

Utilisation d'une base de données numérique d'auscultations cardiaques pour la recherche d'associations entre les anomalies auscultatoires et échocardiographiques chez les enfants porteurs de cardiopathies congénitales

Georges Bediang¹, Maxime Wotol¹, Chris Nganou-Gnindjio¹, Fred Goethe Doualla¹, David Chelo¹

¹ Faculté de Médecine et des Sciences Biomédicales, Université de Yaoundé I, Cameroun

Introduction : L'auscultation cardiaque et l'échocardiographie sont essentielles pour l'évaluation des cardiopathies congénitales. L'utilisation d'outils numériques (stéthoscopes électroniques, logiciels de traitement et d'annotation) permet l'enregistrement audio des auscultations cardiaques, améliore leur écoute et favorise leur description détaillée. L'objectif de cette étude était de rechercher les associations qui existeraient entre les anomalies retrouvées à l'auscultation cardiaque et les paramètres échocardiographiques chez les enfants porteurs de cardiopathies congénitales, en s'appuyant sur une base de données d'auscultations annotées.

Méthodologie : Une étude transversale descriptive a été réalisée au Centre Mère et Enfant de la Fondation Chantal Biya. Les enfants porteurs de cardiopathies congénitales non corrigées étaient inclus. Les sons issus de l'auscultation cardiaque de ces enfants ont été enregistrés et permis de constituer une base de données d'auscultations cardiaques. Les bruits d'intérêt issus de ces auscultations ont été décrits et annotés par un cardiopédiatre à l'aide d'un logiciel de traitement et d'annotation d'enregistrements audios. Ces enfants ont ensuite bénéficié chacun d'une échocardiographie. Les associations qui existaient entre les anomalies retrouvées à l'auscultation cardiaque et les paramètres échocardiographiques ont été recherchées chez les enfants porteurs de communication interventriculaire (CIV), de sténose valvulaire pulmonaire (SVP) ou de persistance du canal artériel (PCA) isolées.

Résultats : 54 enfants ont été recrutés, soit 324 enregistrements audios pour une durée totale de 121 minutes. Les enfants de 29 jours à moins de 3 ans représentaient 51,9 % des participants. À l'auscultation, 51 patients (94,4 %) avaient un souffle cardiaque et 6 patients (11,1%) avaient un éclat du B2 pulmonaire. Les cas de CIV, PCA et SVP isolés représentaient respectivement 37%, 20,4% et 11,1% des participants. Il existait une différence statistiquement significative entre ces trois groupes de pathologies isolées par rapport au foyer où le souffle avait une intensité maximale à l'auscultation cardiaque ($p=0,005$). Par contre, il n'y avait pas d'association statistiquement significative entre l'intensité du souffle et les différents gradients de pression ainsi qu'avec la pression artérielle pulmonaire moyenne pour ces trois groupes de pathologies isolées. Enfin, l'éclat du B2 n'était pas associé de manière statistiquement significative à la pression artérielle pulmonaire moyenne chez les patients ayant une CIV isolée.

Conclusion : L'utilisation d'outils numériques permet d'améliorer l'expérience et les performances en auscultation cardiaque. Il sert comme support pour la description d'anomalies de l'auscultation cardiaque et facilite ainsi la recherche d'associations entre les anomalies retrouvées à l'auscultation cardiaque et les paramètres échocardiographiques. Le foyer d'auscultation où le souffle est perçu avec une intensité maximale pourrait permettre de prédire la nature de la cardiopathie pour les trois groupes de pathologies isolées étudiées.

Mots clés : Cardiopathie congénitale, auscultation cardiaque, échocardiographie, stéthoscope électronique.

1. Introduction

Les cardiopathies congénitales sont des anomalies structurelles macroscopiques du cœur et/ou des grands vaisseaux intrathoraciques, avec un retentissement potentiel sur les fonctions physiologiques [1]. Elles affectent environ un million d'enfants par an dans le monde avec une prévalence généralement admise de

* Corresponding author address: Prof. Georges Bediang, Faculté de Médecine et des Sciences Biomédicales, Université de Yaoundé I, BP: 1364 Yaoundé, Cameroun, e-mail: bediang@yahoo.com

© 2021 JHIA. This is an Open Access article published online by JHIA and distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License. J Health Inform Afr. 2020;8(1):12-23. DOI: 10.12856/JHIA-2021-v8-i1-315

- 2 Bediang et al. / Utilisation d'une base de données numérique d'auscultations cardiaques pour la recherche d'associations entre les anomalies auscultatoires et échocardiographiques chez les enfants porteurs de cardiopathies congénitales

8/1000 naissances [2–4]. En Afrique, le nombre d'enfants atteints de cardiopathies congénitales est largement sous-évalué [5].

L'échocardiographie représente le *goal standard* en matière de diagnostic des malformations cardiaques [6] mais son accès reste difficile au sein des pays à ressources limitées. Toutefois, le souffle cardiaque est souvent le premier signe à l'examen clinique de cardiopathies congénitales [7,8]. Des études ont montré que comparé à l'échographie, l'auscultation cardiaque est plus efficace pour différencier les souffles organiques des souffles fonctionnels [9–11].

Ainsi, mettre en exergue les associations qui existeraient entre les anomalies présentes à l'auscultation cardiaque chez les enfants porteurs de cardiopathies congénitales d'une part et les paramètres échocardiographiques retrouvés d'autre part, pourrait aider au dépistage précoce et efficace de ces pathologies dans les contextes de pays à ressources limitées.

La mise en évidence de ces associations peut se faire à travers l'utilisation du numérique. En effet, l'auscultation a bénéficié de l'avènement du stéthoscope électronique au travers de ses fonctions d'amplification, de filtrage et de stockage des enregistrements lors de l'auscultation [12,13]. Son utilisation permettrait d'améliorer la qualité et l'écoute des enregistrements au cours de l'auscultation. De plus, l'utilisation d'un logiciel de traitement et d'annotation des enregistrements audios améliorerait leur écoute, la visualisation de leurs caractéristiques et permettrait de fournir une description détaillée desdits enregistrements [14,15].

En s'appuyant sur une base de données d'auscultations annotées, l'objectif de cette étude était de rechercher les associations qui existeraient entre les anomalies retrouvées à l'auscultation cardiaque et les paramètres échocardiographiques chez les enfants porteurs de cardiopathies congénitales.

2. Méthodologie

2.1. Design de l'étude

Une étude transversale descriptive a été menée au Centre Mère et Enfant de la Fondation Chantal Biya (CME-FCB) de Yaoundé sur une période de 9 mois, allant d'octobre 2018 à juin 2019. Les sons issus de l'auscultation cardiaque d'enfants porteurs de cardiopathies congénitales ont été enregistrés et permis de constituer une base de données d'auscultations cardiaques. Les bruits d'intérêt issus de ces auscultations ont été décrits et annotés par un cardiopédiatre à l'aide d'un logiciel de traitement et d'annotation d'enregistrements audios. Ces enfants ont ensuite bénéficié chacun d'une échocardiographie. Les associations qui existeraient entre les anomalies retrouvées à l'auscultation cardiaque et les paramètres échocardiographiques ont été recherchées.

2.2. Participants, critères d'inclusion et d'exclusion

Dans cette étude était inclus : (i) tout enfant porteur de cardiopathie congénitale connue ou de découverte récente n'ayant reçu aucune correction chirurgicale ou médicale et (ii) âgé de 18 ans au plus. Les patients exclus étaient (i) ceux ayant des données auscultatoires ou échocardiographiques incomplètes à l'issue des investigations, (ii) les patients présentant une pathologie aiguë (fièvre, anémie) au moment de l'étude et (iii) les patients présentant à l'échographie cardiaque une cardiopathie acquise associée à leur cardiopathie congénitale (cardiopathie rhumatismale, séquelles valvulaires d'endocardite, séquelles de myocardite).

2.3. Échantillonnage

Il s'agit d'une étude pilote et un échantillon de convenance de 50 enfants a été choisi.

2.4. Procédure

Formation au maniement des outils numériques.

Un opérateur a été formé préalablement au maniement des outils numériques utilisés pour l'enregistrement et l'annotation des auscultations cardiaques. Il s'agissait : (i) du stéthoscope électronique 3M Littmann® 3200, (ii) de son logiciel dédié Littmann® Stethassist et (iii) du logiciel Audacity® version 2.2.2.

Recrutement.

- 3 Bediang et al. / Utilisation d'une base de données numérique d'auscultations cardiaques pour la recherche d'associations entre les anomalies auscultatoires et échocardiographiques chez les enfants porteurs de cardiopathies congénitales

Les sujets répondant aux critères d'inclusion étaient sélectionnés au sein des registres du service de cardiologie du CME-FCB par tirage aléatoire. Leurs parents étaient contactés par téléphone. Les buts de l'étude leurs étaient expliqués et il leur était remis des fiches d'information et de consentement éclairé. Tous les enfants dont le consentement était approuvé par au moins un des parents/tuteurs légal étaient retenus dans l'étude.

Auscultations cardiaques et enregistrements.

L'auscultation cardiaque était réalisée chez chaque patient au repos, en position assise et dans une salle calme. Le stéthoscope électronique 3M Littmann® 3200 et son logiciel dédié Littmann® Stethassist était utilisé pour connecter le stéthoscope électronique à un ordinateur portable et réaliser des enregistrements audios d'auscultations cardiaques. Les foyers d'auscultation cardiaque évalués étaient : (i) le foyer aortique, (ii) le foyer pulmonaire, (iii) le foyer tricuspide, (iv) le foyer mitral, (v) le foyer d'Erb et (vi) le foyer sous-claviculaire gauche. Le foyer d'Erb était enregistré durant minute tandis que les autres foyers étaient enregistrés pendant 30 secondes. Six fichiers audios étaient ainsi enregistrés pour chaque patient. L'ensemble d'enregistrements audios a permis de constituer une base de donnée numérique d'auscultations cardiaques.

Annotation des enregistrements audios d'auscultations cardiaques.

Les enregistrements ont été anonymisés puis transmis à un cardiopédiatre pour écoute et annotation à l'aide du logiciel Audacity® version 2.2.2. Il s'agit d'un logiciel de traitement audio utilisé pour écouter et annoter des enregistrements audios. Ce logiciel dispose de fonctionnalités telles que l'amplification, le filtrage et la visualisation (figure 1). L'annotation par le cardiopédiatre a permis d'identifier pour chaque patient les signaux physiologiques du cœur (bruits normaux du cœur, temps respiratoires) et les signaux anormaux ou pathologiques (souffles cardiaques et éclat du B2 au foyer pulmonaire). Pour chaque patient, il devait déterminer la présence ou non des signaux pathologiques. En cas de présence d'un souffle, il devait préciser : son foyer, son intensité et sa temporalité.

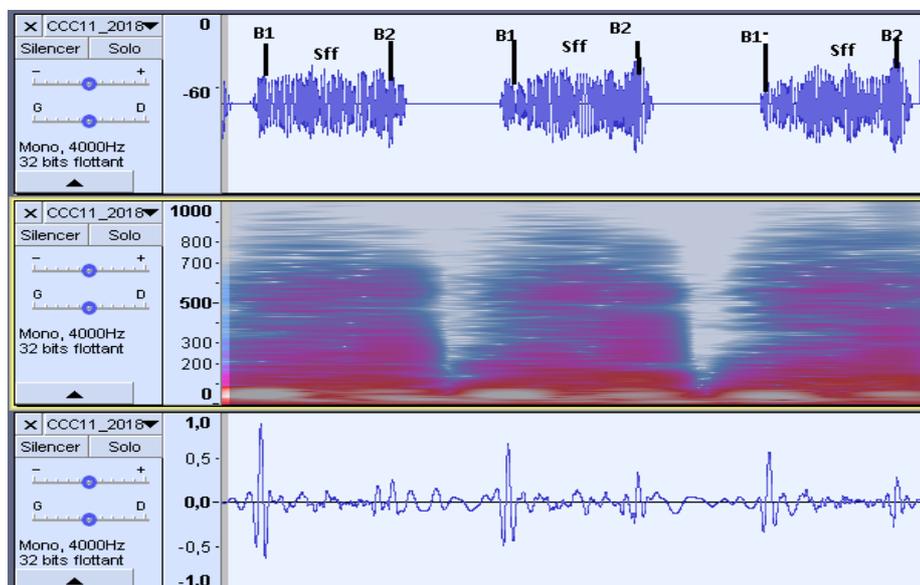


Figure 1 Copie d'écran du logiciel Audacity® montrant un phonocardiogramme mettant en exergue un souffle d'allure rectangulaire qui occupe l'ensemble de la systole (communication interventriculaire chez un nourrisson de 10 mois).

- 4 Bediang et al. / Utilisation d'une base de données numérique d'auscultations cardiaques pour la recherche d'associations entre les anomalies auscultatoires et échocardiographiques chez les enfants porteurs de cardiopathies congénitales

Réalisation des échographies cardiaques.

Un examen d'échographie cardiaque complète a été réalisée chez chaque patient. Cette échographie avait pour but de déterminer: (i) le diagnostic lésionnel, (ii) la vitesse du flux de régurgitation de la valve pulmonaire, (iii) le gradient de pression au travers de l'anomalie septale, (iv) le gradient de pression transvalvulaire pulmonaire et (v) le gradient de pression transcanalaire. (vi) La pression artérielle pulmonaire moyenne (PAPm) était déduite du flux de régurgitation de la valve pulmonaire par l'équation de Bernoulli : $PAPm = 4V_{max}IP^2$ ($V_{max}IP$: flux de régurgitation de la valve pulmonaire).

2.5. Collecte de données

Les données ont été collectées à travers un questionnaire. Ce questionnaire comprenait des sections relatives à l'identification du patient, à la description de l'auscultation cardiaque et à la description des paramètres échocardiographiques.

2.6. Critères de jugement

Les variables de l'auscultation cardiaque étaient : (i) la localisation du foyer d'auscultation où le souffle avait une intensité maximale c'est-à-dire là où il était le mieux perçu (aortique, pulmonaire, tricuspéidienne, mitrale, sous claviculaire gauche ou au niveau du foyer d'Erb) ; (ii) l'intensité de ce souffle (faible pour les intensités 1 et 2, modérée pour l'intensité 3 et forte pour les intensités 4 à 6) ; (iii) son temps (systolique, diastolique ou continu) ; et (iv) l'éclat du B2 (absent ou présent). Les variables échocardiographiques étaient : (i) le diagnostic lésionnel (nature de la cardiopathie), (ii) les gradients de pression trans-septale (au travers de l'orifice septale), transvalvulaire pulmonaire et transcanalaire, et (iii) la pression artérielle pulmonaire moyenne (PAPm).

Les associations ont été recherchées uniquement chez les sujets porteurs de communication interventriculaire (CIV), de persistance du canal artériel (PCA) et de sténose valvulaire pulmonaire (SVP) isolées. Il s'agissait de : (i) l'association entre la localisation (foyer d'auscultation cardiaque) du souffle où l'intensité est maximale et le diagnostic lésionnel (nature de la cardiopathie à l'échocardiographie) ; (ii) l'association entre l'intensité du souffle et le gradient de pression trans-septal chez les patients ayant une CIV isolée; (iii) l'association entre l'intensité du souffle et le gradient de pression transvalvulaire pulmonaire chez les patients ayant une SVP isolée; (iv) l'association entre l'intensité du souffle et le gradient transcanalaire chez les patients ayant une PCA isolée; (v) l'association entre l'intensité du souffle et la pression artérielle pulmonaire moyenne (PAPm) chez les patients ayant une CIV isolée; et (vi), l'association entre l'éclat de B2 et la PAPm chez les patients ayant une CIV isolée.

2.7. Analyses statistiques

Les données ont été saisies à l'aide du logiciel Epidata v.3.1 et analysées à l'aide du logiciel IBM-SPSS v.22 pour Windows. Les variables continues étaient exprimées en médiane avec intervalles interquartiles (Q1-Q3) tandis que les variables catégorielles étaient exprimées par des fréquences. Les associations entre les variables catégorielles ont été exprimées par le test exact de Fisher ou le test du Chi-2. Les associations entre les variables continues et les variables catégorielles ont été recherchées par les analyses de la variance selon Kruskal Wallis et le test U de Mann-Whitney. Le seuil de significativité statistique était fixé à $p < 0,05$.

3. Résultats

Au total, 54 patients ont été recrutés, soit 324 enregistrements audios recueillis pour une durée totale de 121 minutes. Les enfants (de 29^e jour à moins de 3 ans) représentaient 51,9 % des participants, suivis de 22,22 % d'enfants de 3 ans à moins de 6 ans. À l'auscultation cardiaque, 51 patients (94,4 %) avaient un souffle cardiaque (tableau 1) et 6 patients (11,1%) avaient un éclat du B2 pulmonaire.

Les cas de CIV, PCA et SVP isolés représentaient respectivement 37%, 20,4% et 11,1% des participants. Les différents gradients de pression et la pression artérielle pulmonaire moyenne pour les cas de CIV, PCA et SVP isolés sont illustrés dans le tableau 2.

- 5 Bediang et al. / Utilisation d'une base de données numérique d'auscultations cardiaques pour la recherche d'associations entre les anomalies auscultatoires et échocardiographiques chez les enfants porteurs de cardiopathies congénitales

Trois quarts des souffles de CIV étaient perçus de manière maximale au foyer de Erb. Il existait une différence statistiquement significative entre les trois groupes de pathologies isolées (CIV, PCA, SVP) par rapport au foyer où le souffle avait une intensité maximale à l'auscultation cardiaque ($p=0,005$), tableau 3.

Il n'y avait pas d'association statistiquement significative entre l'intensité du souffle et les gradients de pression trans-septal, transvalvulaire, transcanalaire et la pression artérielle pulmonaire moyenne chez les patients ayant une CIV isolée, une SVP isolée, une PCA isolée et une CIV isolée respectivement. De plus, l'éclat du B2 n'était pas associé de manière statistiquement significative à la pression artérielle pulmonaire moyenne chez les patients ayant une CIV isolée (tableau 4).

Table 1 Caractéristiques des souffles perçus à l'auscultation cardiaque

Variables (N=51)	n	(%)
Localisation du souffle		
Pulmonaire	21	41,2
Erb	19	37,3
Sous-claviculaire G	6	11,8
Aortique	4	7,8
Tricuspidien	1	2,0
Intensité du souffle		
Faible	25	49,0
Moyenne	12	23,5
Forte	14	27,5
Temps du souffle		
Systolique	45	88,2
Continu	5	9,8
Diastolique	1	2,0

Table 2 Caractéristiques écho-cardiographiques des cardiopathies congénitales

Variables (N=54)	n	%
Cardiopathies non cyanogènes	46	85,2
Communication interventriculaire (CIV)	20	37,0
Persistance du canal artériel (PCA)	11	20,4
Sténose valvulaire pulmonaire (SVP)	6	11,1
Communication interauriculaire (CIA)	3	5,6
CIV + PCA	3	5,6
CIV + SVP	2	3,7
CIA + SVP	1	1,9
Cardiopathies cyanogènes	8	14,8
Tétralogie de Fallot	4	7,4
Atrésie tricuspidiennne (AT)	1	1,9
CIV + CIA + AT	1	1,9
Tronc artériel pulmonaire	1	1,9
Atrésie pulmonaire à septum ouvert (APSO)	1	1,9
Gradients de pression et PAPm	n	Médiane (Q1-Q3)
Gradients de pression trans-septal (CIV isolée) - mmHg	18	58,3 (11,75 - 89,75)
Gradients de pression transvalvulaire pulmonaire (SVP isolée) - mmHg	6	60 (31,25-72,0)
Gradients de pression transcanalaire (PCA isolée) - mmHg	11	78 (60,0-108,0)
Pression artérielle pulmonaire moyenne – PAPm (CIV isolée) - mmHg	14	5,5 (3,36-11,68)

- 6 Bediang et al. / Utilisation d'une base de données numérique d'auscultations cardiaques pour la recherche d'associations entre les anomalies auscultatoires et échocardiographiques chez les enfants porteurs de cardiopathies congénitales

Table 3 Association entre le foyer d'auscultation cardiaque où le souffle a une intensité maximale et le diagnostic lésionnel (nature de la cardiopathie)

Foyers d'auscultation avec souffle d'intensité maximale	Aortique	Pulmonaire	Erb	Tricuspide	Sous-claviculaire gauche	p
CIV	1 (5%)	3 (15%)	15 (75%)	1(5%)	0 (0%)	0,005
PCA	1 (16,7%)	3 (50%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (33,3%)	
SVP	1 (9,1%)	5 (45,5 %)	1(9,1%)	0 (0%)	4 (36 ,4%)	

Table 4 Associations entre intensité du souffle et gradients et entre éclat du B2 et PAP m.

Variables	Intensité souffle			p
	Faible	Moyenne	Forte	
Gradient de pression trans-septal (CIV isolée) - mmHg	7,8	12,3	10,6	0,37
Gradient de pression transvalvulaire pulmonaire (SVP isolée) - mmHg	3,0	4,0	4,0	0,80
Gradient de pression transcanalaire (PCA isolée) - mmHg	5,1	9,0	6,0	0,35
Pression artérielle pulmonaire moyenne – PAPm (CIV isolée) - mmHg	6,3	4,3	10,8	0,69
	Eclat du B2			
	Présent	Absent		
Pression artérielle pulmonaire moyenne – PAPm (CIV isolée) - mmHg	3	8		0,29

4. Discussion

L'auscultation cardiaque est un des outils utilisé pour l'évaluation initiale des cardiopathies congénitales de l'enfant. Au cours de l'étude, une base de données de 54 enregistrements audios d'auscultations cardiaques a pu être constituée à l'aide d'un stéthoscope électronique. Ces enregistrements ont été décrits et annotés par un cardiopédiatre à l'aide d'un logiciel de traitement et d'annotation d'enregistrements audios. Tous ces outils numériques permettent d'améliorer l'écoute et l'analyse des enregistrements audios pour améliorer l'expérience et les performances en auscultation cardiaque. Ceci ouvre de nouvelles perspectives en matière de soins (amélioration de l'aide au diagnostic) et d'enseignement (amélioration de l'apprentissage de l'auscultation). Noponen et al en 2007, ont démontré que l'analyse de phono-spectrogrammes améliorait la précision de l'évaluation primaire d'un souffle et permettait d'éduquer les étudiants et les cliniciens inexpérimentés [16]. Andrés et al en 2011 ont mis en évidence l'amélioration des performances diagnostiques chez les étudiants du second cycle qui utilisaient les outils de visualisation des signaux auscultatoires [17].

Dans cette étude, il a été retrouvé une association statistiquement significative entre la nature de la lésion et le foyer d'auscultation où était perçu le souffle avec une intensité maximale. Ces résultats rejoignent ceux de l'abondante littérature sur la sémiologie des souffles [18–21] et suggèrent qu'une auscultation fine chez un enfant porteur de cardiopathie congénitale permet de poser le diagnostic lésionnel. L'intensité d'un souffle est le reflet du degré de turbulence du flux sanguin au sein de la structure traversée. Elle est donc maximale au siège de la lésion puis diminue progressivement au mètre carré de distance parcourue [22]. De plus, chez certains enfants porteurs de cardiopathies congénitales, on ne retrouve aucune turbulence. Cela peut expliquer pourquoi des lésions (même relativement graves), peuvent passer inaperçues et être diagnostiquées tardivement. Dans notre série trois enfants ayant des cardiopathies congénitales isolées, soit un ayant une AT et deux ayant une CIA ne présentaient aucun souffle. À l'échocardiographie, ils ne présentaient pas de gradient de pression au niveau de l'anomalie septale pour les enfants ayant une CIA ni au niveau de la tricuspide pour les enfants ayant une AT.

L'intensité du souffle est fonction : des dimensions de l'orifice ou du vaisseau au travers duquel le flux sanguin s'écoule, du volume sanguin s'écoulant et du différentiel de pression au travers de l'orifice. Il

- 7 Bediang et al. / Utilisation d'une base de données numérique d'auscultations cardiaques pour la recherche d'associations entre les anomalies auscultatoires et échocardiographiques chez les enfants porteurs de cardiopathies congénitales

n'existait pas d'association statistiquement significative entre l'intensité du souffle et les gradients de pression trans-septale, transvalvulaire, transcanalaire et la pression artérielle pulmonaire moyenne chez les patients ayant une CIV isolée, une SVP isolée et une PCA isolée respectivement. Nous pouvons supposer qu'il existait une hétérogénéité dans le diamètre des anomalies septales, valvulaires ou canalaire chez les patients de cette étude. Danford et al en 1999 se sont intéressés spécifiquement à la SVP isolée et ont pu établir qu'en s'appuyant sur le souffle, l'expertise d'un cardiologue permettait de la distinguer des autres lésions cardiaques sans pour autant que cela soit suffisant pour grader la sévérité de cette pathologie [23]. Phoon et al en 2017 quant à eux, ont obtenu des résultats différents. Ils ont démontré que l'examen clinique permettait d'évaluer avec précision les gradients de pression dans les cas de CIV et de SVP isolés ou associés à d'autres lésions [24].

Enfin, l'éclat du B2 n'était pas associé de manière statistiquement significative à la pression artérielle pulmonaire moyenne chez les patients ayant une CIV isolée. Cobra et al en 2016 avaient retrouvé des résultats similaires dans une étude menée sur des patients porteurs de pneumopathie interstitielle [25]. Chan et al en 2013 dans une étude cas-témoins, avaient retrouvé une relation entre les caractéristiques acoustiques des bruits B1 et B2 et la sévérité de la PAPm [26]. Dans cette étude, la PAPm avait été évaluée par cathétérisme fournissant ainsi une meilleure précision au cours de sa mesure.

5. Conclusion

Au terme de cette étude, nous pouvons affirmer que l'utilisation d'outils numériques permet d'améliorer l'expérience et les performances en auscultation cardiaque. Ils favorisent l'enregistrement des sons issus de l'auscultation, améliorent l'écoute et servent de support pour la description et l'analyse des anomalies de l'auscultation cardiaque. Leur utilisation comme support de description et d'analyse des anomalies de l'auscultation cardiaque a permis de rechercher les associations entre les anomalies retrouvées à l'auscultation cardiaque et les paramètres échocardiographiques. Une association statistiquement significative a été retrouvée entre la nature de la lésion et le foyer où est perçu le souffle cardiaque avec une intensité maximale. Ainsi, le lieu (foyer d'auscultation) où le souffle est perçu avec une intensité maximale pourrait permettre de prédire le diagnostic lésionnel (nature de la cardiopathie) en ce qui concerne les trois groupes de pathologies isolées étudiées (CIV, PCA et SVP).

6. Limites de l'étude

Les principales limites de notre étude sont : la faible taille de l'échantillon due à des contraintes budgétaires (financement limité pour les échocardiographies) et le caractère subjectif de l'interprétation de l'auscultation cardiaque qui peut dépendre de l'expérience du médecin, des conditions et de la qualité des enregistrements audios.

7. Références

- [1] Robert-Gnansia E, Francannet C, Bozio A, Bouvagnet P. Épidémiologie, Étiologie Et Génétique Des Cardiopathies Congénitales. EMC - Cardiol 2004;1:140–60. <https://doi.org/10.1016/j.emcaa.2004.02.002>.
- [2] Bernier PL, Stefanescu A, Samoukovic G, Tchervenkov CI. The challenge of congenital heart disease worldwide: Epidemiologic and demographic facts. *Semin Thorac Cardiovasc Surg Pediatr Card Surg Annu* 2010;13:26–34. <https://doi.org/10.1053/j.pcsu.2010.02.005>.
- [3] Van Der Linde D, Konings EEM, Slager MA, Witsenburg M, Helbing WA, Takkenberg JJM, et al. Birth prevalence of congenital heart disease worldwide: A systematic review and meta-analysis. *J Am Coll Cardiol* 2011;58:2241–7. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2011.08.025>.
- [4] Patel SS, Burns TL. Nongenetic risk factors and congenital heart defects. *Pediatr Cardiol* 2013;34:1535–55. <https://doi.org/10.1007/s00246-013-0775-4>.
- [5] Zühlke L, Mirabel M, Marijon E. Congenital heart disease and rheumatic heart disease in Africa: recent advances and current priorities. *Heart* 2013;99:1554–61. <https://doi.org/10.1136/heartjnl->

- 2013-303896.
- [6] Barre E, Iserin L. Échographie des cardiopathies congénitales 2014;9.
- [7] Tantchou Tchoumi JC, Ambassa JC, Chelo D, Kamdem Djimegne F, Giamberti A, Cirri S, et al. Pattern and clinical aspects of congenital heart diseases and their management in Cameroon. *Bull La Soc Pathol Exot* 2011;104:25–8. <https://doi.org/10.1007/s13149-010-0091-7>.
- [8] Kamdem F, Kedy Koum D, Hamadou B, Yemdji M, Luma H, Doualla MS, et al. Clinical, echocardiographic, and therapeutic aspects of congenital heart diseases of children at Douala General Hospital: A cross-sectional study in sub-Saharan Africa. *Congenit Heart Dis* 2017. <https://doi.org/10.1111/chd.12529>.
- [9] Chantepie A, Soulé N, Poinot J, Vaillant MC, Lefort B. Souffle cardiaque chez l'enfant asymptomatique: Quand demander un avis cardiologique? *Arch Pediatr* 2016;23:97–104. <https://doi.org/10.1016/j.arcped.2015.10.006>.
- [10] Danford DA, Gumbiner C, Nasir A. Cost Assessment of the Evaluation of Heart Murmurs in Children. *Pediatrics* 1993;91:365–8.
- [11] Geva T. Reappraisal of the approach to the child with heart murmurs: is echocardiography mandatory? 1988;19:107–13.
- [12] Leng S, Tan RS, Chai KTC, Wang C, Ghista D, Zhong L. The electronic stethoscope. *Biomed Eng Online* 2015;14:66. <https://doi.org/10.1186/s12938-015-0056-y>.
- [13] Kelmenson DA, Heath JK, Ball SA, Kaafarani HMA, Baker EM, Yeh DD, et al. Prototype electronic stethoscope vs conventional stethoscope for auscultation of heart sounds. *J Med Eng Technol* 2014;38:307–10. <https://doi.org/10.3109/03091902.2014.921253>.
- [14] Syed Z, Curtis D, Gutttag J, Nesta F, Levine RA. Software enhanced learning of cardiac auscultation. *Conf Proc . Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc IEEE Eng Med Biol Soc Annu Conf* 2006;1:6105–8. <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2006.259246>.
- [15] Syed Z, Leeds D, Curtis D, Gutttag J, Nesta F, Levine RA. Audio-Visual Tools for Computer-Assisted Diagnosis of Cardiac Disorders 2006.
- [16] Noponen A, Lukkarinen S, Angerla A, Sepponen R. Phono-spectrographic analysis of heart murmur in children 2007;10:1–10. <https://doi.org/10.1186/1471-2431-7-23>.
- [17] Collongues N, Leddet P, Mennequier B, Andrès E. Utilisation d'une banque de données auscultatoires: vers une école de l'auscultation L' 2014;20:87–92. <https://doi.org/10.1684/met.2014.0450>.
- [18] Syamasundar Rao P. Diagnosis and management of acyanotic heart disease: part I -- obstructive lesions. *Indian J Pediatr* 2005;72:496–502.
- [19] Syamasundar Rao P. Diagnosis and management of acyanotic heart disease: part II -- left-to-right shunt lesions. *Indian J Pediatr* 2005;72:503–12.
- [20] Rao PS. Diagnosis and management of cyanotic congenital heart disease: Part i. *Indian J Pediatr* 2009;76:57–70. <https://doi.org/10.1007/s12098-009-0030-4>.
- [21] Rao PS. Diagnosis and management of cyanotic congenital heart disease: Part II. *Indian J Pediatr* 2009;76:297–308. <https://doi.org/10.1007/s12098-009-0056-7>.
- [22] Pelech AN. The physiology of cardiac auscultation 2004;51:1515–35. <https://doi.org/10.1016/j.pcl.2004.08.004>.
- [23] Danford DA, Salaymeh KJ, Martin AB, Fletcher SE, Gumbiner CH. ulmonary stenosis: Defect-specific diagnostic accuracy of heart murmurs in children n.d.
- [24] Kadle RL, Phoon CK. Estimating pressure gradients by auscultation: How technology (echocardiography) can help improve clinical skills. *World J Cardiol* 2017;9:693. <https://doi.org/10.4330/wjc.v9.i8.693>.
- [25] Cobra S de B, Cardoso RM, Rodrigues MP. Usefulness of the second heart sound for predicting pulmonary hypertension in patients with interstitial lung disease. *Sao Paulo Med J* 2016;134:34–9. <https://doi.org/10.1590/1516-3180.2015.00701207>.
- [26] Chan W, Woldeyohannes M, Colman R, Arand P, Michaels AD, Parker JD, et al. Haemodynamic and structural correlates of the first and second heart sounds in pulmonary arterial hypertension: An acoustic cardiography cohort study. *BMJ Open* 2013;3. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2013-002660>.