatheter closure of atrial septal defect with the Figulla ASD Occluder: a comparative study with the Amplatzer Septal Occluder. *Arch Cardiovasc Dis* 2015 ; **108**:57-63.
12. Hanslik A, Moysich A, Laser KT, Mlczech E, Kececioglu D, Haas NA. Percutaneous closure of atrial septal defects in spontaneously breathing children under deep sedation: a feasible and safety concept. *Pediatr Cardiol* 2014 ; **35**:215-222.
13. Noonan JA. A history of Pediatric specialties: The development of Pediatric cardiology. *Pediatr Res* 2004 ; **56** :298-306
14. Rashkind WJ, Miller WW. Creation of an atrial septal defect without thoracotomy: a palliative approach to complete transposition of great arteries. *JAMA* 1966 ; **196** :991-992.
15. Petit CJ, Rome JJ, Wernovsky G, Mason SE, Shera DM, Nicolson SC, Montenegro LM, Tabbutt S, Zimmerman RA, Lich DJ. Preoperative Brain Injury in Transposition of the Great Arteries Is Associated With Oxygenation and Time to Surgery, Not Balloon Atrial Septostomy. *Circulation* 2009; **119**: 709-716.
16. Van Aeschot I, Iserin L, Boudjemline Y. Le cathétérisme interventionnel dans les cardiopathies congénitales adultes. *La lettre du Cardiologue* 2012 ; **454-455** : 15-21.
17. Fraisse A, Aldebert P, Malekzadeh-Milani S, Thambo JB, Piéchaud JF, Aucoururier P, Chatelier G, Bonnet D, Iserin L, Bonelle B, Assaidi A, kammache J, Boudjemline Y. Melody Transcatheter pulmonaty valve implantation: results from a French registry. *Arch Cardiovasc Dis* 2014 ; **107** :607-614.
18. Burzotta F, Trani C, Mazzari MA, Tommasino A, Niccolo G, Porto I, Leone AM, Tinelli G, Coluccia V, De Vita M, Brancati M, Mongiardo R, Schiavoni G, Crea F. Vascular complications and access crossover in 10,676 transradial percutaneous coronary procedures. *Am Heart J* 2012; **163**:230-238.
19. Senga JL, Rusingiza E, Mucumbi J, Binagwaho A, Suys B, Lys C, Carbonez K, Ovaert C, Sluysmans T. Catheter Interventions in Congenital Heart Disease Without Regular Catheterization Laboratory Equipment: The Chain of Hope Experience in Rwanda. *Pediatr Cardiol* 2013; **34**:39-45.
20. Tanidir IC, Guzeltas A, Ergul Y, Ozturk E, Ozyilmaz I, Odemis E. Transcatheter patent ductus arteriosus closure with echocardiographic guidance: can radiation exposure be reduced? *Turk Kardiyol Dern Ars* 2014 ; **42**: 643-650.
21. Bartakian S, El-Said HG, Printz B, Moore JW. Prospective Randomized Trial of Transthoracic Echocardiography Versus Transesophageal Echocardiography for Assessment and Guidance of Transcatheter Closure of Atrial Septal Defects in Children Using the Amplatzer Septal Occluder. *JACC: Cardiovascular Interventions*. 2013; **6**: 974-980.
22. Bernard PA, Ballard H, Schneider D. Current approaches to pediatric heart catheterizations. *Pediatric Reports* 2011; **3**:93-96.
23. Lam JE, Lin EP, Alexy R, Aronson LA. Anaesthesia and the pediatric cardiac catheterization suite: a review. *Paediatr Anaesth*. 2015 ; **25**:127-134.
24. Hamid M. Anesthesia for cardiac catheterization procedures. *Heart, Lung and Vessels* 2014; **6**: 225-231.
25. Karagöz AH, Anka-Yılbas A, Kanbak M, Tümer M, Özkutlu S, Karagöz T. Anesthesia for percutaneous transcatheter closure of atrial and ventricular septal defects in pediatric patients. *The Turkish Journal of Pediatrics* 2013; **55**: 628-632.
26. Santoro G, Gaio G, Russo MG. Transcatheter treatment of unroofed coronary sinus. *Catheter cardiovasc Interv* 2013 ; **81** : 849-852.
27. Wang JK, Chen SJ, Hsu JY, Lin SM, Lin MT, Chiu SN, Chen CA, Wu MH. Midterm follow-up results of transcatheter treatment in patients with unroofed coronary sinus. *Catheter Cardiovasc Interv* 2014 ; **83**: 243-249.
28. Gossett JG, Mansfield L, Acevedo J, Lay AS, Rychlik K, Wax DF. Growth of the atrial septum after amplatzer device closure of atrial septal

- defects in young children. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2015 ; **86**:1041-1047
29. Mortezaeian H, Zanjani KS, Rad EM. Transcatheter Atrial Septal Defect Closure Using Occlutech Figulla Device: A Two-Center Experience. *J Tehran Heart Cent.* 2013; **8**: 197-201.
  30. Ko HK, Kang SY, Yu JJ, Ko J-K, Kim Y-H. Small Left Atrial Size Complicating Percutaneous Transcatheter Device Closure of Secundum Atrial Septal Defect with Conventional Approach. *Korean Circ J* 2015; **45**: 216-224
  31. Bang OY, Lee MJ, Ryoo S, Kim SJ, Kim JK. Patent Foramen Ovale and Stroke—Current Status. *Journal of Stroke* 2015; **17**:229-237.
  32. Davis D, Gregson J, Willeit P, Stephan B, Salman RA-S, Brayne C. Patent Foramen Ovale, Ischemic Stroke and Migraine: Systematic Review and Stratified Meta-Analysis of Association Studies *Neuroepidemiology* 2013; **40**:56–67.
  33. Sevgi EB, Erdener SE, Demirci M, Topcuoglu MA, Dalkara T. Paradoxical Air Microembolism Induces Cerebral Bioelectrical Abnormalities and Occasionally Headache in Patent Foramen Ovale Patients With Migraine. *J Am Heart Assoc.* 2012; **1**: 8
  34. Hill J, Preminger T. Percutaneous PFO closure for paradoxal stroke in 8-Kg twins. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2014 ; **84**: 110-113.
  35. Pineda AM, Mihos CG, Singla S, Santana O, Rhodes J 3rd, Sommer RJ, Rihal CS, Brohar N. Percutaneous closure in Intracardiac defects in Adults : state of the art. *J invasive Cardiol* 2015 ; **27**: 561-572.
  36. Wang S, Zhuang Z, Zhang H, Zhen J, Lu Y, Liu J, Xu Z. Periventricular closure of perimembranous ventricular septal defects using the concentric occluder device. *Pediatr Cardiol* 2014 ; **35**: 580-586.
  37. Lee SM, Song JY, Choi JY, Lee SY, Park JS, Chang SI, Shim WS, Kim SH. Transcatheter closure of perimembranous ventricular septal defect using Amplatzer ductal occluder. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2013 ; **82**: 1141-1146.
  38. Baruteau A-E, Hascoët S, Baruteau J, Boudjemline Y, Lambert V, Angel C-Y, Belli E, Petit J, Pass R. Transcatheter closure of patent ductus arteriosus: Past, present and future. *Archives of Cardiovascular Disease* 2014; **107**: 122-132.
  39. Kumar RK, Nair AC. Coil occlusion of the large patent ductus arteriosus. *Images Paediatr Cardiol* 2008 ; **10**:8-26.
  40. Mulligan PR, Prajapati HJS, Martin LG, Patel TH. Vascular anomalies: classification, imaging characteristics and implications for interventional radiology treatment approaches. *Br J Radiol* 2014; **87**:20130392.
  41. Jariwala P, Ramesh G, Chandra KS. Congenital anomalous/aberrant systemic artery to pulmonary venous fistula: Closure with vascular plugs & coil embolization. *Indian heart journal* 2014; **66**: 95-103.
  42. Munawar M, Siswanto BB, Harimurti GM, Nguyen TN. Transcatheter closure of coronary artery fistula using Guglielmi detachable coil. *Journal of Geriatric Cardiology* 2012; **9**: 11–16.
  43. Vaidya S, Cooke D, Kogut M, Stratil PG, Bittles MA, Sidhu M. Imaging and percutaneous treatment of vascular anomalies. *Seminars in interventional radiology* 2008; **25**: 216-33.
  44. Farhat N, Desprechins B, Otto B, Ramaekers V, Seghaye M-C. Paraspinal arterio-venous fistula in children: two more cases of an exceptional malformation. *Clin Pract* 2015; **5**:707.
  45. Ostovan MA, Maliheh Kamali M, Zolghadrasli A. A Case of Fatal Acute Lung Injury after Balloon Valvuloplasty of Pulmonary Stenosis: Case Report and Review of Literature. *J Cardiovasc Thorac Res.* 2015;**7**: 78-80.
  46. Ghaffari S, Ghaffari MR, Ghaffari AR, Sagafy S. Pulmonary valve balloon valvuloplasty compared across three age groups of children. *International Journal of General Medicine* 2012; **5**:479-482.
  47. Behjati MA, Moshtaghion SH, Rajaei S. Long-term Results of Balloon Pulmonary Valvuloplasty in Children with Congenital Pulmonary Valve Stenosis. *Iran J Pediatr* 2013;**23**:32-36.
  48. Aslanabadi N, Toufan M, Salehi R, Alizadehasl A, Ghaffari S, Sohrabi B, Separham A, Manafi A, Mehdizadeh MB, Habibzadeh A. Mitral Regurgitation after Percutaneous Balloon Mitral Valvotomy in Patients with Rheumatic Mitral Stenosis: A Single-Center Study. *J Tehran Heart Cent* 2014; **9**:109-114.
  49. Joshi HS, Deshmukh JK, Prajapati JS, Sahoo SS, Vyas PM, Patel IB. Study of Effectiveness and Safety of Percutaneous Balloon Mitral Valvulotomy for Treatment of Pregnant Patients with Severe Mitral Stenosis. *J Clin Diagn Res.* 2015; **9**: 14-17.
  50. Czarny MJ, Resar JR. Diagnosis and Management of Valvular Aortic Stenosis. Clinical Medicine insights: *Cardiology* 2014; **8**: 15-24.
  51. Lindman BR, Bonow RO, Otto CM. Current Management of Calcific Aortic Stenosis *Circ Res.* 2013; **113**: 223–237.
  52. Petrou E, Vartela V, Girasis C, Boutsikou M, Iakovou I, Pavlides G. Balloon Valvuloplasty for

- Bioprosthetic Tricuspid Valve Stenosis. Images in Cardiovascular Medicine. *Korean circulation journal* 2014; **44**:128-129.
53. Wagner R, Daehnert I, Lurz P. Percutaneous pulmonary and tricuspid valve implantations: *An update World J Cardiol* 2015; **7**: 167-177.
  54. Sadr-Ameli M, Heidarali M, Saedi S, Saedi T, Firoozi A, Madani M, Bakhshandeh H. Natural History of Aortic Regurgitation following Percutaneous Mitral Valvuloplasty. *Res Cardiovasc Med.* 2013; **2**: 50-54.
  55. He L, Liu F, Wu L, Qi C-H, Zhang L-F, Huang G-Y. Percutaneous Balloon Angioplasty for Severe Native Aortic Coarctation in Young Infants Less Than 6 Months: Medium-to Long-term Follow-up. *Chinese Medical Journal* 2015; **128**:1021-1025.
  56. Kook H, Rha S-W, Kim W, Kim DH, Lee S, Oh S-K, Ahn TH, Shim WH. A Case of Successful Bare Metal Stenting for Aortic Coarctation in an Adult. *Korean Circ J* 2013; **43**: 269-272.
  57. Rodríguez-Iturbe B, García GG. Coarctation of the aorta. *Arch Med Sci* 2012; **8**: 14-16.
  58. Jurcut R, Daraban AM, Lorber A, Deleanu D, Amzulescu MS, Zara C, Popescu BA, Gînghină C. Coarctation of the aorta in adults: what is the best treatment? Case report and literature review. *Journal of Medicine and Life* 2011; **4**: 189-195.
  59. Sloan B, Simons S, Stromwall A. Abdominal coarctation in a hypertensive female collegiate basketball player. *Br J Sports Med* 2004; **38**: E20.
  60. Suradi H, Hijazi ZM. Current management of coarctation of the aorta. *Global Cardiology Science and Practice* 2015; **44**: 1-11
  61. Jha NK, Tofeig M, Kumar RK, ElTahir A, Athar SM, AlHakami A, Khan A, Khan MD. Stent dilatation of atretic aortic coarctation in an adult-case report and literature review. *Journal of Cardiothoracic Surgery* 2016; **11**:10
  62. Kamperidis V, Hadjimiltiades S, Ziakas A, Sianos G, Kazinakis G, Giannakoulas G, Mouratoglou S-A, Sarafidou A, Ventoulis J, Efthimiadis GK, Parcharidis G, Karvounis H. Balloon valvuloplasty as destination therapy in elderly with severe aortic stenosis: a cardiac catheterization study. *J Geriatr Cardiol* 2015; **12**: 218-225.
  63. Wilkins-Haug LE, Tworetzky W, Benson CB, Marshall AC, Jennings RW, Lock JE. Factors affecting technical success of fetal aortic valve dilation. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2006; **28**: 47-52.
  64. Ko HK, Kim Y-H, Yu JJ, Ko J-K, Park I-S, Seo D-M, Yun T-J, Park J-J, Jang WS. Effectiveness and Safety of Percutaneous Transcatheter Implantation of Pulmonary Arterial Stent in Congenital Heart Disease. *Korean Circ J* 2012; **42**: 40-45.
  65. Jokhi PP, Ramanathan K, Walsh S, Fung AY, Saw J, Fox RS, Zalunardo N, Buller CE. Experience of stenting for atherosclerotic renal artery stenosis in a cardiac catheterization laboratory: Technical considerations and complications. *Can J Cardiol* 2009; **25**: 273-278.
  66. Yin W-H. Rotational atherectomy: an Update. *J Geriatr Cardiol* 2013; **10**: 211-212.
  67. Qureshi AM, Prieto LR. Percutaneous Pulmonary valve placement. *Tex Heart Inst J* 2015; **42**:195-201
  68. Villafane J, Baker GH, Austin EH 3rd, Miller S, Peng L, Beekman R 3rd. Melody pulmonary valve bacterial endocarditis : experience in four pediatric patients and review of the literature. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2014 ; **84**: 212-8.
  69. Sehatzadeh S, Doble B, Xie F, Blackhouse G, Campbell K, Kaulback K, Chandra K, Goeree R. Transcatheter Aortic Valve Implantation (TAVI) for Treatment of Aortic Valve Stenosis: An Evidence-Based Analysis (Part B). *Ont Health Technol Assess Ser* 2013; **13**:1-40.
  70. Panayiotides IM, Nikolaides E. Transcatheter Aortic Valve Implantation (TAVI): Is it time for this intervention to be applied in a lower risk population? *Clinical Medicine insights: Cardiology* 2014; **8**: 93-102.
  71. Glower DD, Kar S, Trento A, Lim DS, Bajwa T, Quesada R, Whitlow PL, Rinaldi MJ, Grayburn P, Mack MJ, Mauri L, McCarthy PM, Feldman T. Percutaneous Mitral Valve Repair for Mitral Regurgitation in High-Risk Patients. Results of the EVEREST II Study. *J Am Coll Cardiol* 2014; **64**: 172-181.
  72. Torok RD, Campbell MJ, Fleming GA, Hill KD. Coarctation of the aorta: Management from infancy to adulthood. *World J Cardiol* 2015; **7**: 765-775.
  73. Białkowski J, Szkutnik M, Roland Fiszer, Głowacki J, Zembala M. Percutaneous dilatation of coarctation of the aorta, stenotic pulmonary arteries or homografts, and stenotic superior vena cava using Andrastents XL and XXL. *Kardiologia Polska* 2011; **69**: 1213-1219.
  74. Paech C, Dähnert I, Riede FT. Stent implantation of left main coronary artery stenosis in an infant: Effective longterm treatment? *Ann Pediatr Cardiol.* 2015; **8**: 147-149.
  75. Fiocca L, Coccato M, Sirbu V, Vassileva A, Guagliumi G, Musumeci G, Terzi A, Canu G, Cerchierini E, Cugola D, Valsecchi O. Radiation Therapy-Induced Cardiovascular Disease Treated by a Percutaneous Approach. *Case Reports in Cardiology* 2015; **2015**: 4

76. Mazeni A. Stenting the ductus arteriosus: case selection, technique and possible complications. *Ann Pediatr Cardiol* 2008; **1**: 38-45.
77. Tola HT, Ergul Y, Saygi M, Ozyilmaz I, Guzeltas A, Odemis E. Ductal Stent Implantation in Tetralogy of Fallot with Aortic Arch Abnormality. *Tex Heart Inst J* 2015; **42**: 281-284.
78. Mosaed P, Dalili M, Emkanjoo Z. Interventional Electrophysiology in Children: A Single-Center Experience. *Iran P Pediatr* 2012; **22**: 333-338.
79. Lee M-L, Tsao L-Y, Chiu H-Y, Chen M, Chiu I-S. Outcomes in Neonates with Pulmonary Atresia and Intact Ventricular Septum Underwent Pulmonary Valvulotomy and Valvuloplasty Using a Flexible 2-French Radiofrequency Catheter. *Yonsei Med J* 2009; **50**: 245-251.
80. Liang JJ, Hebl VB, DeSimone CV, Madhavan M, Nanda S, Kapa S, Maleszewski JJ, Edwards WD, Reeder G, Cooper LT, Asirvatham SJ. Electrogram-Guidance: A Method to Increase the Precision and Diagnostic Yield of Endomyocardial Biopsy for Suspected Cardiac Sarcoidosis and Myocarditis. *JACC Heart Fail.* 2014; **2**: 466-473.
81. Chen Z, Chen L, Wu I. Transcatheter amplatzer occlusion and surgical closure of patent ductus arteriosus: comparison of effectiveness and costs in a low-income country. *Pediatr Cardiol.* 2009; **30**:781-785.
82. Song J-K, Kim M-J, Yun S-C, Choo SJ, Song J-M, Song H, Kang D-H, Chung CH, Park DW, Lee SW, Kim Y-H, Lee CW, Hong M-K, Kim J-J, Lee JW, Park S-W, Park S-J. Long-term outcomes of percutaneous mitral balloon valvuloplasty versus open cardiac surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2010; **139**: 103-110.
83. Lin CH, Hegde S, Marshall AC, Porras D, Gauvreau K, Balzer DT, Beekman III RH, Torres A, Vincent JA, Moore JW, Holzer R, Armsby L, Bergersen L. Incidence and Management of Life-Threatening Adverse Events During Cardiac Catheterization for Congenital Heart Disease. *Pediatr Cardiol* 2014; **35**:140-148.
84. Nathan S, Rao SV. Radial versus femoral access for percutaneous coronary intervention: implications for vascular complications and bleeding. *Curr Cardiol Rep.* 2012; **14**: 502-509.
85. Luceri MJ, Tala JA, Weismann CG, Silva CT, Faustino EV. Prevalence of post-thrombotic syndrome after cardiac catheterization. *Pediatr Blood Cancer.* 2015 ; **62**:1222-1227.
86. Knirsch W, Kellenberg C, Dittrich S, Ewert P, Lewin M, Motz R, Nürnberg J, Kretschmar O. Femoral arterial thrombosis after cardiac catheterization in infancy: impact of Doppler ultrasound for diagnosis. *Pediatr Cardiol.* 2013; **34**: 530-535.
87. Bharmatee A, Gowda S, Singh HR. Limb ischaemia and below-knee amputation following patent ductus arteriosus stent in a critically ill infant. *Cardiol Young* 2015; **25**: 1206-1209.
88. Rademakers LM, Laarman GJ. Critical hand ischaemia after transradial cardiac catheterisation: an uncommon complication of a common procedure. *Neth Heart J.* 2012; **20**:372-375.
89. Tang L, Zhou S, Shen X. Severe Spinal Cord Ischemic Injury Secondary to Device Embolization after Transcatheter Closure of a Patent Arterial Duct. *Tex Heart Inst J* 2014; **41**: 83-86.
90. Baruteau AE, Younsi MS. Severe aortic regurgitation after device closure of patent ductus arteriosus: an unexpected killjoy. *World J Pediatr Congenit Heart Surg.* 2015; **6**: 346-347.
91. McElhinney DB, Benson LN, Eicken A, Kreutzer J, Padera RF, Zahn EM. Infective endocarditis after transcatheter pulmonary valve replacement using the Melody valve: combined results of 3 prospective North American and European studies. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2013 ; **6**: 292-300.
92. Djer MM, Saputro DD, Putra ST, Idris NS. Transcatheter Closure of Patent Ductus Arteriosus: 11 Years of Clinical Experience in Cipto Mangunkusumo Hospital, Jakarta, *Indonesia Pediatr Cardiol* 2015; **36**:1070-1074.
93. Amin Z. Echocardiographic predictors of cardiac erosion after Amplatzer septal occluder placement. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2014 ; **83**: 84-92
94. Korkmaz S, Demirkan B, Guray Y, Yilmaz MB, Sasmaz H. Long-Term Follow-Up of Iatrogenic Atrial Septal Defect after Percutaneous Mitral Balloon Valvuloplasty *Tex Heart Inst J* 2011; **38**: 523-527.
95. Doshi AR, Rao PS. Development of aortic coarctation following device closure of patent ductus arteriosus. *J Invasive Cardiol.* 2013; **25**: 464-467.
96. Baysson H, Réhel JL, Boudjemline Y, Petit J, Girodon B, Aubert B, Laurier D, Bonnet D, Bernier M-O. Risk of cancer associated with cardiac catheterization procedures during childhood: a cohort study in France. *BMC Public Health* 2013; **13**: 266