

Mémoire de maîtrise de médecine no 5615

Prise en charge des communications inter-auriculaires de type ostium secundum chez l'enfant, résultats chirurgicaux et interventionnels

*(Treatment of the ostium secundum type of interauricular
communications in children, surgical and interventionnal
results)*

Etudiante :

Waldvogel Amandine

Tuteur :

Dr. Di Bernardo Stefano

Médecin adjoint, MER

Service de cardiologie pédiatrique, CHUV

Expert :

Prof. Müller Olivier

Chef de service, Professeur ordinaire

Service de cardiologie, CHUV

Lausanne, le 15 décembre 2018

Table des matières

Introduction	3
Rappel d'embryologie	5
<i>Région cardiogénique</i>	5
<i>Vaisseaux afférents et efférents</i>	5
<i>Constrictions et dilatations</i>	6
<i>Gelée cardiaque</i>	6
<i>Sinus transverse du péricarde</i>	7
<i>Inflexion</i>	7
<i>Organisation des circulations pulmonaire et systémique</i>	8
<i>Le cœur bat</i>	8
<i>Oreillettes droite et gauche – cloisonnement partiel</i>	8
<i>Naissance</i>	10
Classification	11
<i>CIA de type ostium secundum</i>	11
<i>CIA de type ostium primum</i>	11
<i>CIA de type sinus venosus</i>	11
<i>CIA de type sinus coronaire</i>	12
<i>Patent Foramen ovale</i>	12
<i>Common Atrium</i>	13
Histoire naturelle	14
<i>Physiopathologie</i>	14
<i>Symptomatologie</i>	15
<i>Clinique</i>	16
Diagnostique	17
Traitement	19
Avantages et inconvénients	21
<i>Sélection des patients</i>	24
Suivi des fermetures de CIA type ostium secundum	26
<i>Suivi à court et moyen terme</i>	26
<i>Suivi à long terme</i>	26
Conclusion	28
Bibliographie	29
<i>Articles</i>	29
<i>Livres</i>	31

Introduction

Actuellement, 28% des malformations congénitales sévères recensées sont des cardiopathies selon EUROCAT, le groupe de surveillance européenne des malformations congénitales¹. Chaque année en Suisse, 900 à 1'000 nouvelles cardiopathies congénitales sont diagnostiquées et la moitié d'entre elles devront être opérées. Ainsi, on estime que 8 enfants nés-vivants sur 1'000 présentent une cardiopathie².

Jusqu'à l'arrivée de la chirurgie cardiaque dans les années 50, le pourcentage d'enfants atteints d'une malformation cardiaque qui succombaient à une défaillance respiratoire ou circulatoire était estimé à 85%³.

Aujourd'hui, il a été démontré que, grâce aux progrès de la médecine dans le domaine de la chirurgie et des techniques interventionnelles, plus de 90% des enfants nés avec une cardiopathie congénitale atteignent l'âge adulte⁴.

De plus, nous sommes aujourd'hui en mesure de mieux comprendre l'étiologie de ces malformations grâce aux nouvelles techniques génomiques et de séquençage⁵. En effet, les progrès en analyse génétique ont prouvé un lien héréditaire, encore peu soupçonné jusqu'à présent. Il a été longtemps pensé que ces malformations apparaissaient de manière sporadique. Pourtant, un tiers de ces pathologies auraient une caractéristique héréditaire⁶. Il est à présent connu que certaines conditions telles que les trisomies 21, 13, 18, la microdélétion 22q11 ainsi que les syndromes de Noonan et de Williams peuvent présenter une malformation cardiaque. Un conseil génétique est ainsi recommandé dans ces situations.

Précisons qu'un risque non négligeable de cardiopathies congénitales est observable dans la descendance⁷. Ce risque est estimé à 3% après un premier enfant avec une cardiopathie congénitale et à 10% lors du deuxième, mais différent suivant la cardiopathie⁸.

D'autres étiologies ont également été mises en lumière comme certaines maladies maternelles telles que le diabète ou le lupus, lors de prise de certains médicaments au cours de la grossesse

tels que les antiépileptiques, les anticoagulants ou encore le Lithium, tout comme la rubéole ou la rougeole.

Les communications interauriculaires sont une forme commune de malformations cardiaques congénitales puisqu'elles ne représentent pas moins de 10% de ces dernières. Parmi elles, environ 80% sont des CIA de type ostium secundum et ces dernières peuvent rester asymptomatiques si la communication se trouve être mineure.

Depuis la toute première correction réussie d'une CIA en 1952 par F. John Lewis, la méthode chirurgicale est devenue le gold standard dans le traitement des communications de type ostium secundum. Elle a ainsi amélioré l'espérance de vie ainsi que la symptomatologie de ces patients, tout en se perfectionnant au fil des années.

La méthode interventionnelle ou percutanée est apparue bien plus tard lorsqu'en 1976, King et Mills ont tenté pour la première fois cette technique. Depuis une quinzaine d'années, cette dernière a su se montrer très efficace et sûre dans de nombreuses études et tend à prendre de plus en plus de place dans le traitement des CIA type ostium secundum. Le dispositif le plus couramment utilisé actuellement est l'Amplatzer septal occluder (ASO).

Les possibilités de correction dans des conditions sûres et adaptées à la clinique des patients ont ainsi pris de l'ampleur. La technique interventionnelle permet en effet de corriger des communications précocement chez des patients asymptomatiques ou alors tardivement chez des patients âgés et symptomatiques.

De nombreuses études se sont intéressées aux différentes méthodes proposées aujourd'hui pour corriger ces communications interauriculaires et la majorité se sont penchées sur les avantages ainsi que les inconvénients des méthodes chirurgicales versus interventionnelles. Ce travail reprend les différentes observations et conclusions émises dans ses études. Ceci nous permettra de mieux comprendre l'évolution de la pratique médicale dans ce domaine.

Pour se représenter l'importance d'intervenir lors de ses malformations, il est important d'avoir de bonnes connaissances sur les conséquences que ces dernières peuvent engendrer. Ainsi, les détails de physiologie, tout comme la symptomatologie l'accompagnant, seront décrits en détails dans un chapitre de ce travail.

Rappel d'embryologie

Par ce chapitre, j'aimerais rappeler les différents éléments de l'embryologie cardiaque. De ce fait, il sera plus facile de comprendre, ainsi que de se représenter certains aspects des différentes malformations possibles chez l'enfant.

La formation embryonnaire du système cardiaque est la première à être mise en place en parallèle avec le système nerveux de l'embryon. Ceci prouve l'importance ainsi que la nécessité d'un tel système pour débiter la vie et pour que l'embryon se développe correctement. Le système cardiaque est rapidement fonctionnel puisqu'il commence au 19^{ème} jour de vie et se termine vers la 10^{ème} semaine.

Région cardiogénique

À la fin de la 3^{ème} semaine de gestation, la région cardiogénique, provenant du mésoderme splanchnopleural, a une forme de fer à cheval et se situe au niveau de la région crâniale, latéralement à la plaque neurale du disque embryonnaire. Des éléments vasculaires, appelés tubes endocardiques, se forment par un processus de vasculogénèse à partir de cette région cardiogénique. C'est le début de la formation du cœur embryonnaire.

Par la suite, l'embryon va prendre une courbure qui va réunir les deux tubes endocardiques en région thoracique et va les amener à fusionner par un processus d'apoptose cellulaire programmée au niveau des surfaces de contact.

Vaisseaux afférents et efférents

Les gros vaisseaux se mettent en place en même temps que les tubes cardiaques et se connectent à ces derniers avant que ceux-ci ne se rejoignent au niveau thoracique. Les aortes dorsales, qui se constituent dans le mésenchyme dorsal du disque embryonnaire de chaque côté de la notochorde, vont former le premier arc aortique lors de l'inflexion de l'embryon. Par la suite, 4 autres arcs se formeront lors de la 4^{ème} et 5^{ème} semaine de gestation.

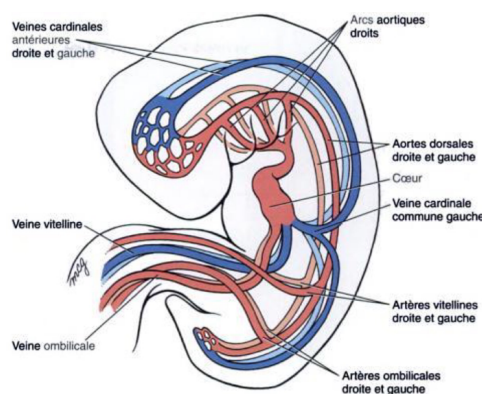


Figure 1: Circulation lors de la 4^{ème} semaine de développement. <https://slideplayer.fr/slide/1295025/>

Le sang veineux provenant de tout le corps arrive au cœur par les veines cardinales communes, provenant des veines cardinales postérieures et des veines cardinales antérieures. De plus, les veines vitellines et ombilicales rejoignent les veines cardinales communes pour former le sinus veineux à la base du cœur embryonnaire. Les veines ombilicales amènent le sang oxygéné provenant du placenta au cœur en développement.

Constrictions et dilatations

Au 21^{ème} jour, commence un phénomène de constrictions (ou sillons) et de dilatations qui va petit à petit donner au cœur sa forme finale avec les différentes cavités qui le définissent.

L'oreillette primitive qui va donner par la suite les oreillettes droite et gauche et le ventricule qui donnera principalement le ventricule gauche sont séparés par le sillon atrio-ventriculaire.

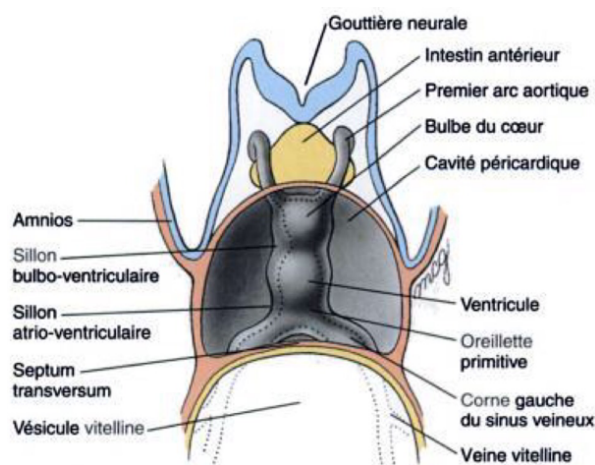


Figure 2: Constriction du cœur primitif.

<http://www.md.ucl.ac.be/didac/anat110/Coeur%20poumon/coeur%20tube.png>

Précisons qu'à ce stade, l'oreillette se situe en dessous du ventricule et que par un processus d'inflexion, le cœur va se retrouver dans sa configuration finale. Au dessus du ventricule, se trouve le bulbe du cœur qui est séparé de ce dernier par le sillon bulboventriculaire (voir image) qui est aussi appelé interventriculaire par le fait que la partie inférieure du bulbe deviendra principalement le ventricule droit. La partie supérieure du bulbe, aussi appelée conotrunc, se séparera en cône du cœur et en tronc artériel. Ces derniers se développeront en aorte ascendante et tronc pulmonaire, respectivement.

Gelée cardiaque

À partir du 22^{ème} jour, le tube cardiaque qui n'était jusqu'à présent que constitué d'endothélium, va se faire recouvrir de mésoderme splanchnopleural qui va se différencier en myocarde et en gelée cardiaque. Cette dernière est une masse acellulaire qui va venir séparer le myocarde du tube cardiaque. Ces trois éléments forment ensemble le tube cardiaque primitif.

De plus, le péricarde viscéral se forme à partir de cellules mésenchymales qui migrent autour du cœur à partir du sinus veineux.

Sinus transverse du péricarde

Le mésocarde dorsal qui tient en suspension le cœur au niveau thoracique va disparaître de telle sorte que le cœur ne sera attaché dans la cavité péricardique que par ses éléments vasculaires. De ce fait, on parle de sinus transverse du péricarde, la partie où le mésocarde disparaît.

Inflexion

Cette période se situe entre le 23 et le 28^{ème} jour de développement. Plusieurs hypothèses ont été avancées concernant les causes d'un tel phénomène. Malheureusement, aucune pour l'heure

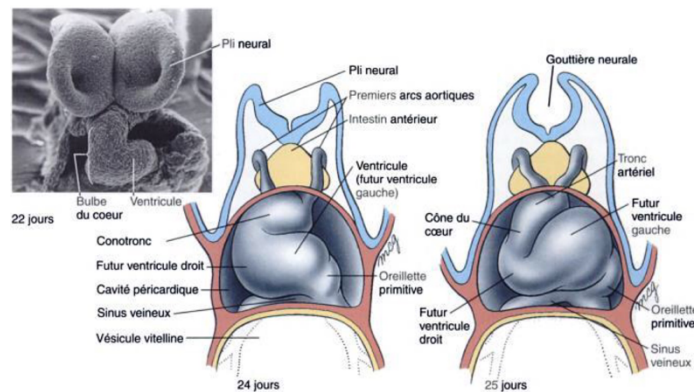


Figure 3: Inflexion du cœur primitif.

<http://www.md.ucl.ac.be/didac/anat110/Coeur%20poumon/looping4.png>

n'a

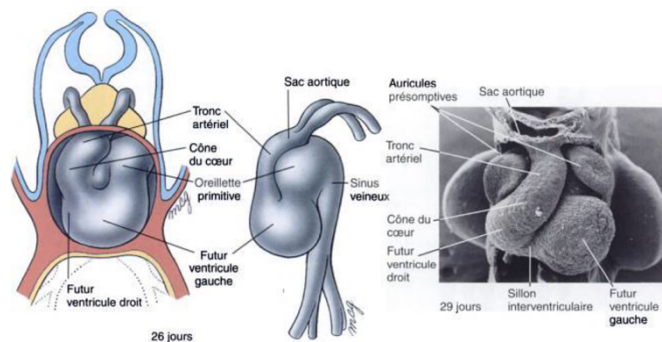


Figure 4: Fin de l'inflexion. <http://www.md.ucl.ac.be/didac/anat110/Coeur%20poumon/looping4.png>

prouvé une quelconque cause précise qui influence ce processus. Le but de ce mouvement est de permettre aux quatre cavités de se placer correctement avec les oreillettes au dessus des ventricules.

Organisation des circulations pulmonaire et systémique

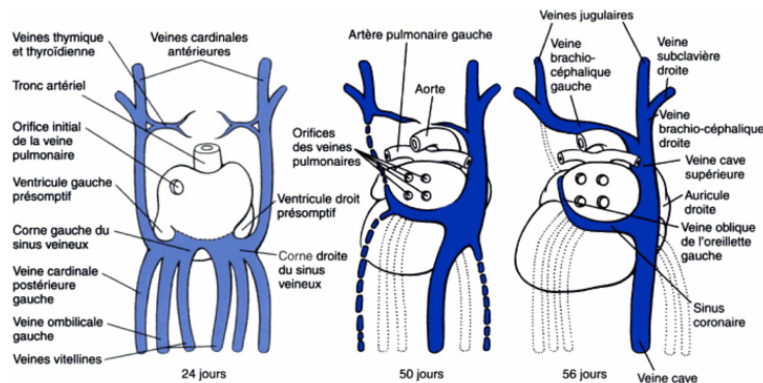


Figure 5: Développement de la circulation veineuse. <https://docplayer.fr/76976942-Anomalies-congenitales-des-retours-veineux-pulmonaires-et-systemiques-evaluation-par-irm-et-angio-irm.html>

Le cœur au 22^{ème} jour est toujours dans une configuration bilatérale et symétrique.

À la sortie du cœur, le sang va dans les arcs aortiques droits et gauches et par la suite passe dans les aortes dorsales. Ces dernières se fusionnent entre T4 et L4 lors de la 4^{ème} semaine pour former plus qu'une aorte unique.

Concernant le retour veineux, les différentes veines sont réorganisées pour que tout le sang arrive dans l'oreillette droite. Ainsi, la corne gauche du sinus devient le sinus coronaire et la veine vitelline se transforme en veine cave inférieure.

Comme le sang oxygéné provient du placenta et que les poumons sont collabés et non fonctionnels, le fœtus est obligé d'avoir des shunts entre le côté droit et gauche de son cœur, qui sont possibles grâce à différents orifices et conduits. Le but étant de court-circuiter les poumons tout en amenant le sang oxygéné dans la circulation systémique.

Le cœur bat

Au jour 22, le cœur du fœtus bat et ce n'est qu'au 24^{ème} jour que le sang circule dans son corps.

Oreillettes droite et gauche – cloisonnement partiel

Le processus commence pendant la 4^{ème} semaine mais les différents shunts de la circulation fœtal resteront en place jusqu'à la naissance. La première étape de séparation des deux circulations consiste à développer deux septas incomplets, le primum et le secundum.

En premier lieu, c'est le septum primum qui commence à se développer lors du 28^{ème} jour à partir de la paroi supérieure et postérieure. Ce dernier va petit à petit séparer les deux oreillettes et on appelle ostium primum, l'ouverture qui se rétrécit petit à petit.

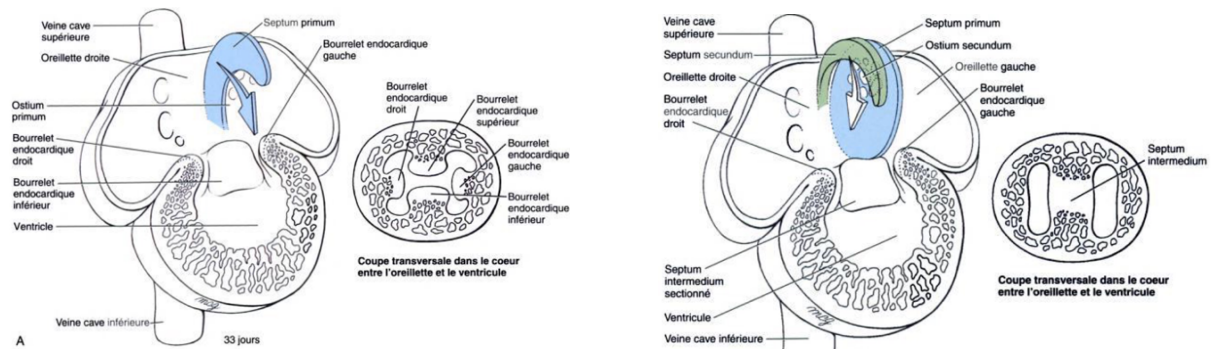


Figure 6: Formation du septum primum (image de droite) et formation du septum secundum (image de gauche). <http://www.db-gersite.com/EMBRYO/embdes/embdes2.htm>

Dans un même temps, des bourrelets se forment au niveau du canal atrio-ventriculaire. Ils finissent par se rejoindre et à former le septum intermedium qui divise le canal en deux parties droite et gauche. La valvule mitrale se formera au côté gauche, tandis que la valvule tricuspide se formera au côté droite.

L'ostium primum va se refermer lorsque le septum primum se mettra en contact avec le septum intermedium. En contrepartie de cette fermeture, la mort programmée dans une partie supérieure du septum formera l'ostium secundum qui permettra de garder le shunt droit-gauche de la circulation fœtale.

Lors de la formation du septum primum, se développe également un septum secundum. Celui-ci ne grandira pas jusqu'au septum intermedium et laissera un orifice appelé foramen ovale au niveau du plancher de l'oreillette droite, ce qui permettra au sang de toujours passer de l'oreillette droite à la gauche. Il sera également épais et musculéux, contrairement au septum primum qui est plutôt fin et membraneux.

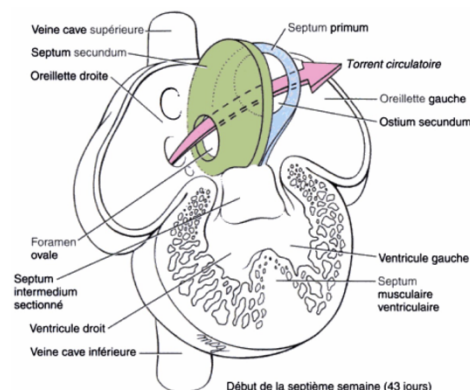


Figure 7: Visualisation du shunt physiologique lors de l'embryologie droit-gauche. <http://www.db-gersite.com/EMBRYO/embdes/embdes2.htm>

Les autres détails de l'embryologie cardiaque tel que le cloisonnement du canal atrio-ventriculaire ou encore la formation des différentes valves ne seront pas décrits car ce ne sont pas des sujets traités dans ce travail.

Naissance

À la naissance, le shunt droite-gauche au niveau des oreillettes se referme par un changement de pressions au niveau du cœur. En cause, la dilatation progressive de la vascularisation pulmonaire lors des premières heures de vie, ainsi que la fin de l'alimentation sanguine provenant du cordon ombilical. Ceci a comme conséquence que le septum primum qui est flexible va venir se coller au septum secundum, fermant ainsi la communication entre le cœur droit et gauche. Le canal artériel va se fermer en quelques jours après la naissance.

Classification

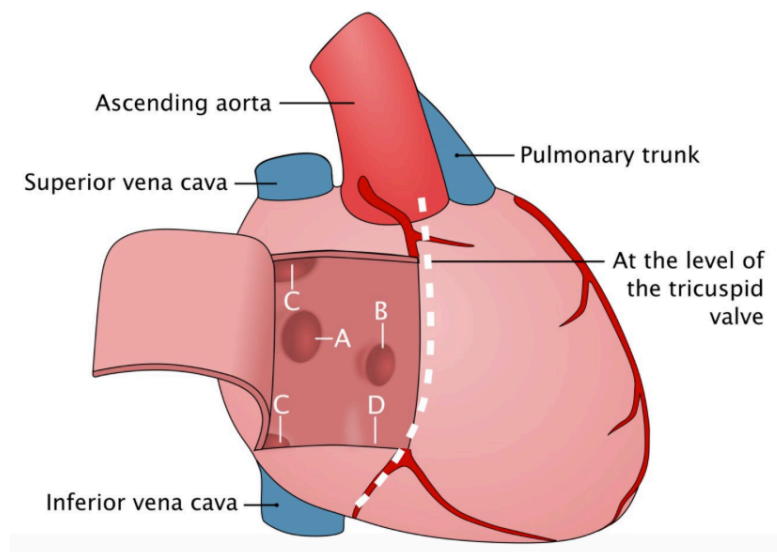


Figure 8: Classification des différentes communications inter-auriculaires. <https://www.amboss.com/us/library#xid=4403jT&term=congenital+heart+defect>

La classification des différentes communications interauriculaires de l'enfant ou de l'adulte se fait principalement suivant la topographie ainsi que l'origine du défaut. Sur l'image, on observe une CIA de type ostium secundum en A, une CIA de type ostium primum en B, une CIA de type sinus venosus en C et une CIA de type sinus coronaire en D.

CIA de type ostium secundum

La CIA de type ostium secundum représente 80% de toutes les CIA. C'est un défaut dans la partie centrale de la fosse ovale ou dans la partie moyenne du septum auriculaire et est de ce fait, le seul (mise à part le FOP) pouvant être corrigé par une intervention percutanée avec un dispositif occlusif.

CIA de type ostium primum

Cette CIA représente environ 15-20% des CIA. Contrairement au défaut de type secundum, il se trouve dans la partie antéro-inférieure de la cloison interauriculaire et ne se referme pas spontanément. Les valves atrio-ventriculaires sont régulièrement touchées et une forme particulière de communication auriculoventriculaire peut survenir.

CIA de type sinus venosus

La CIA de type sinus venosus se trouve au niveau de la partie postérieure du septum interauriculaire proche de la veine cave supérieure ou inférieure et ne se referme pas spontanément. Ce défaut peut fréquemment être associé à un retour veineux pulmonaire

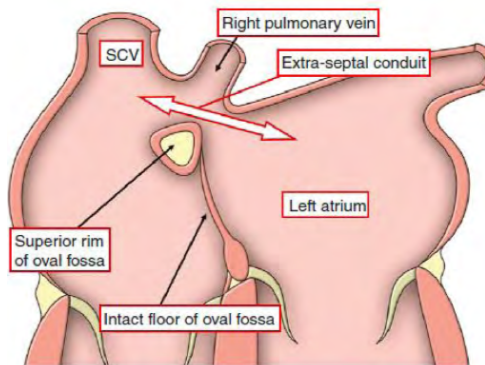


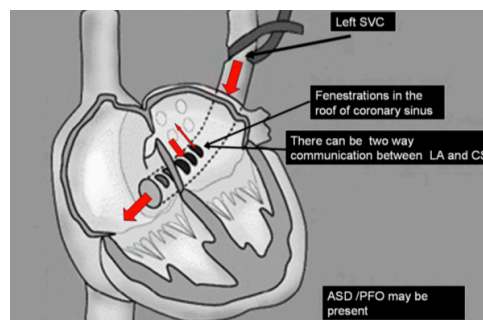
Figure 9 : CIA de type sinus venosus. Interauricular communication, K. Hadeed and P. Acar, Children Hospital, Toulouse

anormal dans la veine cave ou dans l'oreillette droite et est de ce fait, plus difficile à corriger. De plus, contrairement aux autres CIA, elle est à prédominance masculine⁹.

CIA de type sinus coronaire

La CIA de type sinus coronaire peut être totale ou partielle. Elle consiste en une communication entre le sinus coronaire et l'oreillette gauche.

Figure 10 : CIA de type sinus coronaire. Interauricular communication, K. Hadeed and P. Acar, Children Hospital, Toulouse



Patent Foramen ovale

Le foramen ovale perméable survient lorsque la communication physiologique de la vie fœtale ne se referme pas correctement. Sa prévalence est difficile à évaluer de part l'aspect silencieux de ce défaut mais il est estimé qu'un quart des individus vit avec un foramen ovale perméable¹⁰. Il a été prouvé que la fermeture d'un FOP était associé avec un taux plus bas de récurrence d'attaques ischémiques suite à un embolie paradoxal comparé aux patients traités avec une thérapie médicale, lors d'un suivi de longue durée¹¹. De plus, les patients avec un FOP sont plus souvent sujets à des migraines dont la fréquence et la durée diminuent lors de sa fermeture¹².

Common Atrium

L'atrium commun est un défaut très sévère et rare où le septum interauriculaire n'existe pas ou presque pas.

Toutes ces communications peuvent avoir des particularités telles qu'une forme non ovalaire ou alors être multiples.

Dans ce travail, seront décrites et analysées les CIA de type ostium secundum. De ce fait, nous n'allons pas nous arrêter trop longtemps sur les autres types de défauts auriculaires.

Histoire naturelle

Environ 30% des CIA sont découvertes après l'âge de 18 ans, ce qui suggère que ces malformations restent très silencieuses et peuvent même n'être jamais diagnostiquées.¹³

L'évolution fonctionnelle et anatomique du cœur lors d'une CIA se fait plus ou moins rapidement suivant l'importance du shunt gauche-droit et par conséquent de la taille du défaut.

Physiopathologie

Pour mieux comprendre les modifications hémodynamiques qui s'exercent lors d'une communication inter-auriculaire, comparons-les grâce à deux images explicatives.

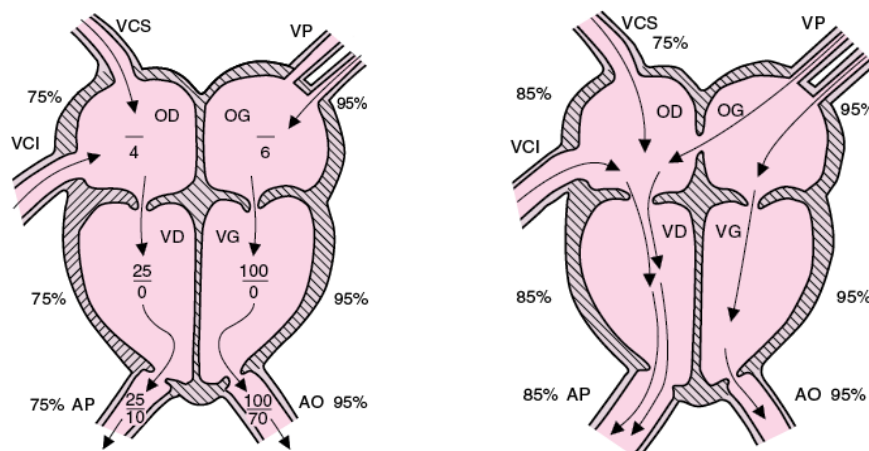


Figure 11 : Comparaison des saturations en oxygène et des pressions dans la circulation au niveau des cavités cardiaques. <file:///Users/Amandine/Zotero/storage/JSPRRISU/communication-interauriculaire.html>

L'image de gauche représente le fonctionnement physiologique du cœur, séparé en cœur droit avec la circulation pulmonaire et en cœur gauche avec la circulation systémique. La saturation cardiaque droite en oxygène est de 75% tandis que la gauche est à 95% suite au passage dans les poumons. Les pressions sont beaucoup plus élevées au niveau de la circulation systémique, tandis que la pression pulmonaire systolique ne doit pas dépasser les 35 mmHg.

Prenons maintenant l'exemple de la deuxième image qui nous donne un aperçu des changements hémodynamiques lors d'une CIA. Un shunt se produit allant de gauche à droite de part une différence de pression entre les deux oreillettes. Dans le cas où ce dernier n'est que mineur et sans particularité anatomique, il peut se fermer spontanément dans les premières années de vie. Dans le cas contraire, un shunt plus important provoquera une surcharge volumique au niveau du cœur droit. Ceci induit une augmentation de pression dans ces cavités cardiaques qui vont s'adapter en se dilatant. La quantité de shunt gauche-droit dépend de la différence de pression moyenne entre les deux oreillettes, qui dépend elle-même de la

compliance de ces dernières. Avec le temps, le ventricule droit gagnera en compliance alors que le gauche en perdra, ce qui induira une mauvaise fonctionnalité du cœur. Ceci rappelle l'importance de ne pas trop attendre pour corriger un défaut interauriculaire.

Généralement, les pressions restent dans la limite de la norme pendant l'enfance. Un phénomène d'égalisation des pressions entre les deux oreillettes peut survenir lors d'une dilatation importante du ventricule droit accompagnée d'une perte de compliance de ce dernier.

Nous remarquons également sur l'image de droite, une saturation en oxygène du cœur droit plus élevé à 85% en raison du flux sanguin oxygéné qui passe de la circulation gauche à celle de droite. Nous verrons plus tard que cette observation sert également à mesurer l'importance d'un shunt.

Une atteinte au niveau de la valve tricuspide sous forme d'insuffisance peut survenir de part la dilatation du cœur droit ou de l'hypertension artérielle pulmonaire, qui ont comme action d'augmenter la pression dans le ventricule droit lors de la systole. De plus, une hypertension artérielle pulmonaire peut apparaître, ce qui amplifiera encore la force nécessaire au cœur droit pour fonctionner correctement. Le patient deviendra alors symptomatique dans le cas où le défaut est trop grand pour se refermer par lui-même.

Symptomatologie

Bien que la plupart des petites communications restent asymptomatiques, les shunts plus importants peuvent entraîner différents symptômes décrits dans ce chapitre.

Chez l'enfant et l'adolescent, une intolérance à l'effort avec dyspnée ou encore des pneumonies à répétition peuvent être observées de part l'afflux important de sang circulant aux poumons. De

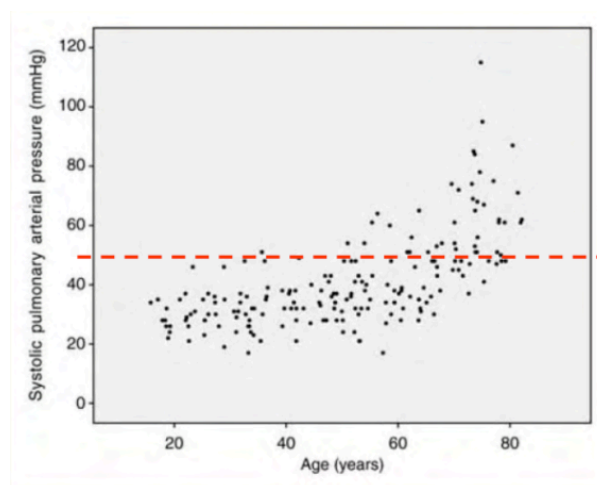


Figure 12: Comparaison entre la pression artérielle pulmonaire systolique et l'âge. Percutaneous closure of interauricular communications, Pierre Aubry, Cardiology department, Groupe hospitalier Bichat-Claude Bernard, Paris.

plus, un retard de croissance est à craindre et peut être le premier signe visualisé par l'équipe médicale lors de ces malformations. La réparation sera d'autant plus importante pour permettre à l'enfant de se développer correctement.

Chez les adultes, des arythmies auriculaires sont souvent mises en évidence suite aux arythmies ressenties par le patient. On retrouve les tachycardies supraventriculaires, les flutters ainsi que les fibrillations auriculaires.

Les communications inter-auriculaires peuvent se révéler chez l'adulte suite à une attaque vasculaire cérébrale provoquée par une embolie paradoxale venant de la circulation veineuse ou suivant une arythmie auriculaire.

Plus tard encore, une hypertension artérielle pulmonaire peut se développer obligeant le cœur droit à exercer une force encore plus importante pour éjecter le sang dans la circulation. Une hypertrophie du ventricule droit sera alors inévitable¹⁴. Au final, une symptomatologie d'insuffisance ventriculaire droite sera alors observable. Malgré tout, la dysfonction ventriculaire reste tardive et favorisée par les troubles du rythme¹⁵.

Si les pressions du cœur droit continuent à augmenter et que la communication n'est toujours pas corrigée, le shunt peut alors prendre une direction droite-gauche. Le patient présentera ce qu'on appelle un syndrome d'Eisenmenger. Ce dernier se présente sous forme de cyanose, surtout lors d'effort, avec une dyspnée et des céphalées. Bien que ce syndrome reste très rare, il est néanmoins une complication très sérieuse d'une CIA.

De part cette symptomatologie parfois irréversible, les patients atteints d'une CIA modérée à sévère ont une qualité de vie altérée ainsi qu'une survie diminuée, si une correction n'est pas réalisée.

Il a été démontré en revanche, qu'avec une correction précoce de ces malformations, un patient gagne en qualité de vie et peut avoir une espérance de vie comparable aux patients en bonne santé. Raison pour laquelle, la fermeture en âge pédiatrique préscolaire des CIA hémodynamiquement significatives est recommandée.

Clinique

Sur le plan de l'examen clinique, le shunt peut être détecté lors de l'auscultation par un souffle méso-systolique au niveau du foyer pulmonaire irradiant dans le dos et les deux aisselles, d'une intensité de 2 à 3/6. Ce dernier reflète l'augmentation du débit sanguin au niveau pulmonaire. Un souffle diastolique peut également être ausculté au niveau de la partie inférieure du bord

gauche du sternum. Ce dernier est consécutif au flux augmenté qui passe au travers de la valve tricuspide lors de son ouverture en diastole. De plus, le dédoublement B2 qui varie normalement en fonction de la respiration, peut devenir fixe lorsqu'un shunt gauche-droite devient significatif en présence d'une CIA. Ce dernier s'ausculte principalement au niveau du foyer aortique.

D'après une étude publiée en 2007 et réalisée sur une population adulte¹⁶, les caractéristiques cliniques des patients lors du diagnostic étaient relatives à l'âge du patient. Pour les patients de moins de 40 ans, des palpitations et/ou l'auscultation d'un souffle étaient les premières manifestations du défaut alors que la dyspnée, des palpitations, une arythmie supra ventriculaire ou encore une syncope sont retrouvés plus fréquemment chez les plus de 40 ans. De plus, une étude plus récente¹⁷ montre que chez les moins de 20 ans, un souffle systolique est retrouvé dans 85% des cas lors du diagnostic. Ce souffle est le plus souvent de grade 2.

Rappelons, par ailleurs, que la plupart de ces signes cliniques peuvent être absents lors de l'examen chez le nourrisson, même dans la situation où le défaut est très large.

A l'inspection, une augmentation de volume du thorax au niveau para-sternal gauche sous forme de voussure cardiaque, bien que tardive, peut s'observer de part l'augmentation du débit sanguin dans le ventricule droit qui provoque une augmentation de volume du cœur droit.

Diagnostic

Le diagnostic peut être difficile à poser puisque certains défauts restent très discrets d'un point de vu clinique lorsqu'ils sont petits. Malgré tout, différents moyens de plus en plus



Figure 13 : Image radiographique lors d'une CIA. Interauriculaire communication, K. Hadeed and P. Acar, Children Hospital, Toulouse

perfectionnés sont à notre disposition, en plus de l'examen clinique, pour détecter ce type de malformation.

Tout d'abord, une radiographie du thorax et un ECG peuvent être réalisés. Souvent, ces examens peuvent être pratiqués pour d'autres raisons et une découverte fortuite d'un défaut peut en découler.

La radiographie nous montre une cardiomégalie avec une dilatation de l'oreillette droite et potentiellement du ventricule droit, ainsi qu'une saillie de l'arc moyen gauche de l'artère pulmonaire. Parfois, moins visible, une hyper-vascularisation du parenchyme pulmonaire peut être décrit.

Sur l'ECG, une déviation de l'axe du cœur à droite est observée, ainsi qu'une hypertrophie ventriculaire droite ou un bloc de branche droit qui peut être complet ou non. Un aspect de rSR' sera alors visible en dérivation V1. L'ECG a toutefois une mauvaise spécificité chez les enfants.

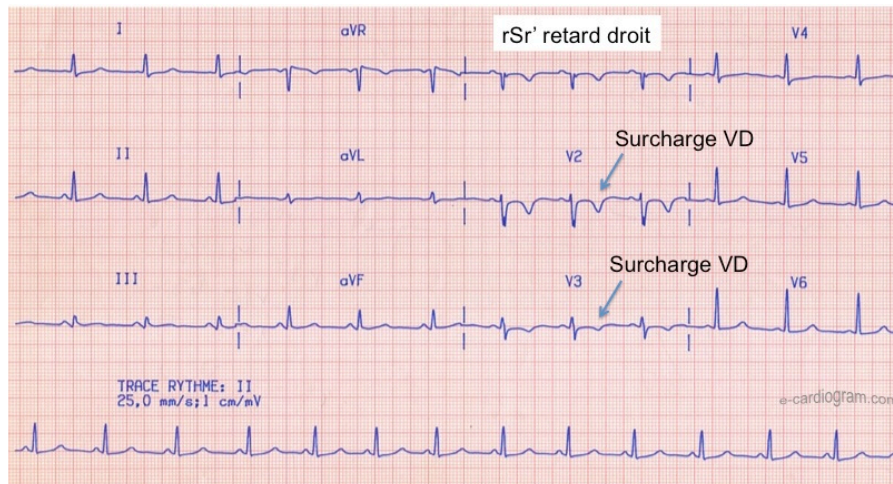


Figure 14 : ECG typique lors d'une CIA. <https://www.e-cardiogram.com/lexique/cialegerretarddroit.jpg?PHPSESSID=eqtkbqqruefwg>

Pour confirmer le diagnostic, sera pratiquée une échographie bidimensionnelle du cœur avec le Doppler couleur. L'échographie peut être transthoracique ou transoesophagienne. L'échographie transoesophagienne est utilisée surtout pour les CIA de type sinus veineux ou le type sinus coronaire car elle permet une meilleure visualisation des structures atteintes. Néanmoins, dans la population pédiatrique, l'échocardiographie transthoracique est préférée à la transoesophagienne puisque cette dernière nécessite une anesthésie générale. Elle sera pratiquée par la suite, au moment de l'intervention.

Pour préciser le diagnostic et lorsqu'une procédure par cathétérisme est programmée, le cardiologue interventionnel peut pratiquer un cathétérisme cardiaque avant l'intervention pour évaluer précisément les caractéristiques du défaut et planifier au mieux la taille du dispositif qui sera mis en place, ainsi que d'éventuelles particularités non détectées jusqu'à présent pouvant augmenter les risques d'échec de la procédure. Par exemple, nous pouvons mesurer les saturations en oxygène afin d'effectuer un calcul du shunt selon l'équation de Fick. Dans une même optique, la technique du Balloon sizing permet de mesurer la taille du défaut.

Traitement

Rappelons qu'une grande majorité des CIA de type ostium secundum de < 3 mm se ferment spontanément et que la plupart des communications de 3 à 8 mm se ferment lorsque le patient a environ 3 ans.

S'ils sont asymptomatiques, ces enfants peuvent être simplement suivis avec des échographies périodiques jusqu'à la fermeture spontanée de l'ostium et ne requièrent aucune intervention. Malgré tout, aucune étude n'a prouvé que le risque de faire une embolie paradoxale était insignifiant chez les jeunes enfants avec une communication autre que le foramen ovale perméable. Cependant, il semblerait que cela reste très rare, bien que ces enfants soient théoriquement à risque de faire ce genre d'événements.

Les communications qui ont un retentissement hémodynamique avec une surcharge droite, doivent être fermées précocement chez les enfants. Les communications de type ostium secundum sont les seuls, mise à part le foramen ovale perméable, pouvant se fermer par cathétérisme. Ce traitement invasif se fait généralement entre 2 et 6 ans, mais peut se faire avant si l'enfant présente des comorbidités telle qu'une atteinte au niveau pulmonaire. Une étude sortie en 2017 montre que la plupart des patients peuvent attendre l'âge préscolaire pour planifier une fermeture élective du défaut sans devoir intervenir chirurgicalement plus tôt dans la petite enfance ¹⁸.

Le choix de la méthode utilisée repose sur l'anatomie du défaut ainsi que la clinique du patient concerné. Lors de CIA de type ostium secundum, le choix de la chirurgie ou cathétérisme interventionnel s'offre aux médecins et aux patients. De ce fait, certains critères, que nous verrons dans le chapitre de sélection des patients, ont été mis en place.

Différents dispositifs existent actuellement sur le marché. Le plus couramment utilisé reste le dispositif Amplatzer. Il est, de ce fait, le plus étudié et analysé dans les différents articles médicaux, raison pour laquelle ce travail se concentrera principalement sur ce dernier. D'autres dispositifs tel que le dispositif CardioSEAL ou encore l'Helex ou le STARFlex plus récents sont également disponibles mais ne seront que peu mentionnés dans ce travail.

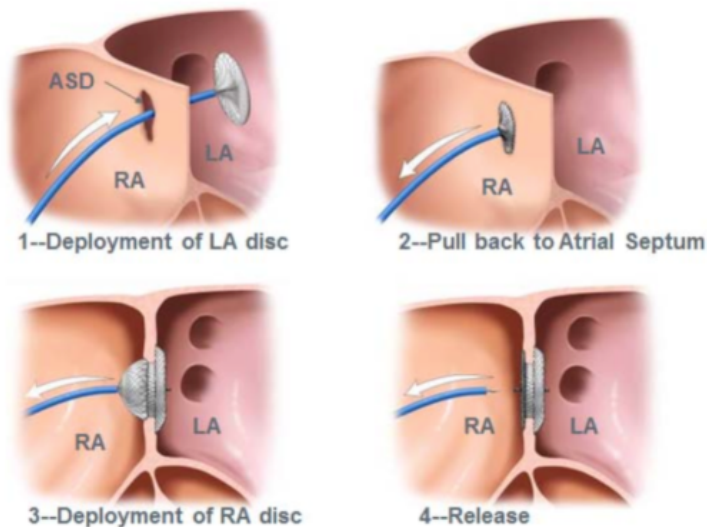


Figure 15 : Présentation de la technique Amplatzer. Interauriculaire communication, K. Hadeed and P. Acar, Children Hospital, Toulouse

L'Amplatzer est une double-ombrelle centrée sur elle-même qui permet de fermer le défaut septal grâce à ses deux parties qui vont se coller l'une contre l'autre en comprimant tout autour les bords du défaut. Raison pour laquelle les pourtours du défaut doivent être méticuleusement mesurés au préalable. De plus, l'Amplatzer est composé d'un matériel polyester qui promeut l'occlusion avec une croissance du tissu alentour. En outre, un aspect pratique pour l'opérateur est qu'il peut sans problème être remplacé au niveau du septum.

Aujourd'hui et contrairement au début du cathétérisme interventionnel jusqu'au début des années 2000, nous avons la possibilité de fermer des défauts jusqu'à 38 mm, ainsi que des défauts multiples, en utilisant l'Amplatzer¹⁹. En comparaison, l'Helex peut, quant à lui, refermer des défauts jusqu'à 22 mm.

Un critère important lors du choix du dispositif est le diamètre des ailettes. Ce dernier doit être supérieur au diamètre du défaut de 2 mm du côté de l'oreillette droite et de 4 mm du côté de l'oreillette gauche. Cette différence se justifie car la circulation gauche exerce une pression supérieure sur le dispositif que la circulation droite.

Durant l'intervention percutanée, un contrôle par échographie transoesophagienne est réalisé tout au long de l'intervention. Ceci permet de vérifier le bon emplacement du dispositif ainsi que d'éventuels shunts résiduels.

Suite à la fermeture du défaut, que ce soit par méthode percutanée ou par chirurgie, une prophylaxie contre l'endocardite est nécessaire pendant 6 mois.

Avantages et inconvénients

Chaque méthode a ses propres caractéristiques s'accompagnant d'avantages et d'inconvénients, que nous allons énumérer dans ce chapitre.

Pour commencer, un avantage du cathétérisme interventionnel est la possibilité d'éviter l'utilisation de la circulation extracorporelle. Ceci permet de réduire le risque de certaines complications pouvant accompagner cette utilisation, comme une atteinte des reins ou encore

Table 3. Comparison of Complications Between Device and Surgical Closure Groups

	Device Group (n = 442)	Surgical Group (n = 154)	p Values
Major complications (total)	7 (1.6%)	8 (5.4%)	0.030
Cardiac arrhythmias requiring major treatment*	2 (0.5%)	0	1.000
Device embolism with surgical removal	3 (0.2%)	0	0.572
Marker band embolism with surgical removal	1 (0.2%)	0	1.000
Cerebral embolism with extremity numbness	1 (0.2%)	0	1.000
Pericardial effusion with tamponade	0	3 (1.9%)	0.017
Pulmonary edema	0	1 (0.6%)	0.258
Repeat surgery	0	2 (1.3%)	0.066
Surgical wound complications	0	2 (1.3%)	0.066
Minor complications (total)	27 (6.1%)	29 (18.8%)	< 0.001
Anemia	0	1 (0.6%)	0.258
Allergic reaction (drug)	2 (0.5%)	0	1.000
Cardiac arrhythmias requiring minor treatment†	15 (3.4%)	9 (5.2%)	0.232
Device embolism with percutaneous removal	2 (0.5%)	0	1.000
Headaches/possible TIA	2 (0.5%)	0	1.000
Marker band embolism	2 (0.5%)	0	1.000
Post pericardiotomy syndrome	0	2 (1.3%)	0.066
Pericardial effusion	0	6 (3.9%)	< 0.001
Pleural effusion	0	1 (0.6%)	0.258
Staph infection	0	1 (0.6%)	0.258
Surgical wound complications	0	1 (2.6%)	0.258
Thrombus formation	3 (0.2%)	0	0.572
Transfusions	0	2 (1.3%)	0.066
Upper respiratory infection/fever	0	2 (1.3%)	0.066
Urinary tract disturbance	1 (0.2%)	0	1.000
Total complications (patient basis)	32 (7.2%)	37 (24.0%)	< 0.001

*One patient in the device group had two major cardiac arrhythmia complications. †One patient in device group had two minor cardiac arrhythmia complications.

TIA = transient ischemic attack.

Figure 16: Comparaison des complications entre la chirurgie et l'interventionnel. Du, Zhong-Dong, Ziyad M Hijazi, Charles S Kleinman, Norman H Silverman, et Kinley Larntz. « Comparison between Transcatheter and Surgical Closure of Secundum Atrial Septal Defect in Children and Adults ». *Journal of the American College of Cardiology* 39, n° 11 (juin 2002): 1836-44.

une hémolyse avec anémie. Le cathétérisme interventionnel devient d'autant plus intéressant à pratiquer sur des patients plus fragiles, comme par exemple les personnes très symptomatiques.

Il a été démontré que le taux de complications lors d'interventions par cathétérisme était moindre que lors de chirurgie. Dans une étude sortie en 2002, le taux s'élevait à 7.2% pour le

cathétérisme interventionnel, tandis que celui de la chirurgie était estimé à 24%²⁰. Sur le tableau précédent, nous pouvons observer les différentes complications rencontrées dans les deux groupes de patients. Nous remarquons très clairement que chaque groupe a ses propres complications dues au fait qu'elles découlent directement des gestes effectués pour chaque type d'opération. La complication la plus fréquente dans les deux groupes respectivement, est l'arythmie cardiaque ne requérant qu'un traitement mineur. Ceci s'explique par le fait que ces interventions sont toutes les deux pratiquées au niveau des oreillettes, où sont présents les nœuds sinusal et atrio-ventriculaire. Lors de pose de dispositif occlusif, la taille de ce dernier peut être un bon indicateur des possibles arythmies engendrées. Lors de chirurgie, la taille du patch mais surtout son emplacement peut nous informer sur le risque potentiel d'arythmies post-opératoire. Le taux d'arythmies reste, néanmoins, proportionnellement plus élevé dans le groupe percutané que le groupe chirurgical.

Pour l'interventionnel, un embole du dispositif est le plus à craindre. Tandis que lors d'une chirurgie, la complication majeure que l'on craint le plus est la tamponnade. Heureusement, le taux de cette dernière reste mineur, à 1.9%.

Les complications majeures restent, néanmoins, rares puisqu'elles représentent 1.6% pour l'interventionnel et 5.4% pour la chirurgie.

Précisons que cette étude n'a inclus que des patients avec une CIA de type ostium secundum mais que pour être inclus dans le groupe interventionnel, les patients ne devaient pas avoir un défaut de plus de 38 mm.

Dans une autre étude plus récente²¹ comparant spécifiquement l'Amplatzer à la chirurgie, le taux de complications était respectivement de 13% et de 25%.

Une étude de 2007 a observé que le pourcentage de complications post-fermeture par chirurgie était significativement plus élevé pour les patients de plus de 40 ans, lorsque le rapport du débit pulmonaire rapporté sur le débit systémique était supérieur à 2.1 et lorsque la pression artérielle pulmonaire systolique était supérieure à 50 mmHg. Le groupe interventionnel quant à lui avait des complications principalement corrélées à la taille du défaut, plus précisément s'il dépassait 15 cm²/m², et non pas corrélées à l'âge du patient. Par contre, pour les patients de moins de 40 ans, l'étude n'observe aucune différence de courbe de survie sans complications

dans les deux groupes²².

Ensuite, un point à ne pas négliger et auquel le patient apporte une attention toute particulière, est la cicatrice que l'opération laissera. Lors de chirurgie, contrairement à l'interventionnel, une cicatrice de sternotomie sera visible suite à l'opération et le patient subira des douleurs sternales ou thoraciques encore plusieurs jours après l'opération. De nos jours, différentes méthodes chirurgicales ont été mises en place pour contourner ces inconvénients. Une comparaison entre l'approche axillaire et l'approche sub mammaire a démontré une bonne efficacité des deux méthodes avec un temps similaire du patient sous circulation extracorporelle. Cependant, l'approche axillaire offre un moins bon accès aux différentes structures du cœur. Elle a été, malgré tout, définie avec autant de sûreté que l'approche sub mammaire. Le résultat esthétique était pour les deux groupes excellent²³. Ces abords sont donc particulièrement intéressants à proposer aux femmes. Pour les jeunes filles par contre, l'abord axillaire est préféré puisque la cicatrice en sub mammaire pourrait ne pas être harmonieuse, par la suite, avec le développement de la glande mammaire.

Même si lors de ses débuts, le cathétérisme interventionnel était plus cher que la technique chirurgicale de part le coût élevé des dispositifs occlusifs, il a su montrer ses avantages économiques par la suite. Premièrement, il ne nécessite pas de circulation extracorporelle, ce qui diminue le temps d'opération, le nombre de personnels soignants nécessaires ainsi que le matériel utilisé. Deuxièmement et comme déjà cité, les complications surviennent moins souvent lors d'intervention par cathétérisme et les patients n'ont pas besoin de séjourner aux soins intensifs suite à l'intervention, ce qui diminue fortement les coûts engendrés. Dans une étude réalisée aux États Unis sur une population pédiatrique et adulte, le temps de séjour en hôpital était de 1 +/- 0.3 jours suite à une intervention percutanée et de 3.4 +/- 1.2 jours pour le groupe chirurgical²⁴, ce qui explique une bonne partie de la différence des coûts entre les deux groupes.

Un avantage de ces techniques est qu'elles sont complémentaires. Si une méthode échoue, l'autre peut prendre le relais. Par exemple, lors d'embolisation du dispositif, la chirurgie offre la possibilité de pouvoir aller le rechercher. L'opposé est moins courant. Pourtant, une étude réalisée entre 1997 et 2000 a étudié la technique percutanée après échec de la chirurgie. Elle comprenait 5 patients d'âge adulte et 4 d'entre eux ont été jugés aptes pour la correction percutanée. Le dispositif CardioSEAL a été utilisé chez 3 d'entre eux et l'Amplatzer pour le

dernier patient. Les 4 corrections étaient un succès et aucun d'entre eux n'ont subi de complications tardives. Néanmoins, rappelons qu'un shunt résiduel suite à une chirurgie reste une complication rare²⁵.

Rappelons, de plus, que dans la plupart des études comparatives, les patients sont régulièrement plus jeunes dans le groupe chirurgical et ont des défauts plus importants, comme décrit dans la méta-analyse réalisée en 2011²⁶ et qu'il est, de ce fait, parfois difficile de comparer les deux groupes correctement.

Sélection des patients

La sélection des patients pouvant avoir recours à une méthode percutanée est un facteur important de réussite de l'intervention future mais également un inconvénient puisque le patient doit remplir des critères bien précis.

Tout d'abord, un critère très important dans la prise de décision est la mesure du diamètre du défaut entre les deux oreillettes. Une mesure au-dessus de 38 mm ne pourra pas avoir recours à l'interventionnel.

Ensuite, la mesure des berges autour du défaut nous donne une bonne indication de réussite de l'intervention. Elle doit être d'au minimum 5 mm en antérieur, supéroantérieur, inféroantérieur, inférieur ainsi que postérieur. Si ce critère n'est pas respecté, un risque d'érosion d'une paroi avec atteinte des structures environnantes est à craindre.

La communication doit avoir une forme ovale pour pouvoir être traitée avec un dispositif occlusif. Par contre, il est désormais possible de corriger des défauts multiperforés avec des dispositifs spécifiques.

Pour les mêmes raisons qu'énumérées précédemment, la taille du dispositif est également une décision à prendre avec beaucoup de précaution.

Un critère également important lors d'intervention percutanée chez l'enfant, est le rapport entre la taille du dispositif et le poids de l'enfant. Dans une étude réalisée en 2012, les auteurs ont remarqué que, si ce rapport dépassait 1.2, l'occlusion par le dispositif pouvait être un échec. Ceci explique l'utilisation encore importante de la chirurgie en milieu pédiatrique. Malgré tout, ils concluent que la fermeture par un dispositif occlusif chez les enfants peut être réalisée de manière tout à fait sûre²⁷.

Si la sélection des patients n'est pas faite correctement, le dispositif peut échouer à être implanté au niveau du défaut. Différentes causes peuvent être énumérées²⁸. Premièrement, lors de l'utilisation de la méthode de mesure du Ballon Sizing au cours de l'intervention, le défaut peut être plus large que prévu et les berges plus fines. Ensuite, l'embolisation du dispositif peut se produire, avant ou après le relâchement de ce dernier. L'ombrelle peut s'emboliser dans l'oreillette gauche et le ventricule gauche, dans l'aorte ainsi que dans l'oreillette droite et le ventricule droit tout comme au niveau des artères pulmonaires. Il est rare de devoir faire appel à la chirurgie pour récupérer une ombrelle embolisée puisque des techniques de récupération par voie percutanée sont, de nos jours, à disposition. De plus, diverses anomalies anatomiques, comme par exemple une connexion anormale de la veine pulmonaire droite, peuvent être observées par échographie transoesophagienne au moment de l'intervention et peuvent venir contre-indiquer le processus de correction.

Parfois, les patients ne peuvent pas être sélectionnés pour l'intervention en percutané. La technique interventionnelle s'incline et laisse sa place à la chirurgie lorsque le défaut est proche des structures cardiaques, telles que la racine de l'aorte, les veines pulmonaires ou encore l'anneau aortique. Heureusement, ces situations sont rarement rencontrées lors de CIA de type ostium secundum.

Suivi des fermetures de CIA type ostium secundum

Suivi à court et moyen terme

Tout d'abord, les échographies de contrôle nous montrent un rétablissement des dimensions des oreillettes et des ventricules. Dans une étude réalisée sur une population d'enfants de moins de 12 mois et incluant des visites de contrôle après 3 mois et 1 an, la longueur et largeur des cavités du cœur droit avaient diminué en comparaison avec les mesures faites avant la fermeture de la CIA. En contrepartie, ils ont observé une augmentation de l'oreillette et du ventricule gauche²⁹. Cette étude a également observé une meilleure fonction cardiaque, ce qui sous-entend une meilleure qualité de vie de part une symptomatologie diminuée.

Une étude publiée en 2010³⁰ a analysé un taux de 98.5% de fermeture avec l'Amplatz sans shunt résiduel significatif (< 2 mm) après 1 an de suivi. Également dans cette étude, un taux bas de complications majeures et mineures a été retrouvé, lors d'un suivi de 5 ans.

Suivi à long terme

Dans une étude déjà précédemment citée³¹, les auteurs ont comparé les structures ainsi que la fonction cardiaque d'enfants, 3 ans après la fermeture, avec des enfants sains. Elle décrit un remaniement précoce du cœur avec, par la suite, un équilibre progressif. Elle conclut qu'il n'y a aucune différence entre les deux groupes d'enfants, ce qui nous montre l'importance de réaliser la fermeture pendant l'enfance puisqu'un retour à la norme de la fonction cardiaque est possible.

Dans une étude rétrospective de suivi à long terme des fermetures de CIA de type ostium secundum chez l'adulte incluant la chirurgie et le cathétérisme interventionnel réalisée entre 1986 et 2005, la classification d'insuffisance cardiaque de NYHA n'a malheureusement pas changé pour 60% des patients de cette étude, 6% ont vu leur stade augmenté et 4% ont eu leur stade diminué³². Dans cette même étude, le taux d'arythmies cliniquement significatives était de 9.3% suite à la correction. Chez les patients de plus de 40 ans, ce taux s'élève à 21%. Bien que le taux d'arythmies était plus élevée dans le groupe chirurgical, cette différence restait statistiquement non significative. Cette étude concluait que l'âge du patient, et non le type de procédure, représentait un risque indépendant que le patient développe des arythmies. Précisons que cette étude a inclus des patients pédiatriques avec retentissements hémodynamiques de leur shunt et qui présentaient une dilatation du ventricule droit. Ce qui

nous montre, une fois de plus, qu'une correction précoce lorsque le patient n'est pas symptomatique apporte beaucoup plus de bénéfices.

Conclusion

En conclusion, la correction de communications interauriculaires de type ostium secundum chez les enfants est en constant progrès et n'a certainement pas encore fini de s'améliorer. De nos jours, elle est considérée comme efficace et sûre, et la possibilité d'avoir recours à différentes méthodes fait partie de cette réussite.

Bien que la chirurgie reste une méthode indispensable pour la réalisation de corrections de certains défauts, surtout en pédiatrie, le cathétérisme interventionnel est considéré aujourd'hui comme le gold standard des fermetures de CIA de type ostium secundum. Son efficacité est constamment étudiée et prouvée. Comme décrit précédemment, le cathétérisme interventionnel montre une faible morbidité qui nous permet de corriger précocement des défauts septaux chez les patients asymptomatiques et tardivement chez des patients symptomatiques.

En ce qui concerne l'appréciation des patients, nous remarquons que le recours au cathétérisme interventionnel a moins d'impact sur eux d'un point de vue physique et psychologique en comparaison à son opposé, la chirurgie. Cette dernière reste une méthode lourde et risquée qui peut avoir des conséquences graves.

Malgré tout et bien que de nombreux avantages du cathétérisme interventionnel ont été mis en lumière ces dernières années, les études publiées à ce sujet sont limitées, avec des suivis de 7 ans³³, contrairement à la méthode chirurgicale qui, elle, est étudiée depuis plus d'un demi-siècle sur des périodes beaucoup plus longues.

Nous avons pu remarquer que ces techniques sont complémentaires. Une peut être réalisée suite à l'échec de l'autre et vice versa. Bien que cette roue de secours ne soit pas souvent utilisée, elle reste néanmoins très appréciée car des imprévus à conséquences potentiellement graves peuvent survenir rapidement en cardiologie.

Enfin, et grâce aux progrès de la médecine, nous remarquons une mortalité péri-opératoire tous types d'interventions confondus proche de 0 et la survie à long terme avoisine celle de la population générale, à condition que la correction se fasse dans les deux premières dizaines d'années ou avant l'apparition d'hypertension pulmonaire³⁴.

Bibliographie

Articles

- ¹ Dolk H, Loane M, Garne E, European Surveillance of Congenital Anomalies (EUROCAT) Working Group. Congenital heart defects in Europe: prevalence and perinatal mortality, 2000 to 2005. *Circulation*. 2011;123(8):841-9.
- ² Bernier P-L, Stefanescu A, Samoukovic G, Tchervenkov CI. The challenge of congenital heart disease worldwide: epidemiologic and demographic facts. *Semin Thorac Cardiovasc Surg Pediatr Card Surg Annu*. 2010;13(1):26-34.
- ³ Sologashvili, Tornike, René Prêtre, Alexandre Ponti, Anna Nowacka, Maurice Beghetti, et Nicole Sekarski. « Maladies cardiaques congénitales ». *Forum Médical Suisse – Swiss Medical Forum* 17, n° 2627 (27 juin 2017).
- ⁴ Sarah Cohen, Laurence Iserin. Cardiopathies congénitales à l'âge adulte : Mini-revue, *Sang Thrombose Vaisseaux* 2014 ; 26, n° 1 : 23-33
- ⁵ Wolf M, Basson CT. The molecular genetics of congenital heart disease: a review of recent developments. *Curr Opin Cardiol*. 2010;25(3):192-7.
- ⁶ Ferencz C, Rubin JD, McCarter RJ, Brenner JI, Neill CA, Perry LW, et al. Congenital heart disease: prevalence at livebirth. The Baltimore-Washington Infant Study. *Am J Epidemiol*. 1985;121(1): 31-6.
- ⁷ van der Bom T, Zomer AC, Zwinderman AH, Meijboom FJ, Bouma BJ, Mulder BJM. The changing epidemiology of congenital heart disease. *Nat Rev Cardiol*. 2011;8(1):50-60.
- ⁸ Nora JJ. Multifactorial inheritance hypothesis for the etiology of congenital heart diseases. The genetic-environmental interaction. *Circulation*. 1968;38(3):604-17.
- ⁹ K. Hadeed- P. Acar Hôpital des Enfants Toulouse. Communication interauriculaire (CIA)
- ¹⁰ Fondation Suisse de Cardiologie. Fermeture du foramen ovale perméable (FOP), brochure d'information à l'intention du patient
- ¹¹ Saver, Jeffrey L., John D. Carroll, David E. Thaler, Richard W. Smalling, Lee A. MacDonald, David S. Marks, David L. Tirschwell, et RESPECT Investigators. « Long-Term Outcomes of Patent Foramen Ovale Closure or Medical Therapy after Stroke ». *The New England Journal of Medicine* 377, n° 11 (14 2017): 1022-32.
- ¹² Saver, Jeffrey L., John D. Carroll, David E. Thaler, Richard W. Smalling, Lee A. MacDonald, David S. Marks, David L. Tirschwell, et RESPECT Investigators. « Long-Term Outcomes of Patent Foramen Ovale Closure or Medical Therapy after Stroke ». *The New England Journal of Medicine* 377, n° 11 (14 2017): 1022-32.
- ¹³ <https://sfcadio.fr/sites/default/files/pdf/aubry-a300.pdf>
- ¹⁴ « Communication interauriculaire - Pédiatrie ». Édition professionnelle du Manuel MSD.
- ¹⁵ Fondation Suisse de Cardiologie. Fermeture du foramen ovale perméable (FOP), brochure d'information à l'intention du patient
- ¹⁶ Rosas, Martin, Carlos Zabal, Jose Garcia-Montes, Alfonso Buendia, Gary Webb, et Fause Attie. « Transcatheter versus Surgical Closure of Secundum Atrial Septal Defect in Adults: Impact of Age at Intervention. A Concurrent Matched Comparative Study ». *Congenital Heart Disease* 2, n° 3 (mai 2007): 148-55. <https://doi.org/10.1111/j.1747-0803.2007.00091.x>.

¹⁷ Geggel, Robert L. « Clinical Detection of Hemodynamically Significant Isolated Secundum Atrial Septal Defect ». *The Journal of Pediatrics* 190 (novembre 2017): 261-264.e1.

<https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2017.07.037>.

¹⁸ Chen, Qiang, Hua Cao, Gui-Can Zhang, Liang-Wan Chen, Fan Xu, et Jia-Xin Zhang. « Short-Term and Midterm Follow-Up of Transthoracic Device Closure of Atrial Septal Defect in Infants ». *The Annals of Thoracic Surgery* 104, n° 4 (octobre 2017): 1403-9.

¹⁹ Gianfranco, Butera, Biondi-Zoccai Giuseppe, Sangiorgi Giuseppe, Abella Raul, Giamberti Alessandro, Bussadori Claudio, Sheiban Imad, et al. « Percutaneous versus Surgical Closure of Secundum Atrial Septal Defects: A Systematic Review and Meta-Analysis of Currently Available Clinical Evidence ». *Eurointervention Journal, Eurointervention Journal* 7, n° 3 (29 juillet 2011).

²⁰ Du, Zhong-Dong, Ziyad M Hijazi, Charles S Kleinman, Norman H Silverman, et Kinley Larntz. « Comparison between Transcatheter and Surgical Closure of Secundum Atrial Septal Defect in Children and Adults ». *Journal of the American College of Cardiology* 39, n° 11 (juin 2002): 1836-44.

²¹ Rosas, Martin, Carlos Zabal, Jose Garcia-Montes, Alfonso Buendia, Gary Webb, et Fause Attie. « Transcatheter versus Surgical Closure of Secundum Atrial Septal Defect in Adults: Impact of Age at Intervention. A Concurrent Matched Comparative Study ». *Congenital Heart Disease* 2, n° 3 (mai 2007): 148-55.

²² Rosas, Martin, Carlos Zabal, Jose Garcia-Montes, Alfonso Buendia, Gary Webb, et Fause Attie. « Transcatheter versus Surgical Closure of Secundum Atrial Septal Defect in Adults: Impact of Age at Intervention. A Concurrent Matched Comparative Study ». *Congenital Heart Disease* 2, n° 3 (mai 2007): 148-55.

²³ Gil-Jaurena, Juan Miguel, Juan-Ignacio Zabala, Lourdes Conejo, Victorio Cuenca, Beatriz Picazo, Clara Jiménez, Rafael Castillo, Manuel Ferreiros, Manuel de Mora, et Julio Gutiérrez de Loma. « Minimally Invasive Pediatric Cardiac Surgery. Atrial Septal Defect Closure through Axillary and Submammary Approaches ». *Revista Espanola De Cardiologia* 64, n° 3 (mars 2011): 208-12.

²⁴ Du, Zhong-Dong, Ziyad M Hijazi, Charles S Kleinman, Norman H Silverman, et Kinley Larntz. « Comparison between Transcatheter and Surgical Closure of Secundum Atrial Septal Defect in Children and Adults ». *Journal of the American College of Cardiology* 39, n° 11 (juin 2002): 1836-44.

²⁵ Chessa, Massimo, Gianfranco Butera, Alessandro Giamberti, Roberta Margherita Bini, et Mario Carminati. « Transcatheter Closure of Residual Atrial Septal Defects after Surgical Closure ». *Journal of Interventional Cardiology* 15, n° 3 (juin 2002): 187-89.

²⁶ Gianfranco, Butera, Biondi-Zoccai Giuseppe, Sangiorgi Giuseppe, Abella Raul, Giamberti Alessandro, Bussadori Claudio, Sheiban Imad, et al. « Percutaneous versus Surgical Closure of Secundum Atrial Septal Defects: A Systematic Review and Meta-Analysis of Currently Available Clinical Evidence ». *Eurointervention Journal, Eurointervention Journal* 7, n° 3 (29 juillet 2011).

²⁷ Thomas, Vincent C., Robert Vincent, Anthony Raviele, Helen Diehl, Holly Qian, et Dennis Kim. « Transcatheter Closure of Secundum Atrial Septal Defect in Infants Less than 12 Months of Age Improves Symptoms of Chronic Lung Disease ». *Congenital Heart Disease* 7, n° 3 (1 mai 2012): 204-11.

²⁸ Du, Zhong-Dong, Ziyad M Hijazi, Charles S Kleinman, Norman H Silverman, et Kinley Larntz. « Comparison between Transcatheter and Surgical Closure of Secundum Atrial Septal Defect in Children and Adults ». *Journal of the American College of Cardiology* 39, n° 11 (juin 2002): 1836-44.

²⁹ Chessa, Massimo, Gianfranco Butera, Alessandro Giamberti, Roberta Margherita Bini, et Mario Carminati. « Transcatheter Closure of Residual Atrial Septal Defects after Surgical Closure ». *Journal of Interventional Cardiology* 15, n° 3 (juin 2002): 187-89.

³⁰ Chen, Qiang, Hua Cao, Gui-Can Zhang, Liang-Wan Chen, Fan Xu, et Jia-Xin Zhang. « Short-Term and Midterm Follow-Up of Transthoracic Device Closure of Atrial Septal Defect in Infants ». *The Annals of Thoracic Surgery* 104, n° 4 (octobre 2017): 1403-9.

³¹ Kashour, T. S., Latroche, B., Elhoury, M. E., & Galal, M. O. (2010). Successful percutaneous closure of a secundum atrial septal defect through femoral approach in a patient with interrupted inferior vena cava. *Congenital Heart Disease*, 5(6), 620-623.

³² Chen, Qiang, Hua Cao, Gui-Can Zhang, Liang-Wan Chen, Fan Xu, et Jia-Xin Zhang. « Short-Term and Midterm Follow-Up of Transthoracic Device Closure of Atrial Septal Defect in Infants ». *The Annals of Thoracic Surgery* 104, n° 4 (octobre 2017): 1403-9.

³³ Kutty, Shelby, Anas Abu Hazeem, Kimberly Brown, Christopher J. Danford, Sarah E. Worley, Jeffrey W. Delaney, David A. Danford, et Larry A. Latson. « Long-Term (5- to 20-Year) Outcomes After Transcatheter or Surgical Treatment of Hemodynamically Significant Isolated Secundum Atrial Septal Defect ». *The American Journal of Cardiology* 109, n° 9 (mai 2012): 1348-52.

³⁴ Vida, Vladimiro L., Joaquin Barnoya, Mauricio O'Connell, Juan Leon-Wyss, Luis A. Larrazabal, et Aldo R. Castañeda. « Surgical versus Percutaneous Occlusion of Ostium Secundum Atrial Septal Defects: Results and Cost-Effective Considerations in a Low-Income Country ». *Journal of the American College of Cardiology* 47, n° 2 (17 janvier 2006): 326-31.

³⁵ Geggel, Robert L. « Clinical Detection of Hemodynamically Significant Isolated Secundum Atrial Septal Defect ». *The Journal of Pediatrics* 190 (novembre 2017): 261-264.e1.

Livres

William Larsen, Gary C Schoenwolf, Philip R Brauer, Philippa Francis-West. Embryologie humaine. 4^{ème} édition. 2017.

Constantine Mavroudis, Carl Backer, Richid F. Idriss. Pediatric cardiac surgery. 4^{ème} édition. 2013.

Hugh D. Allen, David J. Discoll, Robert E. Shaddy, Timothy F. Feltes. Heart Disease in Infants, Children and Adolescents. Volume 1. 8^{ème} édition. 2012.

Moller and Hoffman, Pediatric cardiovascular Medicine. 2000.