



Université Lille 2
Droit et Santé

UNIVERSITE DU DROIT ET DE LA SANTE - LILLE 2
FACULTE DE MEDECINE HENRI WAREMBOURG

Année : 2012

THESE POUR LE DIPLOME D'ETAT
DE DOCTEUR EN MEDECINE

*Fermeture percutanée des communications
interauriculaires chez les enfants de moins de 24 mois*

Présentée et soutenue publiquement le 15 octobre 2012

Pôle Formation de la Faculté

Par Morgan Recher

Jury

Président : Monsieur le Professeur François Godart

Assesseurs : Monsieur le Professeur Patrick Truffert

Monsieur le Professeur Stéphane Leteurtre

Monsieur le Professeur André Vincentelli

Directeur de Thèse : Monsieur le Professeur François Godart

Sommaire

SOMMAIRE	1
SOMMAIRE DES FIGURES	3
SOMMAIRE DES TABLEAUX	4
SOMMAIRE DES ANNEXES	5
ABREVIATIONS	6
INTRODUCTION	7
I. Diagnostic des communications interauriculaires	7
II. Traitement des communications interauriculaires chez les enfants	13
A. Chirurgie cardiaque et cathétérisme interventionnel	13
B. Cathétérisme interventionnel dans les communications interauriculaires.....	14
C. Indications de fermeture percutanée des communications interauriculaires	15
III. Objectifs de l'étude	16
IV. Critères de jugement	16
PATIENTS ET METHODES	17
I. Population	17
II. Prothèse utilisée	18
III. Variables cliniques	20
A. Variables initiales.....	20
B. Variables de suivi.....	21
IV. Variables paracliniques	21
A. Variables initiales.....	21
1) Etude non invasive.....	21
2) Cathétérisme cardiaque.....	23
B. Variables de suivi.....	24
V. Analyse statistique	25
RESULTATS	26
I. Paramètres généraux initiaux	26
A. Caractéristiques de la population	26
1) Caractéristiques générales.....	26
2) Pathologies cardiaques associées	27
3) Pathologies associées non cardiaques.....	28
B. Caractéristiques échocardiographiques générales avant la fermeture.....	31
1) Diamètre des communications interauriculaires et taille du septum interauriculaire	31
2) Sens du shunt auriculaire	31
3) Paramètres échocardiographiques associés	32

C. Indications de fermeture.....	33
D. Paramètres obtenus lors du cathétérisme	36
1) Diamètre des communications interauriculaires.....	36
2) Paramètres généraux	36
II. Résultats du cathétérisme.....	37
III. Suivi des patients.....	40
A. Evolution staturo-pondérale.....	40
B. Evolution des paramètres cardiaques	43
1) Fonction ventriculaire gauche.....	43
2) Pressions artérielles pulmonaires systoliques	43
C. Autres paramètres cliniques	45
1) Nombre de surinfections bronchiques et/ou pulmonaires.....	45
2) Nombre d'hospitalisation pour surinfections bronchiques et/ou pulmonaires et pour décompensation cardiaque	46
DISCUSSION	48
1) Synthèse des résultats	48
2) Chirurgie cardiaque ou cathétérisme interventionnel?	50
3) Faisabilité du cathétérisme interventionnel	51
4) Complications du cathétérisme interventionnel	51
5) Efficacité à long terme du cathétérisme interventionnel	52
6) Paramètres du cathétérisme interventionnel.....	53
7) Echocardiographie.....	55
8) Enfants nés prématurément	56
9) Enfants avec une cardiopathie de type droite	57
10) Variation pondérale	58
11) Variation des pressions artérielles pulmonaires	60
12) Implications cliniques	62
13) Limites de l'étude	63
CONCLUSION	65
BIBLIOGRAPHIE.....	67
ANNEXES	73

Sommaire des figures

Figure 1 : Vue chirurgicale d'une CIA.....	9
Figure 2 : Déploiement d'une prothèse Amplatzer® septal occluder.....	19
Figure 3 : Photo et dessin d'une vue sagittale d'une prothèse Amplatzer® septal occluder.....	19
Figure 4 : Nombre de patients en fonction des indications de fermeture des CIA.....	33
Figure 5 : Nombre d'indications de fermeture par patient.....	34
Figure 6 : Evaluation du Z-score moyen à partir de la fermeture de la CIA.....	41
Figure 7 : Nombre de surinfections bronchiques et/ou pulmonaires des patients avant et après la fermeture de la CIA.....	45
Figure 8 : Nombre de jours d'hospitalisation dans un service de médecine pour surinfections bronchiques et/ou pulmonaires avant et après la fermeture de la CIA.....	47
Figure 9 : Image échocardiographique transthoracique 4 cavités d'une CIA ostium secundum.....	73
Figure 10 : Image échocardiographique transcœsophagienne d'une CIA ostium secundum.....	73

Sommaire des tableaux

Tableau I : Critères échocardiographiques de l'HTAP selon l'ESC.....	22
Tableau II : Répartition des âges pour chaque patient en fonction du genre.....	27
Tableau III : Pathologies associées cardiaques et non cardiaques.....	30
Tableau IV : Nombre de prématurés et type de cardiopathie en fonction du sens du shunt interauriculaire.....	32
Tableau V : Indications de fermeture pour les patients prématurés.....	35
Tableau VI : Résultats de la fermeture et sens du shunt résiduel après le cathétérisme interventionnel.....	39
Tableau VII : Evolution des valeurs moyennes du Z-score du poids et du Z-score du rapport poids/taille pendant et après la fermeture des CIA.....	42
Tableau VIII : Valeurs des pressions artérielles pulmonaires systoliques à 1 mois et 4 mois de suivi.....	44
Tableau IX : Caractéristiques générales et cardiaques des patients.....	74
Tableau X : Pathologies associées et type d'oxygénothérapie des patients.....	76

Sommaire des annexes

Annexe 1 : Images échocardiographiques de CIA.....	73
Annexe 2 : Caractéristiques générales et cardiaques des patients.....	74
Annexe 3 : Pathologies associées et type d'oxygénothérapie des patients.....	76

Abréviations

CIA : communication interauriculaire
VCI : veine cave inférieure
PFO : foramen ovale perméable
VCS : veine cave supérieure
Qp/Qs : débit pulmonaire/débit systémique
HTAP : hypertension artérielle pulmonaire
ESC : European Society of Cardiology
IT: insuffisance tricuspide
PAPs : pression artérielle pulmonaire systolique
mmhg : millimètre de mercure
CIV : communication interventriculaire
Kg : kilogrammes
g : grammes
M : masculin
F : féminin
ETT : échocardiographie transthoracique
ETO : échocardiographie transœsophagienne
IGF 1: Insulin Growth factor 1
SA : semaines d'aménorrhée

INTRODUCTION

I. Diagnostic des communications interauriculaires

Les communications interauriculaires (CIA) ont été décrites pour la première fois en 1875 par Rokitansky, mais les caractéristiques cliniques n'ont été élucidées qu'à partir de 1941 (1). Les CIA constituent la seconde cardiopathie congénitale la plus importante chez les enfants (une naissance vivante pour 1000) (2) et représentent 30% des malformations cardiaques congénitales chez l'adulte (3).

a) Embryologie

L'oreillette primitive apparaît rapidement lors de la vie embryonnaire, entre le 22^{ème} et 24^{ème} jour. L'ébauche auriculaire se développe à la partie haute et postérieure du ventricule primitif. Le développement de l'épine vestibulaire (qui dérive du mésocarde dorsal) (4) est indispensable à la fermeture du foramen interauriculaire primitif. La septation auriculaire s'effectue à la cinquième semaine de vie intra utérine. Le septum primum se développe de bas en haut à partir du sinus veineux commun. L'orifice formé, en haut et en arrière, par la concavité du septum primum, et en bas et en avant, par les bourgeons du canal atrio-ventriculaire, est appelé ostium primum. Il est fermé par l'union des bourgeons endocardiaques lors de la septation du canal atrioventriculaire. L'ostium secundum représente l'espace libre au-dessus du bord libre du septum primum lorsque celui-ci a terminé sa croissance. Le septum secundum est une structure musculaire qui descend à droite du septum primum. Le septum secundum, en chevauchant le septum primum, forme le foramen ovale, les deux septums s'accrocheront à la naissance.

b) Anatomie (Figure 1)

Les communications interauriculaires sont de plusieurs types :

- Les CIA ***ostium primum*** qui s'associent le plus souvent à d'autres malformations cardiaques (représentées essentiellement par le canal atrio-ventriculaire complet) ;
- Les CIA ***ostium secundum*** qui sont situées à la partie basse du septum interauriculaire. Elles ne sont pas confluentes ni avec les valves auriculo-ventriculaires (contrairement aux CIA ostium primum), ni avec les veines caves (contrairement aux CIA de type sinus venosus supérieure ou inférieure). Elles peuvent être dues à une déhiscence du septum primum (dans la majorité des cas), à une déhiscence du septum secundum (5), à une déhiscence des deux septas, ou à la persistance du foramen ovale (PFO) résultant de l'absence de fusion des septums primum et secundum ;
- Les CIA de type ***sinus venosus*** sont liées à une déhiscence de la paroi musculaire séparant les veines pulmonaires de la veine cave supérieure (VCS) ou de l'oreillette droite. Elles s'associent fréquemment à un drainage anormal des veines pulmonaires droites dans la VCS ou l'oreillette droite. Elles représentent 10% des CIA (6) ;
- Les CIA du ***sinus coronaire*** sont liées à une déhiscence ou une absence du toit du sinus coronaire qui communique alors directement avec l'oreillette gauche ;
- Les CIA basses « ***low septal defect*** » intéressant la portion basse du septum interauriculaire au voisinage de la veine cave inférieure (VCI).

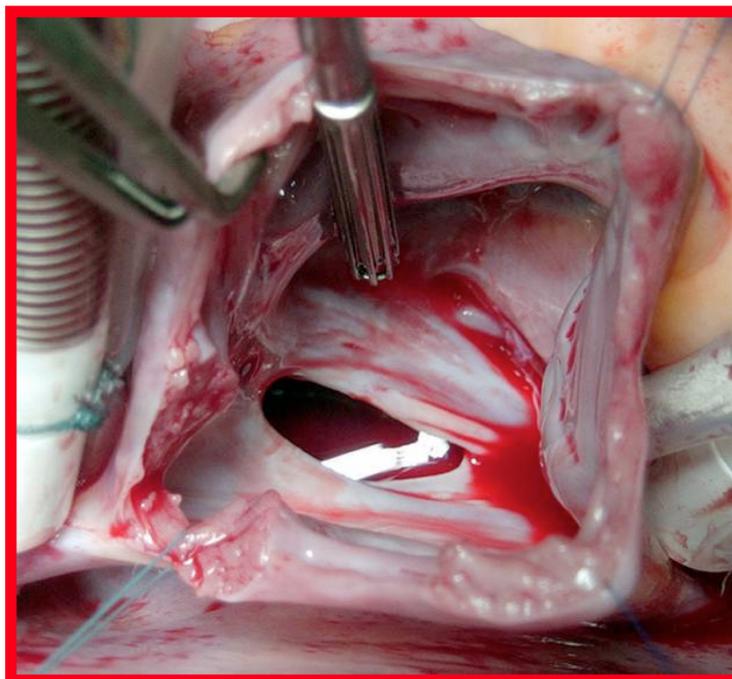


Figure 1. Vue chirurgicale d'une CIA.

c) Physiopathologie

Le sens du shunt au travers de la CIA est déterminé par une différence de pression entre les deux oreillettes, le régime de pression étant lui-même déterminé par de nombreux facteurs (comme, par exemple, le retour veineux et la compliance des ventricules). A la naissance, les résistances pulmonaires sont élevées et le ventricule droit est hypertrophié. Ceci explique le peu d'importance du shunt atrial gauche-droite chez le nouveau-né. Avec le temps, les résistances pulmonaires vont progressivement diminuées, et l'hypertrophie ventriculaire droite va régresser, la conséquence en est une augmentation du shunt gauche-droite au niveau auriculaire.

Ce shunt entraîne un hyperdébit dans l'artère pulmonaire. L'hyperdébit pulmonaire provoque une surcharge volumique dans l'oreillette droite et une dilatation des cavités droites et de l'artère pulmonaire.

d) Clinique

Sur le plan fonctionnel, les signes cliniques sont le plus souvent absents. La dyspnée est rare. On peut observer chez l'enfant un retard pondéral. Par contre, les bronchites ou bronchiolites et les infections pulmonaires à répétition sont fréquentes, avec des poussées d'insuffisance cardiaque chez ces enfants lors des épisodes infectieux. L'examen clinique peut retrouver un souffle protomésosystolique éjectionnel maximal au foyer pulmonaire et irradiant dans les deux aisselles, d'intensité 1 à 2/6^{ème}, parfois 3/6^{ème}, lié à l'augmentation du débit sanguin au travers de la valve pulmonaire. S'y associent un éclat du premier bruit et un dédoublement fixe du second bruit.

Tous ces signes sont souvent discrets chez les petits enfants et les adultes car le souffle est d'intensité modéré, les 2 signes auscultatoires les plus fréquents étant la présence d'un souffle perçu au foyer pulmonaire et le dédoublement du second bruit.

Si la plupart des CIA sont isolées chez l'enfant, elles peuvent s'associer à certaines pathologies ou s'intégrer dans un cadre syndromique qu'il faut rechercher (comme par exemple le syndrome de Holt-Oram, d'Ellis-van Creveld, de Noonan, de Poland, les fœtopathies et les formes familiales).

e) Examens paracliniques

- L'échocardiographie est l'examen de référence dans cette pathologie. L'échocardiographie (transthoracique ou transœsophagienne) (Annexe 1) fait le diagnostic positif de la CIA (8), évalue son retentissement et apprécie son évolution. En effet cet examen permet de préciser le type anatomique des CIA, de mesurer leur diamètre en mode bidimensionnel et en doppler couleur en utilisant toutes les coupes disponibles (les CIA étant le plus souvent ovales et non rondes). C'est le plus grand diamètre qui doit être pris en compte (9). La longueur du septum interauriculaire

doit être mesurée, cette longueur devant être au moins plus grande de 14 mm que le diamètre de la CIA pour envisager l'implantation d'un dispositif de type Amplatzer® septal occluder. La meilleure corrélation du diamètre mesuré des CIA avec le diamètre étiré mesuré lors du cathétérisme est obtenue par la mesure en Doppler couleur en coupe apicale 4 cavités ($r=0,79$) (9). L'analyse des rebords (rebord inférieur adjacent à la veine cave supérieure et à la veine pulmonaire supérieure droite, rebord antéropostérieur proche de la veine cave inférieure, rebord supérieur adjacent à la paroi supérieure de l'oreillette) est également fondamentale, car la mise en place d'une prothèse de fermeture nécessite la présence de rebords d'au moins 5 millimètres sur la circonférence du défaut. Seul le rebord postérieur à l'aorte, qui représente le rebord antérieur de la CIA, peut être absent (10). L'échocardiographie peut évaluer le retentissement du shunt auriculaire par la mesure du diamètre du ventricule droit (surcharge volumique), et par l'existence d'un mouvement paradoxal du septum interventriculaire, c'est à dire d'un mouvement inversé du septum interventriculaire. La mesure du rapport des débits cardiaques pulmonaires et systémiques (Q_p/Q_s) permet d'évaluer la surcharge ventriculaire droite et donc l'hyperdébit pulmonaire :

Ce calcul est bien corrélé à celui obtenu par cathétérisme cardiaque ($r=0,85$) (11). Un rapport de débit supérieur à 1,5 est une indication de fermeture de la CIA (12).

L'échocardiographie permet également la recherche d'anomalies associées (comme par exemple les retours veineux anormaux, l'insuffisance mitrale, le rétrécissement pulmonaire). Ces anomalies doivent être reconnues pour la prise en charge thérapeutique, autant pour la fermeture chirurgicale que pour le cathétérisme interventionnel.

- L'électrocardiogramme peut montrer une déviation axiale droite avec un bloc de branche droit incomplet. Progressivement des signes de surcharge ventriculaire droite vont apparaître avec une prédominance de l'onde R' en V1.

- La radiographie thoracique de face peut objectiver une cardiomégalie, avec une dilatation du tronc de l'artère pulmonaire se traduisant par une saillie de l'arc moyen gauche, et une hyper vascularisation pulmonaire, témoin d'un hyperdébit pulmonaire. Dans la majorité des cas, la radiographie pulmonaire est normale.

- Le cathétérisme cardiaque et l'angiographie permettent la quantification du shunt gauche-droite, la mesure des pressions artérielles pulmonaires et la recherche d'anomalies associées. Elle permet également la mesure des débits pulmonaires et systémiques (Qp/Qs) par application du principe de Fick. Les équations de Fick permettent d'estimer le débit cardiaque pulmonaire et le débit cardiaque systémique grâce à la différence artério-veineuse en oxygène (13).

f) Complications

La complication la plus précoce est l'apparition d'une arythmie, représentée surtout par les tachycardies supra ventriculaires (comme les fibrillations auriculaires et les extrasystoles auriculaires) (14).

Dans l'évolution naturelle peuvent apparaître une dysfonction ventriculaire droite, ainsi qu'une hypertension artérielle pulmonaire par altération des artérioles pulmonaires.

Les CIA s'accompagnent dans la grande majorité des cas d'un hyperdébit pulmonaire sans hypertension artérielle pulmonaire (HTAP), par adaptation des résistances vasculaires pulmonaires qui sont alors abaissées. Lorsque la CIA est large ou

que le débit pulmonaire est augmenté, les pressions pulmonaires peuvent augmenter et le pronostic de l'HTAP dépendra du niveau des résistances vasculaires pulmonaires. La prévalence de l'HTAP dans les CIA varie entre 4 et 40 % (15,16).

g) Histoire naturelle de la CIA

L'intérêt pour cette malformation a été renforcé par le fait que le diagnostic est devenu plus facile, même pour les CIA asymptomatiques, de par l'utilisation de l'échocardiographie, et par les nombreuses études évaluant l'histoire naturelle de ces malformations. En effet, les CIA ont tendance à se fermer spontanément avant l'âge de 3-4 ans, surtout si celles-ci sont petites, inférieures à 8 mm lors du diagnostic (17). Si les CIA sont plus importantes, elles évolueront progressivement vers une augmentation de taille. McMahon *et al.* ont montré que le diamètre des CIA augmentait surtout après l'âge de 4 ans, de façon proportionnel à la croissance de l'enfant mais aussi au diamètre des CIA lors du diagnostic (18).

II. Traitement des communications interauriculaires

chez les enfants

A. Chirurgie cardiaque et cathétérisme interventionnel

La fermeture chirurgicale ou par cathétérisme interventionnel des communications interauriculaires est réalisée habituellement entre l'âge de 4 à 6 ans, en cas de signes cliniques et paracliniques évocateurs d'hyperdébit pulmonaire (19). La fermeture des CIA avant l'âge de 15 ans permet de supprimer la mortalité cardiovasculaire, les accidents vasculaires cérébraux, l'insuffisance cardiaque et

l'hypertension artérielle pulmonaire, et diminue la prévalence des troubles du rythme supra ventriculaires (20).

La fermeture chirurgicale des CIA est pratiquée depuis plus de 50 ans et était considérée comme le traitement standard pour ces patients (21,22). Cependant, elle est associée à une morbidité non négligeable (23,24), elle nécessite une circulation extra corporelle, un séjour hospitalier de 6 à 10 jours, et provoque un inconfort ainsi qu'une cicatrice de sternotomie parfois inesthétique.

La fermeture par voie percutanée des CIA fut proposée pour la première fois en 1976 par King et Mills (25). La prothèse mise en place était rigide, volumineuse et nécessitait un abord chirurgical de l'axe veineux fémoral. Elle était inutilisable chez les enfants. Cette technique a ensuite évolué pour devenir de plus en plus perfectionnée et utilisée dans de nombreux centres (26,27), devenant ainsi une alternative à la chirurgie. L'introduction du nitinol (alliage de nickel et titane), caractérisé par sa mémoire de forme, a présenté une grande avancée. Actuellement la prothèse la plus utilisée est l'Amplatzer® septal occluder (AGA medical) (27,28). D'autres prothèses existent sur le marché, comme les prothèses CardioSEAL® (NMT medical), Atrisept TM (Cardia Inc.) ou Figulla Occluder ® (29,30). Ces prothèses sont actuellement utilisables chez les enfants présentant une CIA.

B. Cathétérisme interventionnel dans les communications interauriculaires

La fermeture percutanée ne peut s'appliquer qu'aux CIA de type ostium secundum ayant des rebords d'une taille supérieure ou égale à 5 mm au niveau des parties postérieure, inférieure et supérieure du septum interauriculaire (les CIA *low septal defect* ne peuvent être fermées par cette méthode). La taille du rebord antérieur

n'a pas d'importance pour la fermeture percutanée (27,31). La CIA doit, de plus, être distante des structures importantes du cœur (comme par exemple les valves auriculo-ventriculaires), les disques de la prothèse devant trouver appui sur une structure sans perturber son fonctionnement. La fermeture percutanée est également conditionnée par le diamètre des CIA, les prothèses sur le marché ayant un diamètre maximal. Actuellement il est possible de fermer des CIA mesurant jusqu'à 40 mm (32).

C. Indications de fermeture percutanée des communications interauriculaires

Les indications de fermeture des CIA sont les surcharges volumiques du ventricule droit ($Q_p/Q_s > 1,5$) avec ou sans symptômes (12). De nombreuses études ont montré l'intérêt de la fermeture percutanée des CIA chez les adultes (33,34), il en existe peu quant aux méthodes utilisées et aux résultats chez les enfants (35), notamment pour les nourrissons de moins de deux ans. Chez les enfants, les symptômes cliniques liés à l'hyperdébit pulmonaire, comme les infections respiratoires à répétition, l'existence d'une insuffisance cardiaque congestive ou d'un retard staturo-pondéral représentent une indication de fermeture des CIA (36,37). Ces signes sont classiques mais ils ne sont pas fréquents et, souvent, peu sévères.

III. Objectifs de l'étude

L'objectif principal de cette étude était d'évaluer la faisabilité et l'efficacité de la fermeture percutanée des CIA chez les enfants de moins de 24 mois, en se basant sur l'expérience du service de Cardiologie Infantile et Congénitale du Centre Hospitalier et Universitaire de Lille. L'objectif secondaire était d'évaluer le devenir à long terme de ces enfants.

IV. Critères de jugement

Les critères de jugement principaux étaient :

- l'absence de shunt résiduel en per et post-opératoire immédiat
- l'absence de complication en per et post-opératoire immédiat
- l'augmentation du gain pondéral évalué par le Z-score du poids lors du suivi
- la diminution des pressions artérielles pulmonaires systoliques

Les critères de jugement secondaires étaient :

- la diminution des surinfections bronchiques et/ou pulmonaires
- la diminution du nombre de jours d'hospitalisation pour surinfections bronchiques et/ou pulmonaires

PATIENTS ET METHODES

I. Population

Notre étude était une étude rétrospective monocentrique réalisée entre Janvier 2003 et février 2012 dans le service de Cardiologie Infantile et Congénitale du Centre Hospitalier et Universitaire de Lille, à partir des données recueillies sur les dossiers médicaux des patients et à partir des comptes-rendus médicaux.

Les enfants étaient suivis dans le service de Cardiologie Infantile et Congénitale du Centre Hospitalier et Universitaire de Lille, et nécessitaient une fermeture par voie percutanée d'une communication interauriculaire (CIA) dans cette institution. Les enfants avaient un âge ≤ 24 mois.

Critères d'inclusion :

- La population étudiée étaient des enfants âgés de moins de 24 mois, suivis dans le service de Cardiologie Infantile et Congénitale du Centre Hospitalier et Universitaire de Lille, ou hospitalisé à l'hôpital Jeanne de Flandre du Centre Hospitalier et Universitaire de Lille, mais suivis par les médecins cardiologues pédiatres du service de Cardiologie Infantile et Congénitale du Centre Hospitalier et Universitaire de Lille; et ayant nécessité une fermeture percutanée d'une communication interauriculaire de type *ostium secundum*. Ont été inclus tous les enfants ayant bénéficié de cette technique, que les CIA soient isolées ou associées à d'autres anomalies malformatives ou cardiopathies. Les médecins qui réalisaient cette technique étaient des

médecins qualifiés et expérimentés ayant pratiqué depuis au moins 10 ans le cathétérisme interventionnel pédiatrique.

- Etaient également inclus les patients de cet âge ayant eu un échec de fermeture de CIA *ostium secundum* par voie percutanée dans cette même institution.

Critères de non inclusion :

Ils comportaient :

- Les patients suivis dans le service de Cardiologie Congénitale et Infantile du Centre Hospitalier et Universitaire de Lille et ayant bénéficié d'une fermeture percutanée d'une CIA *ostium secundum* en dehors de cette institution.
- Les patients ayant une CIA dont la taille des rebords ne permettait pas une fermeture par voie percutanée, découvert avant ou lors du cathétérisme.
- Les patients présentant un autre type anatomique de CIA.
- Les patients ayant eu une fermeture chirurgicale d'une CIA, quelque soit l'âge.
- Les patients qui avaient un âge > à 24 mois.

II. Prothèse utilisée

La prothèse Amplatzer® septal occluder (AGA medical) était utilisée pour tous les patients inclus dans l'étude (figures 2 et 3). Ces prothèses sont des dispositifs auto extensibles construites à partir de fils tressés de nitinol de 0,004 à 0,008 pouces. Le nitinol est un métal très élastique à mémoire de forme composé de nickel (55%) et de titane (45%). Les prothèses contiennent un anneau central de 4 mm d'épaisseur nommé

Waist, correspondant à l'épaisseur du septum interauriculaire. Le diamètre de cet anneau central correspond au diamètre de la CIA et peut s'étendre de 4 à 40 mm. L'anneau central est relié à deux disques extensibles.

La partie centrale fonctionne comme un stent lorsque l'Amplatzer® septal occluder est utilisé pour la fermeture d'une CIA. Le stent entre les deux disques ne peut que se fixer dans le centre de la communication (*self centering*). Lorsque ce dispositif chargé dans le cathéter est sorti, il se déploie automatiquement et reprend sa forme de double disque. Le diamètre central de la prothèse dépasse en moyenne de 2 mm le diamètre mesuré de la CIA par ballon, et de 4 mm le diamètre de la CIA sans ballon (12). La prothèse utilisée doit être légèrement plus grande (de 1 à 2 mm) que le diamètre de la CIA, afin de bien occlure la communication interauriculaire.

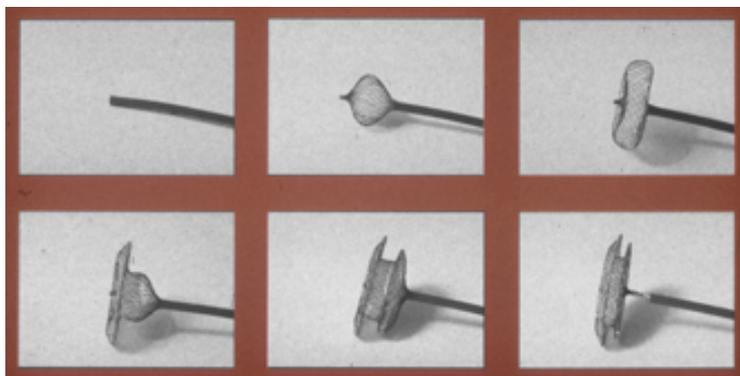


Figure 2. Déploiement d'une prothèse Amplatzer® septal occluder.

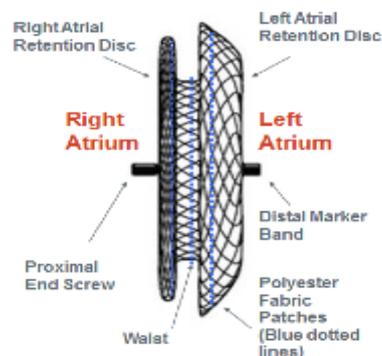
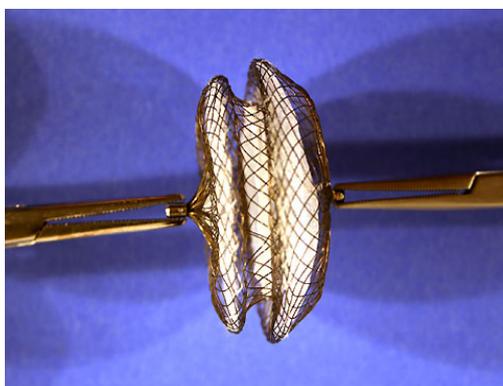


Figure 3. Photo et dessin d'une vue sagittale d'une prothèse Amplatzer® septal occluder.

III. Variables cliniques

Les données médicales étaient obtenues par consultation des dossiers médicaux des patients, ou par consultation informatique des comptes-rendus médicaux via le logiciel « *Sillage* ».

A. Variables initiales

- L'âge était déterminé à partir de la date de naissance. Si le patient était un enfant né prématurément, l'âge réel était pris en compte.
- Le genre.
- Le poids et la taille lors du diagnostic de la CIA.
- Le calcul du Z-score du poids et du rapport poids/taille (38).
- Les indications de fermeture de la CIA.
- Les symptômes associés.
- Le nombre de surinfections bronchiques et/ou pulmonaires.
- L'existence de comorbidités, que ce soit une cardiopathie congénitale autre que la CIA qui lui était associée, une anomalie génétique, ou une pathologie respiratoire.
- Le nombre d'hospitalisation dans le service de Cardiologie Infantile et Congénitale du Centre Hospitalier et Universitaire de Lille, ou dans un autre service de pédiatrie de l'hôpital Jeanne de Flandre du Centre Hospitalier et Universitaire de Lille.
- La durée de la ventilation mécanique et des éventuels médicaments inotropes.

- Les traitements cardiaques, comme les antihypertenseurs artériels pulmonaires.
- Les traitements associés non cardiaques.

B. Variables de suivi

- Le poids et la taille.
- Le calcul du Z-score du poids et du rapport poids/taille (38).
- Le nombre de surinfections bronchiques et/ou pulmonaires.
- Si le patient avait une ventilation invasive, la durée de cette ventilation.
- La durée des traitements anti hypertenseurs artériels pulmonaires.

IV. Variables paracliniques

A. Variables initiales

1) Etude non invasive

Le diagnostic de communication interauriculaire était évoqué sur l'existence de signes cliniques orientant vers une CIA, et confirmé par la réalisation d'une échocardiographie transthoracique sur un appareil Vivid 7 (*General Electric*)....

Les variables suivantes étaient retenues :

- La localisation de la communication interauriculaire.
- La longueur de la CIA.
- La longueur du septum interauriculaire.
- La longueur du rebord postéro inférieur.
- L'existence ou l'absence de rebord antérieur.
- Le diamètre ventriculaire droit.

- Le sens du shunt interauriculaire.
- Les pressions artérielles pulmonaires systoliques par la mesure du gradient ventricule droit - oreillette droite systolique en doppler (l'insuffisance tricuspide), et par l'étude des mouvements du septum interventriculaire.

L'hypertension artérielle pulmonaire (HTAP) est définie selon les recommandations de l'*European Society of Cardiology* (ESC) (Tableau 1) (39).

Tableau I. Critères échocardiographiques de l'HTAP selon l'ESC (39)

	Vitesse IT	PAPs	Présence ou absence d'autres signes échocardiographiques évocateurs d'HTAP
<u>HTAP peu probable</u>	≤ 2,8 m/s	≤ 36 mmHg	Absence
<u>HTAP possible</u>	≤ 2,8 m/s	≤ 36 mmHg	Présence
	[2,9 - 3,4] m/s	[37 - 50] mmHg	Présence ou absence
<u>HTAP probable</u>	> 3,4 m/s	> 50 mmHg	Présence ou absence

HTAP : hypertension artérielle pulmonaire ; IT : insuffisance tricuspide ; PAPs : pressions artérielles pulmonaires systoliques ; m/s : mètres/seconde ; mmHg : millimètre de mercure.

Les autres signes échocardiographiques évocateurs d'HTAP ont été colligés :

- une élévation de la vitesse de régurgitation pulmonaire ;
- un temps d'accélération pulmonaire court ;
- une dilatation des cavités droites ;
- des anomalies de forme et de mouvement du septum interventriculaire ;

- une hypertrophie pariétale du ventricule droit ;
- une artère pulmonaire dilatée.

Afin d'évaluer précisément les pressions artérielles pulmonaires systoliques par l'insuffisance tricuspide, il est nécessaire de ne pas avoir de pathologie des valves pulmonaires ou tricuspide risquant de sous-estimer ou de surestimer les valeurs réelles des pressions artérielles pulmonaires.

2) Cathétérisme interventionnel

La procédure était réalisée sous anesthésie générale, en suivant les recommandations et les *medical guidelines* (40,41), avec une approche par la veine fémorale droite ou gauche. Chaque patient avait une surveillance constante de ses paramètres vitaux. Tous les patients recevaient de l'héparine non fractionnée à une dose de 100 UI/kg en intra veineux dès que l'accès fémoral était obtenu. L'implantation était réalisée sous fluoroscopie avec injection de produit de contraste, et sous contrôle échocardiographique transthoracique ou transœsophagienne.

Les variables suivantes étaient retenues :

- Le temps d'intervention.
- Le temps de fluoroscopie.
- Le rapport Qp/Qs.
- Les mesures des pressions pulmonaires.
- La mesure du diamètre de la CIA.
- Le diamètre de la prothèse.

- Les complications majeures per opératoires et post opératoires immédiates : l'embolisation, les troubles du rythme, le thrombus, le sepsis.
- Les complications mineures per opératoires et post opératoires immédiates : l'hématome au point de ponction, la fistule artérioveineuse, la douleur prolongée.

Tous les patients ayant bénéficié d'une fermeture par cathétérisme interventionnel de leur CIA étaient traités par ASPIRINE 5 mg/kg/jour pour une durée de 6 mois minimum.

B. Variables de suivi

Un contrôle radiographique thoracique était réalisé après chaque procédure avant la sortie du patient. A un mois de la fermeture, un contrôle échocardiographique était effectué, l'existence d'un shunt résiduel et son sens était précisé au Doppler couleur et était mesuré en 2 dimensions. Le shunt était décrit comme insignifiant (inférieur à 1 mm de largeur), petit (1 à 2 mm de largeur), modéré (2 à 4 mm de largeur) ou large (plus de 4 mm de largeur). Les modifications des électrocardiogrammes étaient précisées (trouble du rythme ou de la conduction).

Lors du suivi, les variables paracliniques retenues étaient :

- L'existence d'un shunt résiduel, son sens et son importance.
- La taille du ventricule droit.
- La fonction ventriculaire gauche par la mesure de la fraction d'éjection et/ou de la fraction de raccourcissement.
- La mesure des pressions pulmonaires via les recommandations de l'ESC.

V. Analyse statistique

Les données étaient exprimées par la fréquence ou en pourcentage pour une variable donnée, ainsi par que la moyenne et l'écart-type.

Les différences entre les groupes non appariés étaient analysées par un test de Mann-Whitney. L'évolution des variables lors du suivi était analysée par un test de Friedman. Une valeur de $p < 0,05$ était considérée comme statistiquement significative.

RESULTATS

I. Paramètres généraux initiaux

A. Caractéristiques de la population

1) Caractéristiques générales

Dans le service de Cardiologie Infantile et Congénitale du Centre Hospitalier et Universitaire de Lille, 1049 communications interauriculaires (CIA) étaient refermées par cathétérisme interventionnel entre Janvier 2003 et février 2012. Parmi tous ces patients, il y avait 15 nourrissons âgés de moins 24 mois qui avaient bénéficié d'une tentative de fermeture de CIA par voie percutanée.

Toutes les procédures de fermeture étaient réalisées sous anesthésie générale, avec une approche par la veine fémorale droite ou gauche. L'implantation était réalisée sous contrôle fluoroscopique. Tous les patients recevaient 100 UI/kg en intra veineux d'Héparine non fractionnée.

Parmi ces 15 nourrissons, il y avait 10 garçons (66,7%) et 5 filles (33,3%). La moyenne d'âge était de $11,1 \pm 6,4$ mois (minimum de 16 jours et maximum de 23 mois). Il n'y avait pas de différence significative pour l'âge entre les filles et les garçons avec une moyenne de 11,3 mois pour les garçons et 10,3 mois pour les filles ($p = 0,95$) (Tableau 2).

Tableau II. Répartition des âges pour chaque patient en fonction du genre.

	Filles	Garçons
	5,8	0,5
	8,6	3,8
	10,3	5,1
	11,1	7
Age (mois)	15,9	11,1
		11,2
		13,8
		14,6
		22,9
		23
Moyenne	10,3	11,3
Médiane	10,3	11,1
Ecart-type	3,7	7,6

2) [Pathologies cardiaques associées \(Annexe 2 et Tableau 3\)](#)

➤ [Pathologies cardiaques associées](#)

Parmi les 15 patients ayant eu une tentative de fermeture de communication interauriculaire par voie percutanée, il y avait 6 patients (3 filles et 3 garçons) qui présentaient une cardiopathie associée, soit 40 % des patients inclus, et 9 patients sans cardiopathie associée. Parmi ces 6 patients, les 3 filles avaient une veine cave supérieure gauche se jetant dans le sinus coronaire, 2 garçons avaient une hypoplasie du ventricule droit (associée à une dysplasie de la valve tricuspide pour le patient numéro 6) et une fille présentait une cardiomyopathie hypertrophique. Le patient numéro 5 avait une atrésie pulmonaire à septum intact. Il avait bénéficié, avant son cathétérisme

interventionnel, d'une dilatation et d'une perforation de sa valve pulmonaire puis, en raison d'une cyanose persistante, d'une anastomose de type Blalock-Taussig droite.

➤ Traitements cardiaques associés

Quatorze des 15 patients inclus dans l'étude avaient un ou plusieurs traitements cardiaques. Les traitements diurétiques (Spironolactone et Furosémide) étaient les plus fréquents (10 sur les 14 patients), associés pour 4 patients à un traitement par digitalique. Parmi ceux qui avaient une cardiopathie associée, il n'y en avait aucun qui était traité par un antihypertenseur artériel pulmonaire. Quatre des 9 patients ne présentant pas de cardiopathie étaient traités par du Sildenafil pour une HTAP.

Dans cette étude, 7 patients avaient une oxygénothérapie par lunettes, et 2 patients étaient sous ventilation non invasive par Jet-CPAP. Ces 2 patients étaient alors hospitalisés en réanimation, et présentaient une insuffisance respiratoire aiguë sur une bronchodysplasie, avec des difficultés de sevrage de leur ventilation non invasive (Tableau 10). Ces deux patients recevaient du monoxyde d'azote inhalé, et un seul recevait du Bosentan en association au Sildenafil et au monoxyde d'azote inhalé (Tableau 9).

3) Pathologies associées non cardiaques (Annexe 3 et Tableau 3)

➤ Patients nés prématurément

Parmi les 15 patients ayant eu une tentative de fermeture par voie percutanée de leur CIA, 8 patients (3 filles et 5 garçons) étaient des anciens prématurés, avec un âge gestationnel moyen de 29 ± 4 semaines d'aménorrhée (minimum de 24 semaines

d'aménorrhée et maximum de 36 semaines d'aménorrhée). Tous ces anciens prématurés présentaient une pathologie respiratoire, à type d'asthme (n=1, patient né à 36 SA), ou à type de bronchodysplasie (n=7), et étaient traités par oxygénothérapie au long cours (sauf pour l'enfant né à 36 SA). Deux de ces patients sous oxygénothérapie étaient ventilés par une Jet-CPAP, ces patients étaient hospitalisés lors de la tentative de fermeture de leur CIA.

Parmi ces 8 patients, 3 enfants (1 fille et 2 garçons) avaient bénéficiés d'une fermeture chirurgicale de leur canal artériel.

Une des patientes né à 34 SA présentait un syndrome polymalformatif sur une foetopathie à cytomégalovirus.

Cinq de ces patients présentaient un reflux gastro-œsophagien traité médicalement.

➤ Patients nés à terme

Parmi les 15 patients inclus, 7 patients (2 filles et 5 garçons) étaient nés à terme. Un de ces patients avait une encéphalopathie d'origine génétique (non étiquetée) avec une insuffisance respiratoire chronique sur des micros inhalations, secondaires à un reflux gastro-œsophagien. Il recevait une oxygénothérapie aux lunettes au long cours.

Tableau III. Pathologies associées cardiaques et non cardiaques.

	n	%
Pathologies cardiaques		
Hypoplasie du ventricule droit	2	14
Veine cave supérieure gauche se drainant dans le sinus coronaire	3	20
Hypoplasie modérée des veines pulmonaires	2	14
Atrésie pulmonaire à septum intact		
Dysplasie de la valve tricuspide	1	7
Calcification de l'aorte et des artères pulmonaires	1	7
Cardiomyopathie hypertrophique	1	7
Pathologies non cardiaques		
Prématurité	8	54
Asthme	1	7
Bronchodysplasie	7	47
Insuffisance respiratoire chronique	8	54
Foetopathie à cytomégalovirus	1	7
Trachéomalacie ou laryngomalacie	1	7
Canal artériel fermé chirurgicalement	3	20
Rétinopathie	2	14
Iléus méconial	1	7
Reflux gastro-œsophagien	5	34
Oesophagite	1	7
Entérocolite ulcéronécrosante	1	7
Pathologie ORL	1	7

n : nombre de patients ; % : pourcentage

B. Caractéristiques échocardiographiques générales **avant la fermeture**

1) Diamètre des communications interauriculaires **et taille du septum interauriculaire**

Les communications interauriculaires avaient, lors de l'échocardiographie réalisée avant la fermeture, un diamètre moyen de $9,7 \pm 3,5$ mm (diamètre minimal de 4 mm pour un enfant de 5 mois et diamètre maximal de 14 mm pour un enfant de 6 mois et demi). Le diamètre des CIA rapporté à la surface corporelle des enfants montrait une moyenne de $28,9 \pm 8,4$ mm/m² (minimale de 20,6 mm/m² et maximale de 45,2 mm/m²).

Tous les patients inclus avaient une longueur du septum interauriculaire suffisante, et des rebords qui étaient supérieurs à 5 millimètres (hormis le rebord antérieur), répondant aux critères échocardiographiques pour une fermeture par voie percutanée.

2) Sens du shunt auriculaire (tableau 4)

Pour trois des 15 patients, le shunt auriculaire était dirigé de droite à gauche, ce qui entraînait une hypoxémie avec cyanose. Tous ces patients avaient une cardiopathie droite associée (2 patients avaient une hypoplasie du ventricule droit et un patient avait une atrésie pulmonaire à septum intact).

Parmi les 15 patients, 12 avaient un shunt gauche-droite, ce qui entraînait un hyperdébit pulmonaire. Tous les enfants nés prématurément faisaient partis de ce

groupe. Des cardiopathies étaient associées pour 3 des patients : une veine cave supérieure gauche se jetant dans le sinus coronaire (n=3), une hypoplasie modérée des veines pulmonaires avec une communication interventriculaire (n=1) et une cardiomyopathie hypertrophique (n=1).

Tableau IV. Nombre de prématurés et type de cardiopathie en fonction du sens du shunt interauriculaire.

<i>Sens du shunt auriculaire</i>	<i>Nombre (n)</i>	<i>Pourcentage des patients (%)</i>	<i>Nombre de prématurés (n)</i>	<i>Cardiopathies associées (n)</i>	<i>Type de cardiopathie</i>
<u>Gauche-droite</u>	12	80	8	3	Veine cave supérieure se jetant dans le sinus coronaire (n=3) Hypoplasie modérée des veines pulmonaires (n=2) CIV sous-aortique (n=1) Cardiomyopathie hypertrophique (n=1)
<u>Droite-gauche</u>	3	20	0	3	Hypoplasie du ventricule droit (n=2) Atrésie pulmonaire à septum intact (n=1)

CIV : communication interventriculaire

3) Paramètres échocardiographiques associés

La fonction ventriculaire gauche était normale pour tous les patients (moyenne de la fraction de raccourcissement de $37 \pm 9,7$ %). Il n'y avait pas d'anomalie du retour veineux pulmonaire. Il y avait pour un seul patient (patient numéro 1) une dysplasie de la valve tricuspide dans un contexte d'hypoplasie du ventricule droit. Les autres patients n'avaient pas d'anomalie des valves auriculo-ventriculaires.

C. Indications de fermeture

Plusieurs indications de fermeture étaient retenues pour ces 15 patients : le shunt droite-gauche, l'hypertension artérielle pulmonaire (HTAP), les poussées d'insuffisance cardiaque droite, l'hyperdébit pulmonaire avec surinfections bronchiques et/ou pulmonaires à répétition et la mauvaise prise pondérale. Dix patients avaient une HTAP associée à une surcharge diastolique du ventricule droit. On notait pour 2 patients une ou plusieurs poussées d'insuffisance cardiaque droite (Figure 4).

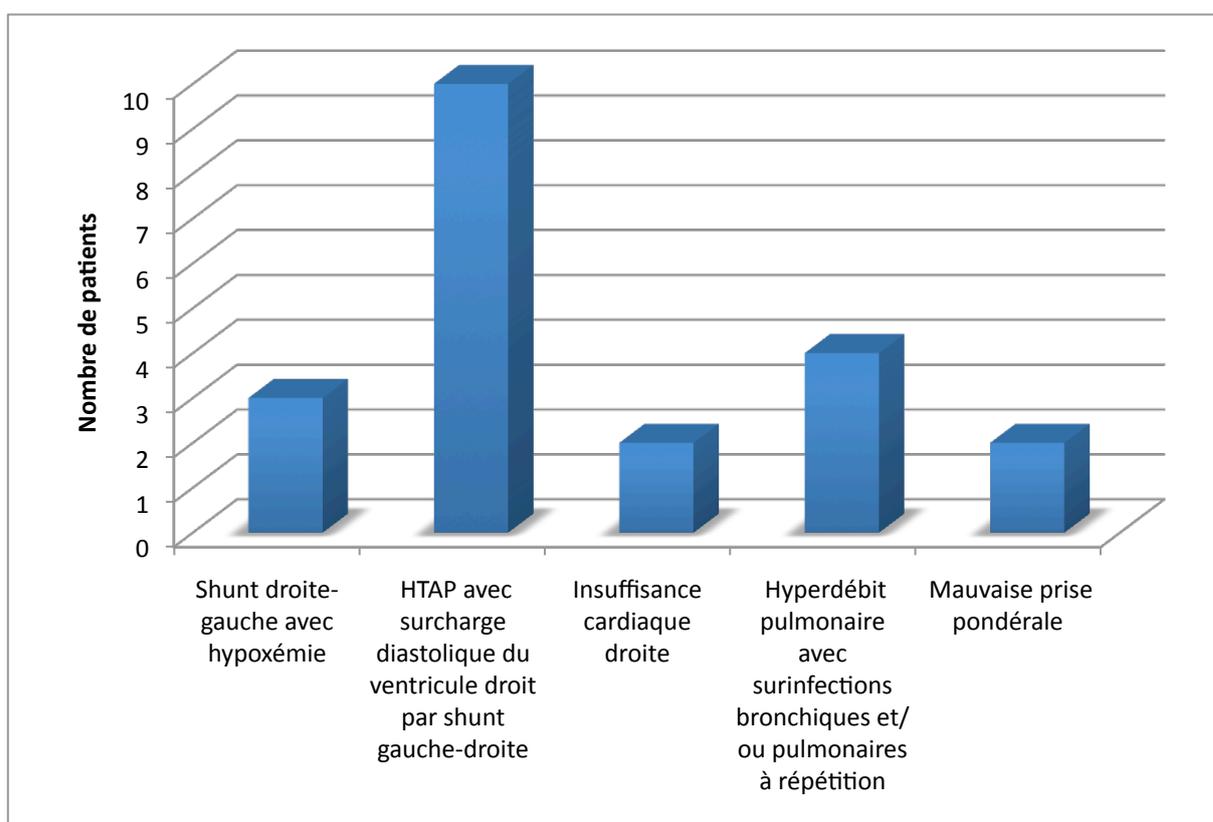


Figure 4. Nombre de patients en fonction des indications de fermeture des CIA.
HTAP : hypertension artérielle pulmonaire

Dix patients présentaient une seule indication de fermeture de leur CIA et 5 patients avaient plusieurs indications de fermeture de leur CIA. Parmi ces 5 patients, il y avait 2 anciens prématurés (patients numéros 3 et 7) et un patient présentant une encéphalopathie d'origine génétique (patient numéro 8). Le patient numéro 6 avait une hypoplasie du ventricule droit et une hypoplasie modérée des veines pulmonaires (Figure 5).

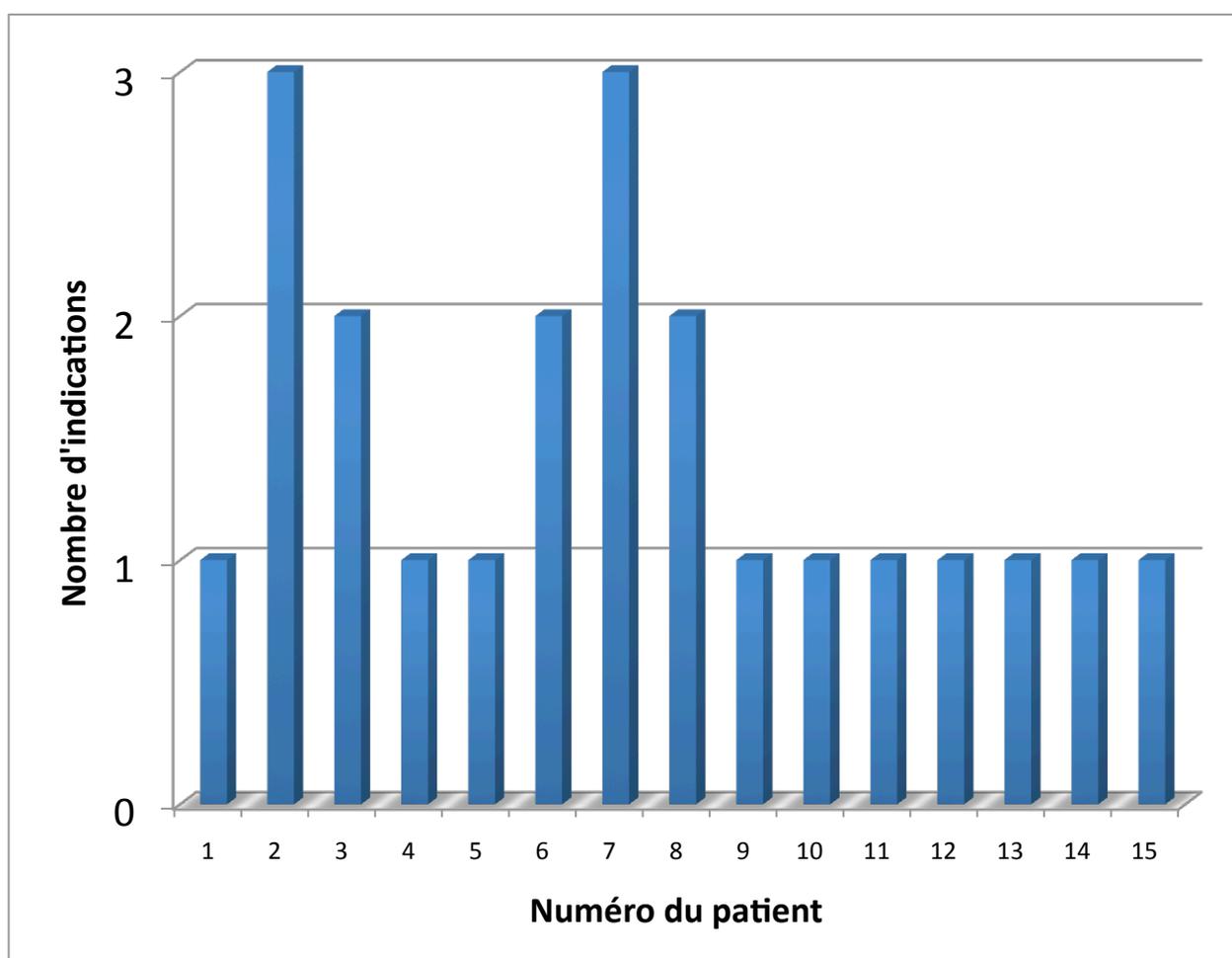


Figure 5. Nombre d'indications de fermeture par patient

Les patients nés avec une grande prématurité (< 33 SA) ne retenaient qu'une seule indication de fermeture de leur CIA (Figure 5 et Tableau 5).

Tableau V. Indications de fermeture pour les patients prématurés.

<u>Numéro</u> <u>patient</u>	<u>Naissance</u> <u>(SA)</u>	<u>Indication de fermeture</u>
3	36	Hyperdébit pulmonaire avec surinfections bronchiques et/ou pulmonaires à répétition Mauvaise prise pondérale
4	26	HTAP avec surcharge diastolique du ventricule droit par shunt gauche-droite
7	34	HTAP avec surcharge diastolique du ventricule droit par shunt gauche-droite Insuffisance cardiaque droite Hyperdébit pulmonaire avec surinfections bronchiques et/ou pulmonaires à répétition
9	24	HTAP avec surcharge diastolique du ventricule droit par shunt gauche-droite
11	26	HTAP avec surcharge diastolique du ventricule droit par shunt gauche-droite
12	31	HTAP avec surcharge diastolique du ventricule droit par shunt gauche-droite
14	28	HTAP avec surcharge diastolique du ventricule droit par shunt gauche-droite

SA : semaines d'aménorrhée ; HTAP : hypertension artérielle pulmonaire

D. Paramètres obtenus lors du cathétérisme

1) Diamètre des communications interauriculaires

Le diamètre des communications interauriculaires était mesuré lors du cathétérisme avec une sonde à ballonnet (Arrow®, Ballon Cathéter, 6 Fr) monté sur un guide d'échange. Cette technique permettait d'obtenir le diamètre étiré de la CIA. Le diamètre étiré moyen était de $11,2 \pm 3,9$ mm (diamètre minimal de 5,3 mm et maximal de 17 mm). Il n'y avait pas de différence significative pour l'évaluation du diamètre des CIA entre les mesures effectuées lors de l'échocardiographie pré interventionnelle et les mesures effectuées lors du cathétérisme ($p > 0,05$).

2) Paramètres généraux

La moyenne du temps de fermeture était de 56 ± 22 minutes. Le temps moyen de fluoroscopie était de $7,9 \pm 3,8$ minutes.

Pour les 15 patients, les pressions artérielles pulmonaires systoliques, évaluées avant la fermeture par échocardiographie transthoracique, étaient en moyenne de $40,1 \pm 19,3$ millimètres de mercure (mmHg). Les pressions artérielles pulmonaires systoliques moyennes mesurées lors du cathétérisme étaient de $41,7 \pm 15$ mmHg. Il n'y avait pas de différence significative entre ces mesures ($p=0,32$).

Le diamètre moyen des ombrelles Amplatzer® était de $10,5 \pm 3,9$ mm (diamètre minimal de 4 mm et maximal de 16 mm).

Le rapport entre les débits artériels pulmonaires et les débits artériels systémiques (Q_p/Q_s) évalués par la méthode de Fick, n'était mesuré que pour 6 patients

(patients numéros 2, 3, 4, 7, 11 et 14). Les indications de fermeture étaient l'hyperdébit pulmonaire (responsable de surinfections bronchiques et/ou pulmonaires à répétition) pour 3 patients et l'hypertension artérielle pulmonaire pour 5 patients (2 patients avaient simultanément les 2 indications de fermeture). La moyenne était de $2,5 \pm 1,1$ (valeur maximale de 3,5, valeur minimale de 1,2).

Pendant la tentative de fermeture, 2 patients bénéficiaient d'un contrôle par échocardiographie transœsophagienne (2 garçons de 23 mois et 14 mois) lorsque l'appareil était disponible, et 13 patients par échocardiographie transthoracique.

II. Résultats du cathétérisme

On notait 2 échecs de fermeture parmi les 15 patients :

- Une patiente âgée de 8 mois et demi et pesant 6,4 kilogrammes (kg) (patiente numéro 2). La communication interauriculaire n'avait pas pu être refermée par une prothèse de 8 mm. Il existait une instabilité dans le défaut septal auriculaire lors de sa pose, et la prothèse de 12 mm qui aurait pu être posée n'était pas disponible. Les indications de fermeture étaient une hypertension artérielle pulmonaire, responsable de poussées d'insuffisance cardiaque droite et de surinfections bronchiques et/ou pulmonaires à répétition. Cette patiente avait bénéficié d'une fermeture chirurgicale de la CIA.
- Une patiente de 5 mois et 24 jours et pesant 3,8 kg (patiente numéro 13). Elle était hospitalisée en réanimation pédiatrique. L'indication de fermeture était une hypertension artérielle pulmonaire associée à une surcharge

ventriculaire droite par un shunt gauche-droite. La communication interauriculaire n'avait pu être refermée pour un problème technique (invagination de l'extrémité distale de la gaine rendant impossible la rétraction de la prothèse dans celle-ci lors de son placement, puis impossibilité de déployer correctement l'obturateur). Elle avait présenté comme complication une thrombose de la veine iliaque primitive droite avec une extravasation du produit de contraste, secondaire à une lésion vasculaire lors du retrait du matériel. Elle avait, de plus, une poussée d'hypertension artérielle pulmonaire supra systémique, ayant nécessité l'administration de monoxyde d'azote et de NOREPINEPHRINE en réanimation. Elle bénéficiait d'une fermeture chirurgicale de sa CIA mais elle décédera quelques mois plus tard d'une décompensation respiratoire.

Il n'y avait pas eu de décès pendant la procédure de fermeture ni de complications mineures.

Sur les 13 patients ayant eu une réussite de fermeture, il y avait 2 patients qui présentaient un shunt résiduel au niveau de la prothèse interauriculaire après la fermeture : un shunt droite-gauche pour le patient numéro 5 qui avait une atrésie pulmonaire à septum intact, et 1 shunt gauche-droite résiduel pour le patient numéro 12. Ces 2 shunts résiduels étaient minimes (inférieurs à 3 millimètres) (Tableau 6).

Tableau VI. Résultats de la fermeture et sens du shunt résiduel après le cathétérisme interventionnel.

<i>Patients</i>	<i>Sexe</i>	<i>Age (mois)</i>	<i>Résultat</i>	<i>Sens du shunt résiduel</i>
1	M	0,5	Réussite	
2	F	8,6	Echec	
3	M	7	Réussite	
4	F	11,1	Réussite	
5	M	23	Réussite	Droite-gauche
6	M	14,6	Réussite	
7	F	15,9	Réussite	
8	M	11,1	Réussite	
9	M	5,1	Réussite	
10	F	10,3	Réussite	
11	M	11,2	Réussite	
12	M	3,8	Réussite	Gauche-droite
13	F	5,8	Echec	
14	M	13,8	Réussite	
15	M	22,9	Réussite	

M : masculin ; F : féminin

III. Suivi des patients

Les données pour le suivi des 13 patients étaient recueillies jusqu'en février 2012. Lors du suivi, on notait un décès survenu 5 mois après la fermeture de la CIA, pour insuffisance respiratoire aiguë sur une insuffisance respiratoire chronique, secondaire à une bronchodysplasie sévère (patient numéro 12). La moyenne du temps du suivi était de 4 ans et 8 mois (maximal de 9 ans et 7 mois et minimal de 5 mois).

A. Evolution staturo-pondérale

L'évolution de la prise pondérale des 13 patients, ayant eu une réussite de fermeture percutanée de leur communication interauriculaire, était évaluée par les Z-scores. Les Z-scores du poids et les Z-scores du rapport poids/taille étaient établis à partir du poids et de la taille, valeurs obtenues lors de la fermeture et après 3, 6, 12 et 24 mois (Figure 6).

Comme attendu, lors de la fermeture, il y avait une différence significative pour les Z-scores du poids entre les enfants nés prématurément et les enfants nés à terme ($p=0,003$).

La valeur du Z-score du poids augmentait lors du suivi des 13 enfants mais de façon non significative ($p=0,27$). Il n'y avait pas de différence significative pour le Z-score du rapport poids/taille lors du suivi ($p=0,93$) (Tableau 6).

Pour les enfants nés prématurément et les enfants nés à terme, il n'y avait pas de différence significative pour le suivi du Z-score du poids pour chaque sous-groupe (Tableau 7).

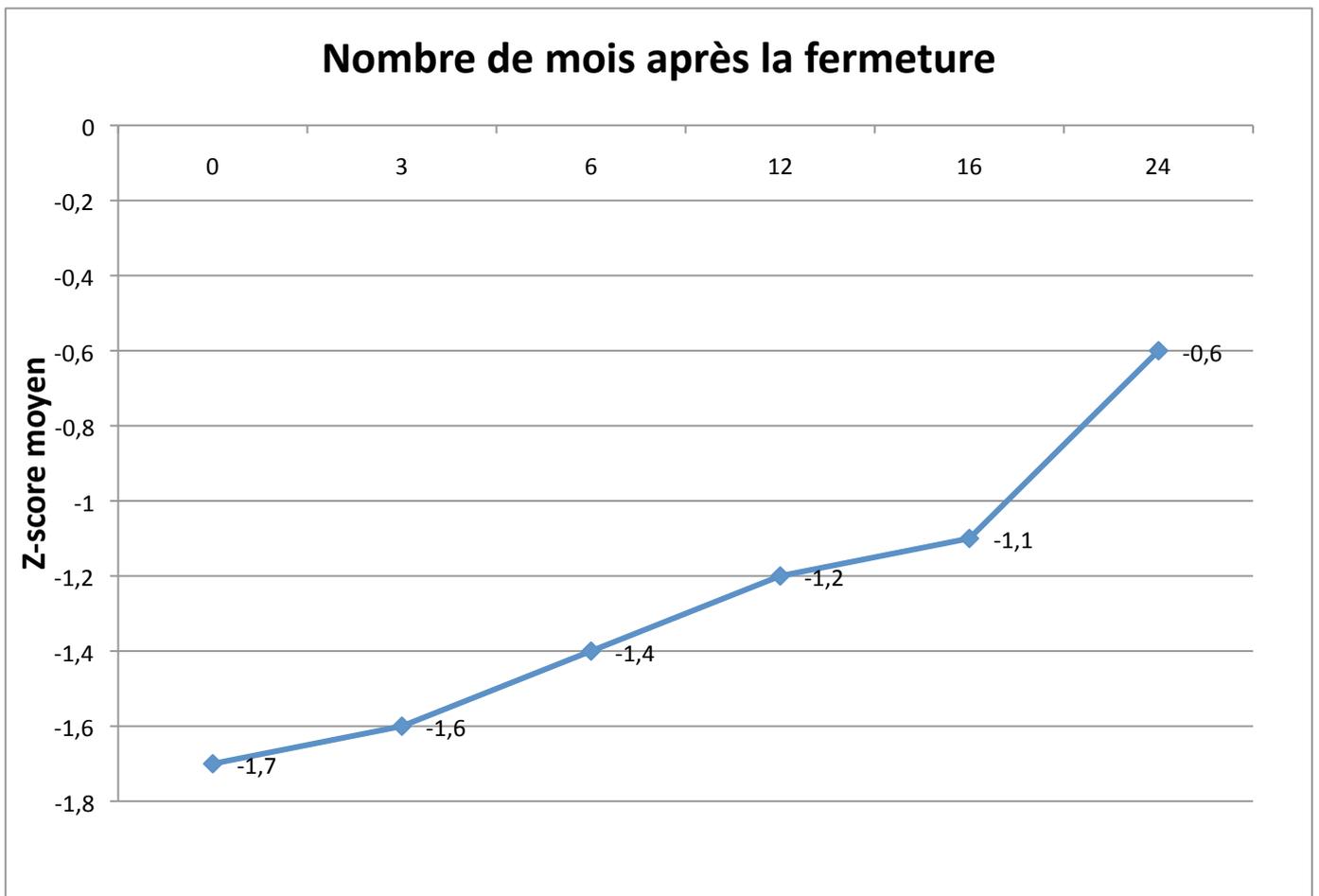


Figure 6. Evolution du Z-score moyen du poids à partir de la fermeture de la CIA

Tableau VII. Evolution des valeurs moyennes du Z-score du poids et du Z-score du rapport poids/taille pendant et après la fermeture des CIA.

Z-score	T0		T3		T6		T12		T16		T24		
	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	
Z-score poids	-1,7	1,4	-1,6	1	-1,4	1,3	-1,2	1,3	-1,1	1,8	-0,6	1,5	0,27
Z-score poids/taille	-1,1	1,2	-0,7	1,5	-0,9	1,3	-0,5	1,4	-1,5	1,1	-1,3	0,7	0,93
Z-score poids enfants nés prématurément	-2,2	0,8	-1,7	0,6	-2,1	0,8	-1,6	0,2	-1,5	0,8	-2,2	0,8	0,57
Z-score poids enfants nés à terme	-0,7	0,8	-1,1	1,5	-0,6	1,4	0,2	0,8	-0,6	2,8	0,5	0,6	0,65

T0 : jour de la fermeture des CIA ; Tn : n mois à partir de la fermeture de la CIA

B. Evolution des paramètres cardiaques

1) Fonction ventriculaire gauche

On ne notait pas de poussées d'insuffisance cardiaque droite ou gauche ou de trouble du rythme et de conduction après la fermeture des CIA.

Trois mois après la fermeture des CIA, la fraction de raccourcissement du ventricule gauche était de $39 \pm 7,4$ %. Il n'y avait pas de différence significative avec les mesures effectuées avant le cathétérisme cardiaque ($p=0,38$).

Les 3 patients présentant un shunt droite-gauche avaient une augmentation puis une normalisation de leur saturation partielle en oxygène, dès la fermeture de leur CIA. On notait par contre la persistance d'une hypoxémie modérée (saturation entre 90 et 92 %) pour le patient numéro 5 qui avait un shunt droite-gauche résiduel minime.

2) Pressions artérielles pulmonaires systoliques

Les pressions artérielles pulmonaires systoliques étaient évaluées par la mesure du gradient ventricule droit - oreillette droite systolique en échocardiographie doppler (insuffisance tricuspide) lors du suivi.

Le patient numéro 6 avait une hypoplasie du ventricule droit avec une dysplasie de la valve tricuspide, l'insuffisance tricuspide ne pouvait pas être évaluée correctement. Ce patient n'était pas pris en compte pour étudier l'évolution des pressions artérielles pulmonaires systoliques.

Avant la fermeture, les pressions artérielles pulmonaires systoliques étaient en moyenne de $43,7 \pm 17$ mmHg à l'échocardiographie doppler transthoracique. A 1 mois de la fermeture de la CIA, l'IT était en moyenne de $22,8 \pm 11,5$ mmHg, et à 4 mois de $24,2 \pm 10,3$ mmHg.

Il y avait une diminution significative des pressions artérielles pulmonaires systoliques à 1 mois de suivi ($p=0,011$), et se poursuivant après 4 mois de suivi ($p=0,014$). Il n'y avait pas de différence significative entre les valeurs des pressions artérielles pulmonaires systoliques entre 1 mois et 4 mois de suivi ($p=0,22$) (Tableau 8).

Tableau VIII. Valeurs des pressions artérielles pulmonaires systoliques à 1 mois et 4 mois de suivi.

	IT (mmHg)	
	Moyenne \pm écart-type	p
T0 / T1	$43,7 \pm 17 / 22,8 \pm 11,5$	0,011
T0/T4	$43,7 \pm 17 / 24,2 \pm 10,3$	0,014
T1 / T4	$22,8 \pm 11,5 / 24,2 \pm 10,3$	0,22

IT : insuffisance tricuspide ; mmHg : millimètre de mercure ; Tn : n mois à partir du cathétérisme cardiaque

Lors de la fermeture de la CIA, les pressions artérielles pulmonaires systoliques moyennes étaient de $37,8 \pm 7,3$ mmHg pour les enfants nés à terme, et de $46,9 \pm 19,8$ mmHg pour les enfants nés prématurément. Il n'y avait pas de différence significative entre ces 2 groupes de patients ($p=0,4$).

C. Autres paramètres cliniques

1) Nombre de surinfections bronchiques et/ou pulmonaires

Il y avait 5 patients qui avaient une indication de fermeture de CIA pour hyperdébit pulmonaire avec surinfections bronchiques et/ou pulmonaires à répétition (patients numéros 2, 3, 7, 8 et 14). Il y avait 2 patients supplémentaires qui avaient présentés plusieurs surinfections bronchiques et/ou pulmonaires avant la fermeture de leur CIA, mais dont l'indication retenue n'était pas les surinfections bronchiques et/ou pulmonaires. Le nombre total d'infections avant la fermeture était de 24 et de 14 lors du suivi (Figure 7).

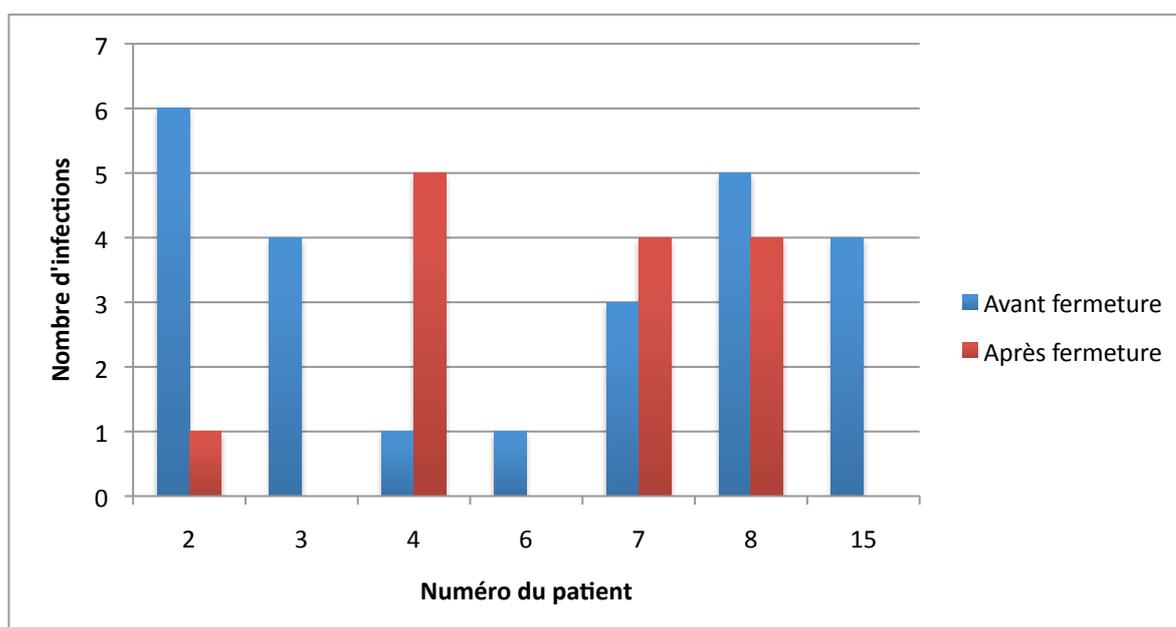


Figure 7. Nombre de surinfections bronchiques et/ou pulmonaires des patients avant et après la fermeture de la CIA

2) Nombre d'hospitalisation pour surinfections bronchiques et/ou pulmonaires et pour décompensation cardiaque

➤ Patients hospitalisés en réanimation lors de la fermeture de la CIA

Lors de la fermeture, 4 patients (27%) étaient hospitalisés en réanimation pour des épisodes de décompensations cardio-respiratoires à répétition. Ces 4 patients étaient tous des patients nés prématurément (patients numéros 7, 9, 12 et 13). Parmi ces 4 patients, il y avait un échec de fermeture chez la patiente numéro 13. La CIA était refermée chirurgicalement dans un second temps, mais la patiente décédait quelques mois plus tard d'une insuffisance respiratoire. Le patient numéro 12 était resté hospitalisé en réanimation pédiatrique après la fermeture de sa CIA, où il décédait quelques mois plus tard d'une insuffisance respiratoire. Aucun des 2 autres patients initialement hospitalisés en réanimation n'avait été de nouveau hospitalisé en réanimation après la fermeture de leur CIA.

➤ Autres patients

Pour les 10 autres patients ayant eu une réussite de fermeture percutanée de leur CIA, aucun n'avait été hospitalisé pour poussée d'insuffisance cardiaque.

Parmi ces 10 patients, on notait 61 jours d'hospitalisation pour surinfections bronchiques et/ou pulmonaires avant la fermeture des CIA et 17 jours d'hospitalisation après la fermeture. (Figure 8).

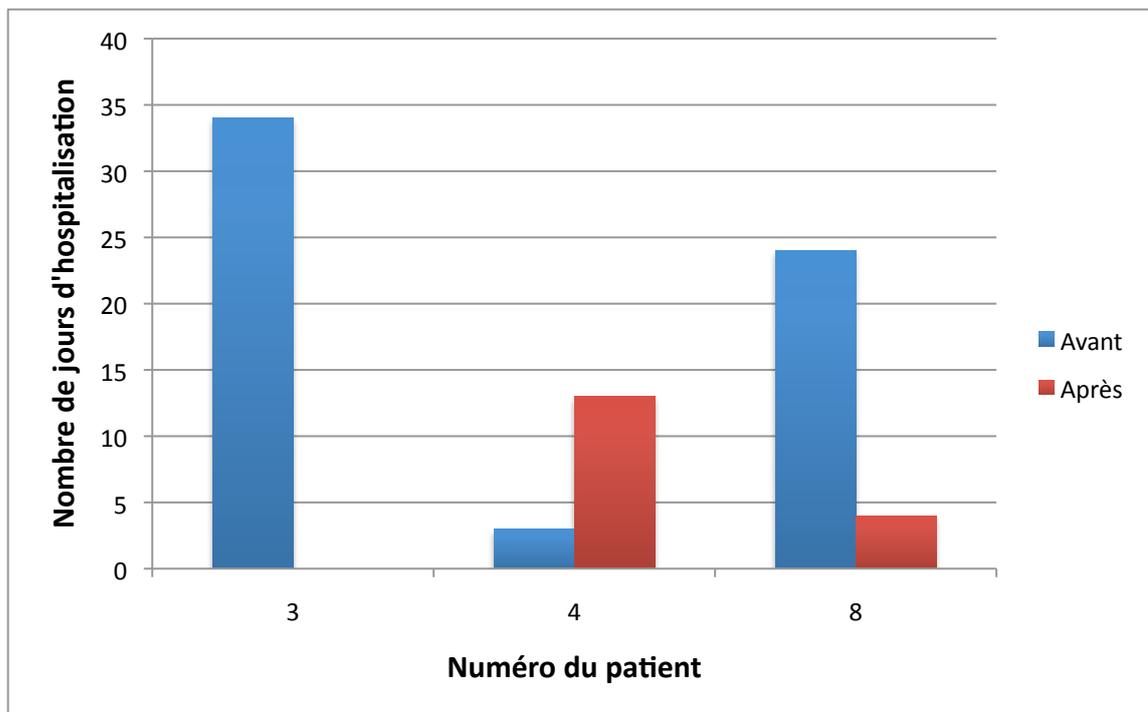


Figure 10. Nombre de jours d'hospitalisation dans un service de médecine pour surinfections bronchiques et/ou pulmonaires avant et après la fermeture de la CIA.

Parmi ces 10 patients, 2 avaient été hospitalisés en réanimation pour décompensation respiratoire aiguë avant la fermeture de leur CIA. On notait 6 jours d'hospitalisations en réanimation pour le patient numéro 4 et 22 jours pour le patient numéro 11. Après la fermeture, aucun des 2 patients n'avaient été de nouveau hospitalisé en réanimation.

DISCUSSION

1) Synthèse des résultats

Cette étude était réalisée chez 15 patients comprenant 10 garçons (66,7%) et 5 filles (33,3%). L'âge moyen était de $11,1 \pm 6,4$ mois (minimum de 16 jours et maximum de 23 mois). Le poids moyen était de $6,7 \pm 2,6$ kg. Il y avait 6 patients (3 filles et 3 garçons) qui présentaient une cardiopathie associée. Dix patients avaient un traitement diurétique, et 4 d'entre eux un traitement par digitalique. Dans cette étude, 7 patients avaient une oxygénothérapie par lunettes, et 2 patients étaient sous ventilation non invasive par Jet-CPAP avant la réalisation du cathétérisme interventionnel.

Quatre des 9 patients ne présentant pas de cardiopathie étaient traités par du Sildenafil pour une HTAP. Les deux patients traités par Jet-CPAP recevaient du monoxyde d'azote inhalé.

Parmi les 15 patients, 8 patients (3 filles et 5 garçons) étaient des anciens prématurés (âge gestationnel moyen de 29 ± 4 semaines d'aménorrhée). Tous ces enfants nés prématurément présentaient une pathologie respiratoire, à type d'asthme (n=1) ou à type de bronchodysplasie (n=7). Ils étaient traités par oxygénothérapie au long cours (sauf pour l'enfant né à 36 SA).

Les indications de fermeture étaient l'HTAP (n=10), les surinfections bronchiques et/ou pulmonaires par hyperdébit pulmonaire (n=4), une mauvaise prise pondérale (n=2), une hypoxémie par shunt droite-gauche (n=3) et une insuffisance cardiaque droite (n=2).

Le diamètre moyen des CIA était de 9,7 mm. Tous les patients inclus n'avaient pas de contre indication anatomique pour la fermeture percutanée de leur CIA (rebords

et longueur du septum interauriculaire suffisants). Douze des 15 patients avaient un shunt gauche-droite (dont 3 porteurs d'une cardiopathie associée). Pour les trois autres patients, le shunt auriculaire était dirigé de droite à gauche, ces patients ayant une cardiopathie droite associée. Tous les enfants nés prématurément avaient une CIA avec un shunt gauche-droite.

La moyenne du temps de fermeture percutanée était de 60 ± 22 minutes. Le temps moyen de fluoroscopie était de $7,9 \pm 3,8$ minutes. Le diamètre moyen des ombrelles utilisées était de $10,5 \pm 3,9$ mm (diamètre minimal de 4 mm et maximal de 16 mm). La moyenne du rapport Qp/Qs était de $2,5 \pm 1,1$ (valeurs maximale de 3,5 et minimale de 1,2). Deux patients bénéficiaient d'une échocardiographie transœsophagienne (2 garçons âgés de 23 mois et 14 mois), et 13 patients d'une échocardiographie transthoracique.

On notait 2 échecs de fermeture parmi les 15 patients, dont une en raison d'un problème technique avec, comme complications, une thrombose de la veine iliaque droite et une poussée d'HTAP.

Sur les 13 patients ayant eu une fermeture de leur CIA, il y avait 3 patients qui avaient un shunt résiduel minime.

La valeur du Z-score pour le poids augmentait lors du suivi des 13 enfants, mais il n'y avait pas de différence significative par rapport au Z-score du poids lors de l'implantation de la prothèse. Il n'y avait pas de différence significative pour le Z-score du rapport poids/taille lors du suivi.

Concernant les pressions artérielles pulmonaires systoliques, il y avait une diminution significative à 1 mois et à 4 mois de suivi. Il n'y avait pas de différence significative entre les pressions artérielles pulmonaires systoliques des enfants nés prématurément et des enfants nés à terme.

Le nombre total de surinfections bronchiques et/ou pulmonaires avant la fermeture était de 24, et de 14 infections lors du suivi. Lors de la fermeture, 4 patients (27%) étaient hospitalisés en réanimation pour des épisodes de décompensations cardio-respiratoires à répétition. Ces 4 patients étaient tous des patients nés prématurément.

2) Chirurgie cardiaque ou cathétérisme interventionnel ?

Depuis les premiers cas rapportés en 1953 (18) la fermeture chirurgicale des CIA est une méthode qui a prouvé son efficacité avec de bons résultats fonctionnels, un faible taux de complications et un taux de mortalité quasi nul, pour les adultes mais également pour les enfants et les nourrissons (23,42). Les résultats sont similaires lors de la fermeture par cathétérisme interventionnel des CIA, que ce soit chez les adultes ou les enfants de plus de 4 ans, avec un taux de complications plus faible (43,44). Butera *et al.* avaient montré que le recours à la fermeture chirurgicale des CIA était plus fréquente chez les enfants plus âgés que chez les adultes (24). Les résultats de la fermeture percutanée des CIA chez les nourrissons ont été moins étudiés. Toutes les CIA présentent chez les nourrissons ne doivent pas être refermées, elles peuvent se fermer spontanément avec la croissance, surtout si elles mesurent moins de 8 mm (17). Dans notre étude, tous nos patients étaient symptomatiques. Il n'existe pas de consensus officiel pour la fermeture des communications interauriculaires par cathétérisme interventionnel chez les petits enfants. Ceci explique le faible nombre de patients et de procédures rapportées dans notre étude. Fraisse *et al.* avaient réalisé une étude française multicentrique entre janvier 1997 et juin 2004, comprenant 8 centres hospitaliers. Ils avaient 35 patients pesant moins de 15 kg (45). Une étude similaire réalisée en Belgique avait recueillie 52 patients pesant moins de 15 kg sur une période de 4 ans (46).

3) Faisabilité du cathétérisme interventionnel

Un des principaux objectifs de cette étude était d'étudier la faisabilité de la fermeture percutanée des CIA chez les enfants de moins de 24 mois, en se basant sur l'expérience régionale du service de Cardiologie Infantile et Congénitale du Centre Hospitalier et Universitaire de Lille. Notre étude confirmait la faisabilité de cette méthode pour le traitement des communications interauriculaires. Il y avait 2 échecs de fermeture sur les 15 patients (problème technique et manque de matériel). Le taux de succès immédiat de la fermeture percutanée des CIA varie entre 90 et 98 % chez les adultes (47,48), et de 92 % à 100 % chez les nourrissons et les enfants plus âgés (35,49–51). Dans notre étude, le taux de succès pour les enfants de moins de 24 mois était de 87 %. Cardenas *et al.* avaient montré que le taux de succès de la fermeture n'était pas lié au diamètre de la CIA.

4) Complications du cathétérisme interventionnel

On notait une seule complication majeure dans notre étude (lésion de la veine iliaque primitive droite). Chessa *et al.* (33) ont montré un taux de complications de 8,6% toutes prothèses confondues. Le taux et le type de complication variaient en fonction des prothèses utilisées. Pour la prothèse Amplatz® septal occluder (AGA medical), le nombre de complications majeures variait, dans les études, entre 1% et 4% pour chaque série (26,51,52). La complication majeure la plus fréquente était l'embolisation dans l'artère pulmonaire et/ou la malposition de la prothèse, nécessitant parfois son extraction chirurgicale (53). Cardenas *et al.* avaient montré que la fréquence des complications mineures était plus importante pour les CIA d'un diamètre supérieur

ou égal à 15 mm, mais que la fréquence des complications mineures n'étaient pas plus importante pour les enfants de moins de 10 kg (46). D'autres complications plus rares ont été décrites, comme les arythmies, les blocs auriculo-ventriculaires, les complications thromboemboliques, les hémorragies, les infections, les perforations cardiaques et les dysfonctions des valves auriculo-ventriculaires (33,46,54). Nous n'avons pas retrouvées de telles complications dans notre série de patients. On ne notait pas de troubles du rythme ou de la conduction après l'intervention, et les radiographies thoraciques de face confirmaient l'absence d'embolisation de la prothèse. Des lésions des veines fémorales ou iliaques pouvaient apparaître (33,49,55) mais restaient rares. Il n'était pas décrit de complications liées à un défaut d'expansion de l'ombrelle dans la littérature. La prothèse de type Amplatzer® septal occluder (AGA medical) est devenue la prothèse la plus utilisée pour la fermeture par voie percutanée des CIA. Elle présente le moins de complications majeures ou mineures immédiates et tardives (33). L'érosion qui pouvait être produit par la prothèse Amplatzer® septal occluder (AGA medical) n'était pas liée à l'âge du patient lors de la pose de celle-ci (54).

5) Efficacité à long terme du cathétérisme interventionnel

La fermeture percutanée des CIA est efficace avec un taux d'occlusion de 90 % à 1 an chez les adultes et les grands enfants (47,48). Dans notre étude, 2 patients avaient un shunt résiduel minime, soit un taux d'efficacité de 84 % à 24 mois de suivi. Ce shunt était minime (inférieur à 3 mm) et n'avait aucune conséquence sur les paramètres cliniques ou échocardiographiques lors du suivi. Pour Vogel *et al.* le taux de succès chez les enfants de moins de 2 ans était plus faible que chez les plus grands enfants, avec pour 2 patients de leur série (17 %), la persistance d'un shunt important nécessitant

une fermeture chirurgicale (51). Butera *et al.* avaient un taux d'efficacité chez les enfants de moins de 5 ans de 98% à 6 mois de suivi (35), et 100% à 2 ans de suivi. Diab *et al.* (49), pour sa série de 15 enfants de moins de 1 an, avaient un taux d'efficacité à 1 an de 100 % (le suivi des patients s'étalant de 8 mois à 7 ans). On notait donc plus de shunt résiduel pour nos patients en comparaison aux précédentes études, mais ceux-ci restaient minimes et sans aucune conséquence clinique. Parmi nos 13 patients, 6 avaient un suivi inférieur à 24 mois (de 23 mois à 7 mois de suivi). Parmi les deux patients ayant un shunt résiduel, un patient avait un suivi de 5 ans et 6 mois et le second patient un suivi de 5 mois. Ce second patient décédait après ces 5 mois de suivi d'une insuffisance respiratoire aiguë, liée à une insuffisance respiratoire chronique sur une bronchodysplasie sévère, non liée aux conséquences de la pose de la prothèse ni du shunt résiduel.

6) Paramètres du cathétérisme interventionnel

Lors du cathétérisme interventionnel, le shunt intracardiaque, évalué par le rapport Qp/Qs, n'était mesuré que pour 6 patients. La symptomatologie clinique reflète, pour l'enfant, un shunt significatif. De plus, il n'y a aucun moyen de mesurer exactement la teneur en oxygène dans le sang, que l'on nomme le sang veineux mêlé. On utilise habituellement la saturation en oxygène dans les veines caves supérieure ou inférieure. Avec l'utilisation de l'anesthésie générale, l'apport d'oxygène parvenant de la veine cave inférieure est importante, et l'estimation de la saturation veineuse du sang mêlé n'est pas fiable (56). La mesure du Qp/Qs apporte une information relative lorsque la technique est effectuée sous anesthésie générale (ce qui était le cas dans notre étude). De plus, la mesure du rapport Qp/Qs peut être utile au diagnostic, mais dépend des

conditions de charge (comme la volémie) et du rapport entre les résistances vasculaires pulmonaires et systémiques.

Notre étude ne montrait pas de difficultés particulières pour la fermeture des CIA chez les nourrissons de moins de 24 mois et chez les enfants de petit poids, comme le reflète la moyenne du temps de fluoroscopie qui était de 7,9 minutes. Le temps de fluoroscopie mesurée était plus court que dans les études précédemment décrites chez les nourrissons (35,49,51,57). Le temps moyen de fluoroscopie est un bon reflet du degré de difficulté de la procédure et de l'aisance du cathétériseur (57). Il n'y a pas de lien entre l'âge et le diamètre de la CIA sur le temps de fluoroscopie (41,57,58). Fischer *et al.* ont montré l'absence de lien statistique entre le temps de fluoroscopie et l'âge, le poids, et le diamètre de la CIA (57). Le temps moyen d'implantation était de 60 ± 22 minutes. Nigel *et al.* avaient souligné que le temps nécessaire à la réalisation du cathétérisme cardiaque avait diminué de plus de la moitié depuis l'année 1997 (48). Cette technique ne représente plus de difficultés particulières depuis les premiers essais. La condition nécessaire et obligatoire est, bien évidemment, une formation spécifique pour être en mesure de la réaliser efficacement, en étant le moins iatrogène pour le patient.

Fischer *et al.* ont montré une corrélation entre le diamètre des prothèses utilisées et le poids et la surface corporelle. Les patients qui bénéficient d'une fermeture de leur CIA par voie percutanée à un âge précoce auront, en toute vraisemblance, de plus petites prothèses que si ils étaient traités plus tardivement. Les résultats à très long terme sont inconnus pour toutes les tranches d'âge, mais il semble bénéfique d'avoir une prothèse la plus petite possible, en terme d'étirement sur le septum interauriculaire et sur les parois, avec comme conséquence un risque d'arythmie moindre. Quand le

volume auriculaire droit diminue après la fermeture, il est nécessaire d'avoir de l'espace pour que la prothèse ne gêne pas le flux sanguin (57).

Le poids le plus faible dans notre étude était de 3,6 kg. Diab *et al.* rapportaient un enfant de 3 kg ayant eu une fermeture de sa CIA par voie percutanée, et 14 de leurs 15 patients pesaient moins de 10kg (49). Vogel *et al.* (51) avaient 5 des 12 patients de leur série qui pesaient moins de 10 kg, et Fischer *et al.* 40 patients pesant moins de 10 kg (57). Dans notre étude, nous avons 13 patients qui pesaient moins de 10 kg lors de la fermeture de la CIA, ce qui permettait d'obtenir une population de bas poids, population similaire à celle des études réalisées antérieurement.

7) Echocardiographie

L'échocardiographie était utilisée pour guider le geste de fermeture de la CIA. Deux patients avaient bénéficié d'une échocardiographie transœsophagienne (un patient âgé de 23 mois et pesant 11 kg, et un patient de 14 mois et 15 jours et pesant 8,9 kg). On ne retrouvait pas d'indication particulière pour l'utilisation de l'échocardiographie transœsophagienne (ETO) plutôt que de l'échocardiographie transthoracique (ETT), mis à part la disponibilité de la machine d'ETO. Ko *et al.* avaient montré que l'ETT, comparativement à l'ETO, pouvait sous-estimer la mesure du grand axe des CIA de grand diamètre, mais pas pour les CIA de petit diamètre. Cette observation était valable chez les enfants de plus de 10 kg et de plus de 2 ans. L'échocardiographie endovasculaire était similaire à l'ETO pour l'évaluation de la CIA et de ses rebords (59), et représente une alternative à l'ETO. Chez les grands enfants, du fait de l'anesthésie générale, l'ETO est préférée par de nombreux centres, dans le même temps opératoire que la fermeture percutanée de la CIA, mais cela pose le risque d'annulation

de la procédure si un rebord déficient est découvert, ou une anomalie du retour veineux pulmonaire, même si l'enfant est déjà intubé (60). Chez les enfants pesant moins de 15 kg, l'échocardiographie endovasculaire peut être utilisée (61). L'utilisation préférentielle de l'ETT dans notre étude, pendant l'intervention, ne s'était pas compliquée d'anomalie de positionnement de la prothèse. L'échec pour la patiente numéro 2 était dû à un défaut de mesure avant puis pendant l'intervention, et à l'absence de matériel souhaité. Il est donc nécessaire de réaliser une étude approfondie par échocardiographie de la CIA, de ses rebords et des anomalies pouvant lui être associées, avant la décision de fermeture percutanée. Il semble raisonnable d'utiliser uniquement l'ETT chez les nourrissons de moins de 24 mois avant l'intervention. L'ETO semble plus spécifique lors du cathétérisme, mais les résultats obtenus dans notre centre par ETT ont permis d'obtenir un résultat satisfaisant. Il est également possible d'utiliser la sonde endovasculaire comme sonde à ETO.

8) Enfants nés prématurément

Lim *et al.* rapportaient un cas de fermeture de CIA par cathétérisme pour hyperdébit pulmonaire avec surcharge vasculaire pulmonaire chez un enfant né prématurément à 23 SA et pesant 700 g, et ayant un poids de 2,3 kg lors de la procédure (62). Il est nécessaire, pour fermer ces petites CIA, de disposer d'une petite gaine d'introduction et d'une prothèse s'adaptant parfaitement aux petits poids

Dans notre étude, il y avait 8 enfants nés prématurément (de 26 SA à 36 SA). Les indications de fermeture des CIA pour ces patients étaient, pour 6 d'entre eux, l'hypertension artérielle pulmonaire associée à une surcharge diastolique du ventricule droit. Ceci était la conséquence d'un hyperdébit artériel pulmonaire. Chez ces enfants

nés prématurément, 7 patients avaient une oxygénothérapie au long cours, sous lunettes à oxygènes ou sous Jet-CPAP pour 2 d'entre eux. Ces enfants présentaient donc une insuffisance respiratoire chronique sur une bronchodysplasie. La surcharge vasculaire pulmonaire surajoutée par le shunt gauche-droite sur une bronchodysplasie pré existante représente un facteur de décompensation et d'aggravation de l'état respiratoire. De plus, chez les enfants prématurés sous ventilation invasive, la persistance du shunt gauche-droite par la CIA augmente le temps de dépendance au respirateur, ces enfants pouvant être sevrés plus rapidement de leur ventilation mécanique après la fermeture de leur CIA (63). Dans notre étude, un des 2 patients traités par Jet CPAP avait eu un échec de fermeture (problème technique), et pour le second patient, il persistait des épisodes d'insuffisance respiratoire aiguë sur bronchodysplasie, malgré la fermeture de sa CIA. Cet enfant avait une bronchodysplasie sévère et n'avait jamais été sevré de sa ventilation non invasive. Tous les autres enfants nés prématurément étaient sevrés de leur oxygénothérapie lors du suivi. La fermeture par voie percutanée représente donc une alternative chez ces patients fragiles afin de diminuer le risque d'aggraver une bronchodysplasie, en diminuant les risques liés à une chirurgie cardiaque. Notre groupe de patient était très hétérogène dans la dispersion du terme de naissance. Une étude spécifique et orientée sera nécessaire pour valider cette méthode chez les enfants prématurés, le développement technique étant une condition nécessaire à la réalisation de cette procédure pour les enfants prématurés.

9) Enfants avec une cardiopathie de type droite

Pour les enfants présentant une cardiopathie droite et ayant un shunt droite-gauche par la CIA responsable d'une hypoxémie, la fermeture de la CIA avait permis

une augmentation de la saturation partielle en oxygène qui devenait supérieure à 94%, sauf pour un patient (saturation aux alentours de 90%). Le shunt droite-gauche par une CIA est une indication de fermeture lorsque cela provoque une cyanose qui nécessite le plus souvent une oxygénothérapie à domicile (46). La disparition de l'hypoxémie, ou sa diminution, est un facteur pronostic important pour le développement staturo-pondéral et psychomoteur des enfants.

10) Variation pondérale

L'étude de la variation pondérale était estimée par le Z-score pour le poids et par le Z-score du rapport poids/taille. Il y avait une augmentation du Z-score du poids lors du suivi, mais cette augmentation n'était pas significative. Les poids n'étaient pas tous reportés dans les courriers médicaux et l'étude statistique n'était pas assez puissante. Fraisse *et al.* avaient montré une augmentation du poids après la fermeture de la CIA chez les nourrissons de moins de 15 kg, évaluée grâce aux percentiles, dans le sous-groupe des patients ayant un shunt gauche-droite, mais cette augmentation ne devenait significatif que 12 mois après la date de la fermeture (45). On observe un gain pondéral après la fermeture chirurgicale des CIA (19), confirmé pour les nourrissons ayant eu une fermeture par cathétérisme interventionnel (35), mais les différentes valeurs obtenues pour ces 2 études n'étaient pas statistiquement significative. Lo *et al.* ont montré une augmentation significative du poids après 12 mois de suivi, mais les patients étaient des enfants de plus de 2 ans et de poids plus important. Ils ont démontré que plus les enfants étaient jeunes lors de la fermeture percutanée, plus le gain pondéral obtenu après la fermeture était meilleur (64). Cardenas *et al.* ont suivi 52 patients de moins de 15 kg (étude la plus conséquente en terme de nombre de sujets), mais la variation

pondérale après la fermeture par cathétérisme n'a pas été étudiée. Dans notre série, les patients présentaient d'autres pathologies, comme une bronchodysplasie, un reflux gastro-œsophagien, une encéphalopathie, qui sont des cofacteurs de mauvaise prise pondérale. Seuls 4 patients n'avaient pas de pathologie associée. Dans une étude sur le devenir des enfants après fermeture chirurgicale des CIA réalisée en 2005, les auteurs concluaient que l'association fréquente de malformations non cardiaques chez ces enfants pouvait être considérée comme la cause du retard staturo-pondérale (19). L'augmentation du débit sanguin pulmonaire chez les patients présentant une cardiopathie a un effet sur la croissance staturo-pondérale (65). La majoration de la demande métabolique et la dénutrition jouent un rôle dans le retard staturo-pondéral de ces enfants. Des études ont montré le rôle des facteurs endocriniens dans l'évolution staturo-pondérale des patients avec une cardiopathie. Il a été démontré qu'un faible taux d'*Insulin Growth Factor 1 (IGF1)*, retrouvé chez ces enfants, était en partie responsable du retard de croissance (65). L'importance du retard pondéral préopératoire chez les patients présentant une cardiopathie congénitale affectera la reprise pondérale en postopératoire (66). Ainsi, les patients présentant un retard pondéral et ayant une réparation tardive de leur cardiopathie, n'auront pas un gain pondéral optimal (67), mais cette étude ne faisait pas de distinction entre toutes les cardiopathies, et notamment ne confirmait pas cette information par une série spécifique de patients porteurs de CIA. Ceci met tout de même l'accent sur les possibilités et le potentiel de la fermeture percutanée des CIA de type ostium secundum sur le gain pondéral, et la nécessité d'une prise en charge précoce de cette cardiopathie lorsque les nourrissons sont symptomatiques.

11) Evolution des pressions artérielles pulmonaires

Nous avons montré une diminution significative à 1 mois et à 4 mois de suivi des valeurs du gradient ventricule droit - oreillette droite, reflet des pressions artérielles pulmonaires systoliques. Il n'était pas possible d'évaluer correctement le diamètre ventriculaire droit, les données n'étant pas présentes dans les dossiers pour tous les patients. La fermeture des communications interauriculaires ostium secundum est associée, dans notre série, à une réduction significative des pressions artérielles pulmonaires. Wilson *et al.* ont montré, chez les adultes, une diminution de la dilatation ventriculaire droite après la fermeture. Lo *et al.* ont observé, dans une population pédiatrique, une diminution significative de l'hypertrophie ventriculaire droite 12 mois après la fermeture percutanée des CIA, mais il n'y avait pas de données concernant l'évaluation par les insuffisances valvulaires des pressions artérielles pulmonaires (64). Goetschmann *et al.*, ont démontré une diminution des pressions artérielles pulmonaires à moyen terme lorsque les CIA, associées à une hypertension artérielle pulmonaire, étaient refermées (68). Dans leur étude, 13 patients adultes sur 180 avaient une dilatation majeure de leur ventricule droit, qui persistait pour 2 patients lors du suivi à 2 ans. Dans notre étude, les 2 patients prématurés qui étaient hospitalisés en réanimation présentaient une hypertension artérielle pulmonaire avec nécessité d'un traitement anti hypertenseur pulmonaire par Sildénafil, Bosentan et monoxyde d'azote. Un patient décéda 5 mois après la fermeture percutanée, et la CIA du second patient n'avait pas pu être refermée. Ces 2 patients étaient des enfants nés prématurément avec une insuffisance respiratoire chronique sévère sur bronchodysplasie. Deux autres patients étaient également traités par Sildénafil. Ces patients étaient nés prématurément et présentaient une hypertension artérielle pulmonaire. Le Sildénafil avait pu être arrêté 2 mois après la fermeture de la CIA pour un des patients et 1 an et demi après pour le

second patient. Dans l'étude réalisée par Fraises *et al.* 1 seul patient sur les 35 patients de moins de 15 kg avait une hypertension artérielle pulmonaire avant le cathétérisme, ce patient étant un ancien prématuré qui souffrait d'une bronchodysplasie (45).

Lammers *et al.* ont démontré l'effet négatif du shunt gauche-droite chez les jeunes enfants et ont recommandé la fermeture des CIA chez tous les enfants symptomatiques (19). Même si les patients semblent tolérer l'augmentation du volume pulmonaire sanguin, il n'y a aucune raison de laisser persister l'hyperdébit pulmonaire. L'augmentation des capacités physiques a été démontré après la fermeture des CIA, même si les patients étaient asymptomatiques (patients adultes) (69). Pour les nourrissons, il n'est pas recommandé de fermer les CIA asymptomatiques.

L'hyperdébit artériel pulmonaire des CIA a un effet négatif sur la vascularisation pulmonaire (70). La prévalence des arythmies augmente chez les patients non traités de leur CIA (71). Par contre, le moment exact où apparaissent les lésions du système de conduction cardiaque et de la vascularisation pulmonaire n'est pas connu. De plus, la fonction ventriculaire gauche peut être compromise (72). Dans notre étude, il n'y avait pas d'altération de la fonction ventriculaire gauche. Un patient avec une CIA présente une diminution du débit cardiaque systémique, pouvant conduire à une dysfonction ventriculaire gauche après la fermeture chirurgicale de la CIA (73), ou après le cathétérisme cardiaque (74). Par conséquent, la CIA provoque une surcharge ventriculaire droite autant qu'une diminution du volume ventriculaire gauche. Il est probable que ces 2 facteurs contribuent au retard staturo-pondéral observé. Il est par contre nécessaire de s'assurer d'une bonne fonction ventriculaire gauche avant d'envisager la fermeture de la CIA, et de poser une indication précise de fermeture.

Même si elles existent, les arythmies secondaires sont rares et le moment exact de leur apparition n'a pas été étudié chez les nourrissons. Elles apparaissent à plus long terme, et, comparativement au risque d'une intervention par cathétérisme cardiaque chez ces petits enfants, ne doivent pas être un argument pour envisager la fermeture des CIA, contrairement à l'hyperdébit artériel pulmonaire, qui peut majorer les lésions artérielles pulmonaires.

12) Implications cliniques

Cette technique offre des avantages non négligeables pour les patients. L'absence de cicatrice au niveau du myocarde atrial réduit les incidences d'arythmies. Visconti *et al.* ont montré que la circulation extra corporelle utilisée pendant la chirurgie était associée à un retard modéré du développement neuropsychologique (75).

Cette étude a démontré la faisabilité et l'efficacité de la fermeture percutanée des CIA chez les enfants de moins de 24 mois, confirmant le peu de données des précédentes études. Elle démontre statistiquement la diminution des pressions artérielles pulmonaires systoliques pour ces enfants âgés de moins de 24 mois, et l'augmentation du Z-score du poids pour ces enfants, mais de façon non significative. Ceci était probablement secondaire au nombre peu important de patients ayant bénéficié d'une fermeture de leur CIA par cathétérisme interventionnel dans notre centre. La majorité des ces enfants présentaient de multiples pathologies avec des complications majeures et itératives. La CIA est un facteur surajouté de décompensation cardiaque ou respiratoire, et sa fermeture permet une régression et une amélioration de la symptomatologie respiratoire par diminution du shunt gauche-droite, ainsi qu'une diminution du nombre d'hospitalisation.

Cette technique présente de plus un avantage non négligeable au niveau psychologique. En effet, l'hospitalisation de courte durée, l'absence d'admission en réanimation et l'absence de séquelles esthétiques sont largement appréciées par les parents et les enfants (76). Cette méthode peut être considérée comme une alternative à la chirurgie chez les petits enfants symptomatiques, considérant le peu d'informations disponibles sur l'histoire naturelle et les résultats de la chirurgie chez ces patients ayant de multiples pathologies.

Le traitement des CIA asymptomatiques ou modérément symptomatiques chez les nourrissons doit probablement être reporté jusqu'à l'obtention d'un poids plus important, le taux d'efficacité étant supérieure avec le temps, même si dans certains cas, le diamètre des CIA devient trop important pour une fermeture percutanée (18). La possibilité d'une fermeture spontanée doit aussi être prise en considération avant d'envisager un traitement. Retarder la fermeture chez les nourrissons asymptomatiques est aussi renforcé par les observations sur l'importance et l'évolution dans le temps du remodelage cardiaque après fermeture percutanée des CIA, chez les enfants et les adultes (77).

13) Limites de l'étude

Malgré l'absence de groupe contrôle chirurgical, nous avons montré que cette technique était une procédure faisable, sûre et efficace, qui offre une alternative à la chirurgie chez les nourrissons symptomatiques. Notre étude était une étude rétrospective monocentrique avec un biais important par le manque de données sur certains dossiers. Elle était, de plus, limitée par un nombre restreint d'enfant, ne permettant pas d'évaluer

correctement le risque de complications mineures et majeures, ces complications étant seulement décrites dans de larges séries d'adultes ou d'enfants plus âgés.

Cette technique n'est pratiquée que lorsque les nourrissons sont symptomatiques. La majorité des CIA restent asymptomatiques et ne sont découvertes, pour la plupart, qu'à l'âge adulte de façon fortuite. En conséquence, la puissance statistique était peu importante, ne démontrant pas un effet significatif de cette méthode sur le gain pondéral. De plus, on notait un manque de spécificité au regard des symptômes divers et de l'hétérogénéité de la population étudiée, les enfants présentant de multiples pathologies différentes extra cardiaques, et plus la moitié étaient des enfants nés prématurément.

CONCLUSION

Notre étude rétrospective démontre que, chez les enfants âgés de moins de 24 mois, la fermeture percutanée des communications interauriculaires est une méthode réalisable offrant une alternative à la chirurgie, pouvant être utilisée en première ligne pour les enfants symptomatiques de cette âge.

Le succès de cette méthode dans les deux premières années de vie a montré une efficacité légèrement inférieure aux résultats obtenus chez les autres patients plus âgés traités par cathétérisme interventionnel, mais le shunt résiduel était minime et n'avait aucune conséquence clinique. Les complications sont rares et ne sont pas plus nombreuses chez les très jeunes patients et de petit poids que chez les plus grands enfants. Le cathétérisme interventionnel offre des avantages non négligeables comparativement à la chirurgie en ce qui concerne les risques interventionnels et les séquelles psychologiques et esthétiques.

De plus, la fermeture percutanée a un effet positif sur le gain pondéral, mais l'augmentation du poids devra être étudiée de manière plus approfondie par des études ultérieures. Par contre, cette technique permet une diminution significative des pressions artérielles pulmonaires qui sont responsables, dans la majorité des cas, d'une symptomatologie importante chez le nourrisson.

Les nourrissons présentant une CIA symptomatique sont souvent des enfants ayant de multiples pathologies. La fermeture de leur CIA permet de diminuer la symptomatologie respiratoire et cardiaque chez les enfants bronchodysplasiques.

La fermeture des CIA chez l'enfant prématuré est une technique plus difficile, notamment par les contraintes liées au matériel et par le poids des enfants. Il sera nécessaire d'étudier de manière plus approfondie cette technique pour cette catégorie de patient et d'évaluer son bénéfice à court et moyen terme.

Bien que cette technique soit réalisable et efficace à court terme pour les enfants de moins de 24 mois, nous ne connaissons la fiabilité des prothèses à très long terme pour les nourrissons, alors que l'efficacité et la fiabilité de la chirurgie à long terme ont été prouvés (78). Cependant, le recul actuel de 15 ans de cette prothèse est rassurant.

BIBLIOGRAPHIE

1. Bedford DE, Papp C, Parkinson J. ATRIAL SEPTAL DEFECT. *Br Heart J*. 1941;3:37-68.
2. Bosi G, Scorrano M, Tosato G, Forini E, Chakrokh R. The Italian Multicentric Study on Epidemiology of Congenital Heart Disease: first step of the analysis. Working Party of the Italian Society of Pediatric Cardiology. *Cardiol Young*. 1999;9:291-9.
3. Hoffman JIE, Kaplan S. The incidence of congenital heart disease. *J Am Coll Cardiol*. 2002;39:1890-900.
4. Anderson RH, Brown NA, Webb S. Development and structure of the atrial septum. *Heart*. 2002;88:104-10.
5. Van Praagh S, Carrera ME, Sanders S, Mayer JE Jr, Van Praagh R. Partial or total direct pulmonary venous drainage to right atrium due to malposition of septum primum. Anatomic and echocardiographic findings and surgical treatment: a study based on 36 cases. *Chest*. 1995;107:1488-98.
6. Petit J, Losay J, Bouchard F, Issad M, Maribas P, Lucet P. [Hemodynamic development of the auricular communication of the ostium secundum and sinus venosus type. Study of 1189 patients]. *Arch Mal Coeur Vaiss*. 1986;79:1162-7.
7. Houyel L. Communications interauriculaires. *EMC - Cardiologie* 2002;1-8 [Article 11-940-C-20]
8. Staffen RN, Davidson WR Jr. Echocardiographic assessment of atrial septal defects. *Echocardiography*. 1993;10:545-52.
9. Godart F, Rey C, Francart C, Jarrar M, Vaksmann G. Two-dimensional echocardiographic and color Doppler measurements of atrial septal defect, and comparison with the balloon-stretched diameter. *Am J Cardiol*. 1993;72:1095-7.
10. Shrivastava S, Radhakrishnan S. Echocardiographic anatomy of atrial septal defect: « nomenclature of the rims ». *Indian Heart J*. 2003;55:88-9.
11. Sanders SP, Yeager S, Williams RG. Measurement of systemic and pulmonary blood flow and QP/QS ratio using Doppler and two-dimensional echocardiography. *Am J Cardiol*. 1983;51:952-6.
12. Ovaert C, Kammache I, Bonello B, Habib G, Fraisse A. Occlusion percutanée des communications intercardiaques. *Arch Cardiovasc Dis Supplements*. 2011;3:154-62.
13. Laszlo G. Respiratory measurements of cardiac output: from elegant idea to useful test. *J Appl Physiol*. 2004;96:428-37.

14. Shah D, Azhar M, Oakley CM, Cleland JG, Nihoyannopoulos P. Natural history of secundum atrial septal defect in adults after medical or surgical treatment: a historical prospective study. *Br Heart J.* 1994;71:224-227.
15. Barst RJ. Role of atrial septostomy in the treatment of pulmonary vascular disease. *Thorax.* 2000;55:95-6.
16. Sachweh JS, Daebritz SH, Hermanns B, Fausten B, Jockenhoewel S, Handt S, et al. Hypertensive pulmonary vascular disease in adults with secundum or sinus venosus atrial septal defect. *Ann Thorac Surg.* 2006;81:207-13.
17. Radzik D, Davignon A, van Doesburg N, Fournier A, Marchand T, Ducharme G. Predictive factors for spontaneous closure of atrial septal defects diagnosed in the first 3 months of life. *J Am Coll Cardiol.* 1993;22:851-3.
18. McMahon CJ, Feltes TF, Fraley JK, Bricker JT, Grifka RG, Tortoriello TA, et al. Natural history of growth of secundum atrial septal defects and implications for transcatheter closure. *Heart.* 2002;87:256-9.
19. Lammers A, Hager A, Eicken A, Lange R, Hauser M, Hess J. Need for closure of secundum atrial septal defect in infancy. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2005;129:1353-7.
20. Roos-Hesselink JW, Meijboom FJ, Spitaels SEC, van Domburg R, van Rijen EHM, Utens EMWJ, et al. Excellent survival and low incidence of arrhythmias, stroke and heart failure long-term after surgical ASD closure at young age. A prospective follow-up study of 21-33 years. *Eur Heart J.* 2003;24:190-7.
21. Horvath KA, Burke RP, Collins JJ Jr, Cohn LH. Surgical treatment of adult atrial septal defect: early and long-term results. *J Am Coll Cardiol.* 1992;20:1156-9.
22. John W. Kirklin, Brian G. Cardiac surgery, 2nd Edition. Churchill Livingstone, New York; 1994.
23. Galal MO, Wobst A, Halees Z, Hatle L, Schmaltz AA, Khougeer F, et al. Peri-operative complications following surgical closure of atrial septal defect type II in 232 patients--a baseline study. *Eur Heart J.* 1994;15:1381-4.
24. Butera G, Carminati M, Chessa M, Youssef R, Drago M, Giamberti A, et al. Percutaneous versus surgical closure of secundum atrial septal defect: comparison of early results and complications. *Am Heart J.* 2006;151:228-34.
25. King TD, Thompson SL, Steiner C, Mills NL. Secundum atrial septal defect. Nonoperative closure during cardiac catheterization. *JAMA.* 1976;235:2506-9.
26. Waight, Koenig, Cao, Hijazi. Transcatheter Closure of Secundum Atrial Septal Defects Using the Amplatzer Septal Occluder: Clinical Experience and Technical Considerations. *Curr Interv Cardiol Rep.* 2000;2:70-7.
27. Butera G, Romagnoli E, Carminati M, Chessa M, Piazza L, Negura D, et al. Treatment of isolated secundum atrial septal defects: impact of age and defect morphology in 1,013 consecutive patients. *Am Heart J.* 2008;156:706-12.

28. Majunke N, Bialkowski J, Wilson N, Szkutnik M, Kusa J, Baranowski A, et al. Closure of atrial septal defect with the Amplatzer septal occluder in adults. *Am J Cardiol.* 2009;103:550-4.
29. Smith BG, Wilson N, Richens T, Knight WB. Midterm follow-up of percutaneous closure of secundum atrial septal defect with Helex Septal Occluder. *J Interv Cardiol.* 2008;21:363-8.
30. Stolt VS, Chessa M, Aubry P, Juliard J-M, Schraeder R, Berger A, et al. Closure of ostium secundum atrial septum defect with the Atriosept occluder: early European experience. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2010;75:1091-5.
31. Kammache I, Mancini J, Ovaert C, Habib G, Fraisse A. Feasibility of transcatheter closure in unselected patients with secundum atrial septal defect, using Amplatzer devices and a modified sizing balloon technique. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2011;78:665-74.
32. Du Z-D, Koenig P, Cao Q-L, Waight D, Heitschmidt M, Hijazi ZM. Comparison of transcatheter closure of secundum atrial septal defect using the Amplatzer septal occluder associated with deficient versus sufficient rims. *Am J Cardiol.* 2002;90:865-9.
33. Chessa M, Carminati M, Butera G, Bini RM, Drago M, Rosti L, et al. Early and late complications associated with transcatheter occlusion of secundum atrial septal defect. *J Am Coll Cardiol.* 2002;39:1061-5.
34. Carminati M, Chessa M, Butera G, Bini RM, Giusti S, Festa P, et al. Transcatheter closure of atrial septal defects with the STARFlex device: early results and follow-up. *J Interv Cardiol.* 2001;14:319-24.
35. Butera G, De Rosa G, Chessa M, Rosti L, Negura DG, Luciane P, et al. Transcatheter closure of atrial septal defect in young children: results and follow-up. *J Am Coll Cardiol.* 2003;42:241-5.
36. Bull C, Deanfield J, de Leval M, Stark J, Taylor JF, Macartney FJ. Correction of isolated secundum atrial septal defect in infancy. *Arch Dis Child.* 1981;56:784-6.
37. Dimich I, Steinfeld L, Park SC. Symptomatic atrial septal defect in infants. *Am Heart J.* 1973;85:601-4.
38. MICHEL PG et al. Auxologie, méthodes et séquences. THERAPLIX; 1979.
39. Galiè N, Hooper MM, Humbert M, Torbicki A, Vachiery J-L, Barbera JA, et al. Guidelines for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension: the Task Force for the Diagnosis and Treatment of Pulmonary Hypertension of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Respiratory Society (ERS), endorsed by the International Society of Heart and Lung Transplantation (ISHLT). *Eur Heart J.* 2009;30:2493-537.
40. Berger F, Ewert P, Björnstad PG, Dähnert I, Krings G, Brilla-Austenat I, et al. Transcatheter closure as standard treatment for most interatrial defects: experience

- in 200 patients treated with the Amplatzer Septal Occluder. *Cardiol Young*. 1999;9:468-73.
41. Fischer G, Stieh J, Uebing A, Hoffmann U, Morf G, Kramer HH. Experience with transcatheter closure of secundum atrial septal defects using the Amplatzer septal occluder: a single centre study in 236 consecutive patients. *Heart*. 2003;89:199-204.
 42. Hopkins RA, Bert AA, Buchholz B, Guarino K, Meyers M. Surgical patch closure of atrial septal defects. *Ann Thorac Surg*. 2004;77:2144-2149.
 43. Du Z-D, Hijazi ZM, Kleinman CS, Silverman NH, Larntz K. Comparison between transcatheter and surgical closure of secundum atrial septal defect in children and adults: results of a multicenter nonrandomized trial. *J Am Coll Cardiol*. 2002;39:1836-44.
 44. Quek SC, Hota S, Tai BC, Mujumdar S, Tok MY. Comparison of clinical outcomes and cost between surgical and transcatheter device closure of atrial septal defects in Singapore children. *Ann Acad Med Singap*. 2010;39:629-33.
 45. Fraisse A, Losay J, Bourlon F, Agnoletti G, Lusson J-R, Godart F, et al. Efficiency of transcatheter closure of atrial septal defects in small and symptomatic children. *Cardiol Young*. 2008;18:343-7.
 46. Cardenas L, Panzer J, Boshoff D, Malekzadeh-Milani S, Ovaert C. Transcatheter closure of secundum atrial defect in small children. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2007;69:447-52.
 47. Hein R, Büscheck F, Fischer E, Leetz M, Bayard MTY, Ostermayer S, et al. Atrial and ventricular septal defects can safely be closed by percutaneous intervention. *J Interv Cardiol*. 2005;18:515-22.
 48. Wilson NJ, Smith J, Prommete B, O'Donnell C, Gentles TL, Ruygrok PN. Transcatheter closure of secundum atrial septal defects with the Amplatzer septal occluder in adults and children—follow-up closure rates, degree of mitral regurgitation and evolution of arrhythmias. *Heart Lung Circ*. 2008;17:318-24.
 49. Diab KA, Cao Q-L, Bacha EA, Hijazi ZM. Device closure of atrial septal defects with the Amplatzer septal occluder: safety and outcome in infants. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 2007;134:960-6.
 50. Ueda H, Yanagi S, Nakamura H, Ueno K, Gatayama R, Asou T, et al. Device closure of atrial septal defect: immediate and mid-term results. *Circ J*. 2012;76:1229-34.
 51. Vogel M, Berger F, Dähnert I, Ewert P, Lange PE. Treatment of atrial septal defects in symptomatic children aged less than 2 years of age using the Amplatzer septal occluder. *Cardiol Young*. 2000;10:534-7.
 52. Walsh KP, Tofeig M, Kitchiner DJ, Peart I, Arnold R. Comparison of the Sideris and Amplatzer septal occlusion devices. *Am J Cardiol*. 1999;83:933-6.

53. Amanullah MM, Siddiqui MT, Khan MZ, Atiq MA. Surgical rescue of embolized amplatzer devices. *J Card Surg.* 2011;26:254-8.
54. Divekar A, Gaamangwe T, Shaikh N, Raabe M, Ducas J. Cardiac perforation after device closure of atrial septal defects with the Amplatzer septal occluder. *J Am Coll Cardiol.* 2005;45:1213-8.
55. Chan KC, Godman MJ, Walsh K, Wilson N, Redington A, Gibbs JL. Transcatheter closure of atrial septal defect and interatrial communications with a new self expanding nitinol double disc device (Amplatzer septal occluder): multicentre UK experience. *Heart.* 1999;82:300-6.
56. Kehrli B, de S epibus G, Ehrenguber H, Weber JW, Stocker F, Gurtner HP. [Computation of mixed venous oxygen saturation in intracardial shunts and its dependence on age, anesthesia and premedication]. *Z Kardiol.* 1975;64:574-89.
57. Fischer G, Smevik B, Kramer HH, Bj rnstad PG. Catheter-based closure of atrial septal defects in the oval fossa with the Amplatzer device in patients in their first or second year of life. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2009;73:949-55.
58. Bj rnstad PG, Holmstr m H, Smevik B, T nnessen TI, Fosse E. Transcatheter closure of atrial septal defects in the oval fossa: is the method applicable in small children? *Cardiol Young.* 2002;12:352-6.
59. Ko S-F, Liang C-D, Yip H-K, Huang C-C, Ng S-H, Huang C-F, et al. Amplatzer septal occluder closure of atrial septal defect: evaluation of transthoracic echocardiography, cardiac CT, and transesophageal echocardiography. *AJR Am J Roentgenol.* 2009;193:1522-9.
60. Mazic U, Gavora P, Masura J. The role of transesophageal echocardiography in transcatheter closure of secundum atrial septal defects by the Amplatzer septal occluder. *Am Heart J.* 2001;142:482-8.
61. Patel A, Cao Q-L, Koenig PR, Hijazi ZM. Intracardiac echocardiography to guide closure of atrial septal defects in children less than 15 kilograms. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2006;68:287-91.
62. Lim DS, Matherne GP. Percutaneous device closure of atrial septal defect in a premature infant with rapid improvement in pulmonary status. *Pediatrics.* 2007;119:398-400.
63. Motz R, Gr ssl G, Traw ger R. Dependence on a respiratory ventilator due to an atrial septal defect. *Cardiol Young.* 2000;10:150-2.
64. Lo M-H, Huang C-F, Ko S-F, Chien S-J, Lin Y-J, Lin I-C, et al. Impact of transcatheter closure of atrial septal defects in pediatric patients on body weight. *J Formos Med Assoc.* 2011;110:467-72.
65. Jacobs EG, Leung MP, Karlberg JP. Postnatal growth in southern Chinese children with symptomatic congenital heart disease. *J Pediatr Endocrinol Metab.* 2000;13:387-401.

66. Schuurmans FM, Pulles-Heintzberger CF, Gerver WJ, Kester AD, Forget PP. Long-term growth of children with congenital heart disease: a retrospective study. *Acta Paediatr.* 1998;87:1250-5.
67. Sholler GF, Celermajer JM. Cardiac surgery in the first year of life: the effect on weight gains of infants with congenital heart disease. *Aust Paediatr J.* 1986;22:305-8.
68. Goetschmann S, Dibernardo S, Steinmann H, Pavlovic M, Sekarski N, Pfammatter J-P. Frequency of severe pulmonary hypertension complicating « isolated » atrial septal defect in infancy. *Am J Cardiol.* 2008;102:340-2.
69. Brochu M-C, Baril J-F, Dore A, Juneau M, De Guise P, Mercier L-A. Improvement in exercise capacity in asymptomatic and mildly symptomatic adults after atrial septal defect percutaneous closure. *Circulation.* 2002;106:1821-6.
70. Campbell M. Natural history of atrial septal defect. *Br Heart J.* 1970;32:820-6.
71. Murphy JG, Gersh BJ, McGoon MD, Mair DD, Porter CJ, Ilstrup DM, et al. Long-term outcome after surgical repair of isolated atrial septal defect. Follow-up at 27 to 32 years. *N Engl J Med.* 1990;323:1645-50.
72. Giardini A, Donti A, Formigari R, Specchia S, Prandstraller D, Bronzetti G, et al. Determinants of cardiopulmonary functional improvement after transcatheter atrial septal defect closure in asymptomatic adults. *J Am Coll Cardiol.* 2004;43:1886-91.
73. Beyer J. Atrial septal defect: acute left heart failure after surgical closure. *Ann Thorac Surg.* 1978;25:36-43.
74. Schubert S, Peters B, Abdul-Khaliq H, Nagdyman N, Lange PE, Ewert P. Left ventricular conditioning in the elderly patient to prevent congestive heart failure after transcatheter closure of atrial septal defect. *Catheter Cardiovasc Interv.* 2005;64:333-7.
75. Visconti KJ, Bichell DP, Jonas RA, Newburger JW, Bellinger DC. Developmental outcome after surgical versus interventional closure of secundum atrial septal defect in children. *Circulation.* 1999;100:145-150.
76. Spurkland I, Bjørnstad PG, Lindberg H, Seem E. Mental health and psychosocial functioning in adolescents with congenital heart disease. A comparison between adolescents born with severe heart defect and atrial septal defect. *Acta Paediatr.* 1993;82:71-6.
77. Santoro G, Pascotto M, Caputo S, Cerrato F, Cappelli Bigazzi M, Palladino MT, et al. Similar cardiac remodelling after transcatheter atrial septal defect closure in children and young adults. *Heart.* 2006;92:958-62.
78. Meijboom F, Hess J, Szatmari A, Utens EM, McGhie J, Deckers JW, et al. Long-term follow-up (9 to 20 years) after surgical closure of atrial septal defect at a young age. *Am J Cardiol.* 1993;72:1431-4.

ANNEXE I : Images échocardiographiques de CIA (12)

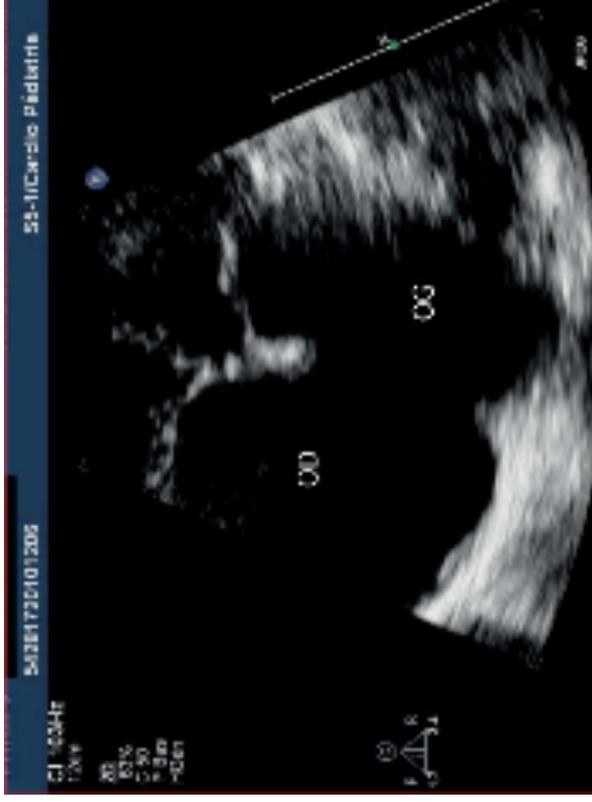


Figure 9. Image échocardiographique transthoracique 4 cavités d'une CIA ostium secundum

OD : oreillette droite; OG : oreillette gauche

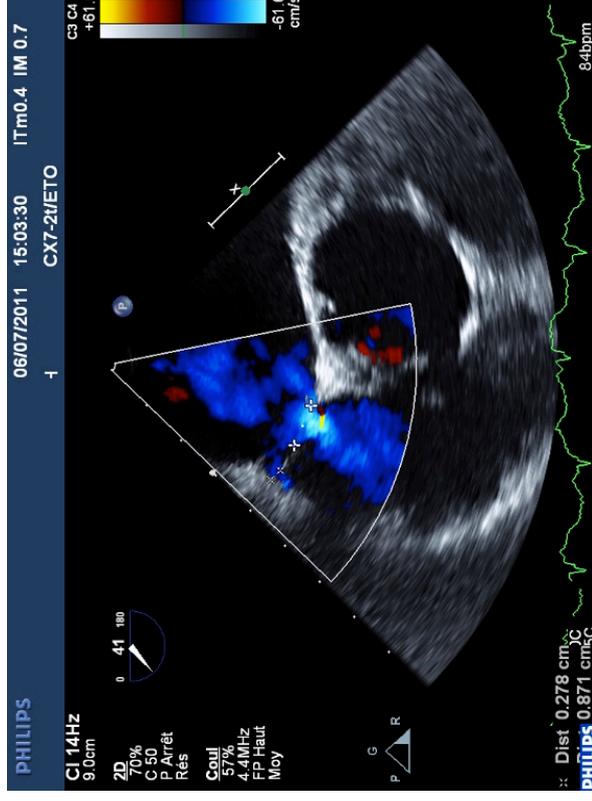


Figure 10. Image échocardiographique transoesophagienne d'une CIA ostium secundum.

OD : oreillette droite; OG : oreillette gauche

ANNEXE 2 :

Tableau IX. Caractéristiques générales et cardiaques des patients.

Patients	Date de fermeture	Sexe	Age (mois)	Pathologies cardiaques associées	Traitements cardiaques
1	23/01/03	M	0,5	HypoVD	Spironolactone; Furosémide; Digoxine
2	09/11/04	F	8,6	VCSG dans SC	Spironolactone; Digoxine
3	17/05/05	M	7		Spironolactone; Digoxine
4	09/01/07	F	11,1	VCSG dans SC Hypoplasie modérée des VPs CIV sous-aortique	Spironolactone; Oxygénothérapie
5	23/01/07	M	23	APSI	Spironolactone; Digoxine; Aspirine
6	04/12/07	M	14,6	HypoVD avec dysplasie de la valve tricuspide Hypoplasie modérée des VPs	Bétabloquant; Aspirine; Oxygénothérapie
7	16/06/08	F	15,9	VCSG dans SC Calcifications de l'Ao et des APs CMH	Oxygénothérapie
8	12/01/10	M	11,1		Spironolactone; Oxygénothérapie
9	27/09/10	M	5,1		Sildénafil; Oxygénothérapie
10	05/10/10	F	10,3		

F : féminin ; M : masculin ; VCSG : veine cave supérieur gauche ; SC : sinus coronaire ; Ao : aorte ; APs : artères pulmonaires ; APSI : atrésie pulmonaire à septum intact ; CMH : cardiomyopathie hypertrophique ; hypoVD : hypoplasie du ventricule droit

ANNEXE 2 : (suite)

Tableau IX. Caractéristiques générales et cardiaques des patients (suite).

Patients	Date de fermeture	Sexe	Age (mois)	Pathologies cardiaques associées	Traitements cardiaques
11	24/01/11	M	11,2		Spironolactone; Oxygénothérapie; Sildénafil
12	23/05/11	M	3,8		Spironolactone; Sildénafil ; Monoxyde d'azote; Jet-CPAP
13	09/08/11	F	5,8		Spironolactone; Furosémide; Sildénafil; Bosentan; Monoxyde d'azote; Jet-CPAP
14	29/11/11	M	13,8		Spironolactone; Oxygénothérapie
15	14/02/12	M	22,9		

F : féminin ; M : masculin ; VSCG : veine cave supérieur gauche ; SC : sinus coronaire ; Ao : aorte ; APs : artères pulmonaires ; APSI : atrésie pulmonaire à septum intact ; CMH : cardiomyopathie hypertrophique ; hypoVD : hypoplasie du ventricule droit

ANNEXE 3 :

Tableau X. Pathologies associées et type d'oxygénothérapie des patients.

Patients	Sexe	Pathologies associées	Traitement par oxygénothérapie
1	M		
2	F		
3	M	Prématurité 36 SA Asthme Oesophagite sur reflux gastro- œsophagien Insuffisance vélaire	
4	F	Prématurité 26 SA Canal artériel fermé chirurgicalement Insuffisance respiratoire chronique sur bronchodysplasie	Lunettes
5	M		
6	M		Lunettes
7	F	Prématurité à 34SA Syndrome polymalformatif sur foetopathie à cytomégalovirus Insuffisance respiratoire chronique sur bronchodysplasie Laryngomalacie	Lunettes
8	M	Encéphalopathie d'origine génétique Insuffisance respiratoire chronique sur micro inhalations Reflux gastro-œsophagien	Lunettes
9	M	Prématurité à 24 SA Insuffisance respiratoire chronique sur bronchodysplasie Rétinopathie Iléus méconial	Lunettes
10	F		
11	M	Prématurité à 26 SA Insuffisance respiratoire chronique sur bronchodysplasie Canal artériel fermé chirurgicalement, Reflux gastro-œsophagien	Lunettes
12	M	Prématurité à 31 SA Insuffisance respiratoire chronique sur bronchodysplasie	Jet-CPAP

SA : semaines d'aménorrhée

ANNEXE 3 : (suite)

Tableau X. Pathologies associées et type d'oxygénothérapie des patients.

Patient	Sexe	Pathologies associées	Traitement par oxygénothérapie
13	F	Prématurité à 27 SA Insuffisance respiratoire chronique sur bronchodysplasie Canal artériel fermé chirurgicalement Entérocolite ulcéronécrosante Rétinopathie Reflux gastro-œsophagien	Jet-CPAP
14	M	Prématurité à 28 SA Insuffisance respiratoire chronique sur bronchodysplasie Entérocolite ulcéronécrosante Reflux gastro-œsophagien	Lunettes
15	M		

SA : semaines d'aménorrhée