

Etude de la fonction cardiaque en 2d strain chez l'enfant sain

Study of cardiac function in 2d strain in healthy children

Zairi Ihsen¹, Benjedou Syrine¹, Bouzidi H la¹, Echaieb Widad¹, Kamoun Sofien¹, Mzoughi Khadija¹, Kraiem Sondos¹,
Service de cardiologie, Hôpital Habib Thameur, Tunisie

RÉSUMÉ

Introduction : L'utilisation du strain dans la pratique courante chez l'enfant nécessite une définition claire des valeurs normales et des variations associées.

L'objectif de notre étude était de décrire les valeurs du 2D strain longitudinal du VG et du VD chez des enfants sains ayant une échocardiographie normale et d'identifier les facteurs pouvant contribuer aux différences et à la variabilité des mesures reportées.

Matériels et Méthodes : Il s'agit d'une étude descriptive transversale monocentrique réalisée entre Janvier 2021 et Janvier 2023 au service de cardiologie de l'Hôpital Habib Thameur incluant 83 enfants sains.

Résultats : L'âge moyen était de $11 \pm 2,6$ ans avec des extrêmes allant de 5 à 15 ans. La moyenne du SLG du VG chez notre population était de $-24 \pm 2\%$ avec des extrêmes de -20   -29%. Il n'y avait pas de corrélation entre le SGL du VG et l'âge ($p=0,97$) et le sexe ($p=0,93$). Le SGL du VG était significativement corrélé à l'indice de masse corporelle (IMC). Il y avait une diminution significative du strain avec l'augmentation du poids de l'enfant ($p=0,01$). La moyenne du pic systolique du strain du VD était de $-27,4 \pm 3,3$ avec des extrêmes allant de -21 à -35 %. Nous n'avons pas trouvé de corrélation significative entre le strain longitudinal global du VD et le sexe, l' ge et l'IMC.

Conclusion : Nos résultats suggèrent que le SLG est corrélé à l'IMC sans corrélation avec l' ge et le sexe.

MOTS-CLÉS

Echographie,
strain,
enfant

SUMMARY

Introduction : The use of strain in routine practice in children requires a clear definition of normal values and associated variations. The objective of our study was to describe the values of 2D longitudinal strain of the LV and RV in healthy children with normal echocardiography and to identify factors that may contribute to the differences and variability of the reported measurements.

Materials and Methods: This is a single-center cross-sectional descriptive study carried out between January 2021 and January 2023 in the cardiology department of Habib Thameur Hospital including 83 healthy children.

Result: The mean age was 11 ± 2.6 years with extremes ranging from 5 to 15 years. The mean LV SLG in our population was $-24 \pm 2\%$ with extremes from -20 to -29%. There was no correlation between LV SGL and age ($p=0.97$) and sex ($p=0.93$). LV SGL was significantly correlated with body mass index (BMI). There was a significant decrease in strain with increasing child weight ($p=0.01$). The mean peak systolic RV strain was -27.4 ± 3.3 with extremes ranging from -21 to -35%. We did not find a significant correlation between global longitudinal RV strain and sex, age and BMI.

Conclusion: Our results suggest that LV SGL is correlated with BMI without correlation with age and sex.

KEYWORDS

Echocardiography;
strain,
child

Correspondance

Ihsen ZAIRI
Service de cardiologie, Hôpital Habib Thameur

INTRODUCTION

L'échocardiographie est un examen clé pour le diagnostic et le suivi de nombreuses affections cardiovasculaire chez l'adulte et l'enfant. Elle permet d'évaluer de manière non invasive et non irradiante la fonction myocardique du ventricule gauche et droit qui constitue un facteur pronostic dans diverses cardiopathies congénitales ainsi que les atteintes cardiaques des maladies systémiques, métaboliques ou neuromusculaire (1).

Plusieurs paramètres écho cardiographiques permettent l'évaluation des fonctions ventriculaires droite et gauche tel que la fraction d'éjection ou de raccourcissement mais exposent à une variabilité intra- et inter-observateurs potentielle et présentent des limites de reproductibilité et de sensibilité surtout dans les cardiopathies débutantes (2).

De nouvelles techniques permettant une évaluation plus précise de la déformation segmentaire et globale du myocarde ont été utilisées (3,4). Parmi ces techniques, le 2D strain par speckle tracking constitue une méthode relativement indépendante de l'angle permettant l'évaluation précise de la déformation myocardique (5).

Cependant l'utilisation du strain dans la pratique courante chez l'enfant nécessite une définition claire des valeurs normales et des variations associées.

Une méta analyse de Philip T et al a montré que les mesures du 2D strain chez l'enfant sont sujettes à des variations physiologiques en fonction des caractéristiques démographiques (âge, sexe, race...), cliniques (poids, fréquence cardiaque...) et techniques (3).

L'objectif de notre étude était de décrire les valeurs du 2D strain longitudinal du ventricule gauche (VG) et du ventricule droit (VD) chez des enfants sains ayant une échocardiographie normale et d'identifier les facteurs pouvant contribuer aux différences et à la variabilité des mesures reportées.

MATÉRIELS ET MÉTHODES

I. Type de l'étude

Il s'agit d'une étude descriptive transversale monocentrique réalisée entre Janvier 2020 et Janvier 2021 au service de cardiologie de l'Hôpital Habib Thameur.

II. Population d'étude

• Critères d'inclusion

Notre étude a ciblé une population âgée de moins de 18 ans qui consulte le service de cardiologie de l'hôpital Habib Thamer pour une symptomatologie cardiaque et qui ont une échocardiographie normale.

• Critères de non inclusion

Les patients qui n'ont pas étaient inclus dans cette étude sont :

- Les patients aux antécédents d'une cardiopathie congénitale ou acquise.
- Les patients suivis pour diabète
- Les patients hypertendus
- Les patients aux antécédents de maladie systémique

• Critères d'exclusion

Nous avons exclu de l'étude les patients non échogènes.

3. Recueil des données

• Evaluation clinique

Toutes les données ont été recueillies de façon prospective :

- Interrogatoire : âge, sexe, symptomatologie
- Examen clinique : fréquence cardiaque, mesures anthropométriques, l'indice de masse corporelle (IMC) a été calculé selon la formule du poids (kg) divisé par la taille au carré (m²). (7)

• Echocardiographie transthoracique

Tous les patients ont eu un examen échocardiographique avec un ECG simultané (dérivation standard D II) à l'aide d'un appareil du système d'imagerie General Electric Vivid 9 Dimension (GE Vingmed Ultrasound AS) avec un transducteur de 3,5 MHz conformément aux recommandations de la société américaine d'échocardiographie.

Les examens échocardiographiques ont été lus et analysés hors ligne à l'aide d'un logiciel dédié, le logiciel EchoPac de General Electric (EchoPAC PC version 112, GE Vingmed. Trois cycles cardiaques consécutifs ont été enregistrés.

La FEVG a été évaluée en utilisant la méthode biplan de Simpson en vue apicale.

Les diamètres télé-diastolique et télé-systolique du VG, l'épaisseur télé-diastolique du septum interventriculaire et de la paroi postérieure du VG ont été mesurées en mode temps-mouvement en incidence parasternale grand axe.

Le temps d'excursion systolique de l'anneau tricuspide (TAPSE) a été mesuré sur la paroi libre du VD. Sur la coupe quatre cavités, le curseur en mode (TM) a été placé à travers l'anneau tricuspide de manière que l'anneau se déplace le long du curseur en mode TM, et le déplacement total de la base du VD de la télé-diastole à la télé-systole a été mesuré.

Les acquisitions en TDI à code couleur ont été réalisées sur l'incidence apicale coupe quatre cavités. Le volume d'échantillonnage a été placé au niveau basal et latéral de l'anneau tricuspide pour mesurer la vitesse myocardique systolique maximale (S'), la vitesse myocardique diastolique précoce maximale (e') et la vitesse myocardique diastolique tardive (a') au moment de la contraction auriculaire.

• Analyse des déformations en 2D

Un logiciel dédié (Echo Pack PC versions 112 ; GE Healthcare) a été utilisé pour mesurer le strain 2D du VD et du VG.

Toutes les images ont été enregistrées à une fréquence d'image élevée (>50 Hz) et stockées pour une analyse post-traitement.

La déformation longitudinale globale du ventricule gauche a été mesurée à l'aide d'une échocardiographie 2D par speckle tracking dans laquelle la déformation du ventricule gauche est déterminée en suivant le déplacement spatial des speckles d'une image à l'autre.

Tout d'abord, le moment de la fermeture de la valve aortique est défini. Ensuite, trois points sont ancrés dans le tissu myocardique au niveau du plan de l'anneau mitral ainsi qu'en apical pour permettre un suivi semi-automatique. L'algorithme de suivi suit l'endocarde à partir d'une seule image tout au long du cycle cardiaque et permet un ajustement manuel supplémentaire de la région d'intérêt pour s'assurer que toutes les régions du myocarde sont incluses et suivies avec précision tout au long du cycle cardiaque. La précision du suivi est assurée par l'évaluation visuelle du suivi et des courbes de déformation segmentaires. Les images apicales des incidences en

deux, trois et quatre cavités du ventricule gauche sont divisées en 6 segments (segments basal, médian et apical dans les parois opposées), et la qualité du suivi de chacun des 18 segments est approuvée ou rejetée manuellement. L'algorithme calcule ensuite un score de déformation pour chaque incidence apicale.

Pour la présente analyse, le SLG a été déterminé comme la moyenne des trois vues apicales, fournissant ainsi une mesure du SLG pour l'ensemble du VG.

La déformation longitudinale systolique maximale de la paroi libre du VD (SLG-VD) a été mesurée dans la coupe apicale quatre cavités à l'aide d'une analyse par speckle-tracking.

La limite endocardique du VD a été tracée manuellement à la fin de la systole, et la région d'intérêt créée automatiquement a été ajustée à l'épaisseur du myocarde.

Le pic de déformation longitudinale systolique a été déterminé dans les trois segments de la paroi libre du VD (basal, moyen et apical), et le SLG-VD a été calculé comme une valeur moyenne des trois segments de la paroi libre du VD. Les segments ont été écartés si le suivi était de mauvaise qualité. L'analyse de la déformation était possible dans 85% des segments. Seules les images de haute qualité sans réverbération ont été prises en compte et traitées pour réduire les artefacts régionaux.

4. Analyse statistique

L'analyse des données a été réalisée à l'aide du logiciel SPSS version 23. Le plan d'analyse suivant a été adopté :

- Partie descriptive

Pour les variables qualitatives : Des fréquences simples et des pourcentages ont été calculés

Pour les variables quantitatives : La normalité de la distribution des différentes variables quantitatives a été testée à l'aide du test de shapiro-wilk. Quand la distribution était normale, ces variables étaient représentées par la moyenne avec son écart type, le cas échéant nous avons utilisé la médiane avec un intervalle interquartile (écart Q3-Q1). Le box plot est une représentation graphique qui a été également utilisée pour visualiser la médiane, le 1er et le 3ème quartile (Q1 et Q3), ainsi que les extrémités supérieures et inférieures.

- Partie analytique

Le test T de student pour échantillons indépendants a été utilisé pour comparer les moyennes.

La comparaison entre les variables quantitatives a été réalisée en utilisant la régression linéaire et la corrélation.

Une valeur de p inférieure à 5% a été considérée comme statistiquement significative.

RÉSULTAS

I. Population d'étude

Quatre-vingt-trois patients ont été inclus dans notre étude du Janvier 2020 au Janvier 2021. L'âge moyen était de $11 \pm 2,6$ ans avec des extrêmes allant de 5 à 15 ans. Le sexe ratio était de 0,6 (33 de sexe féminin, 50 de sexe masculin).

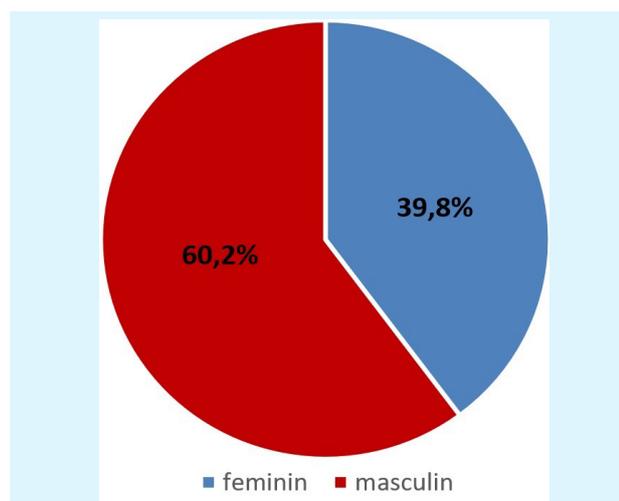


Figure 1. Répartition selon le sexe

Tous les patients étaient sans antécédents, ayant pour symptomatologie des douleurs thoraciques et des palpitations.

Les caractéristiques cliniques de la population sont résumées dans le tableau I.

Variable	Population
Age	$11 \pm 2,6$ ans
Sexe ratio	0,6
Poids (kg)	$27,6 \pm 4,9$
Taille (m)	$1,3 \pm 0,17$
IMC (kg/m ²)	$15,7 \pm 2,4$
Fréquence cardiaque (bpm)	$93,7 \pm 11,2$

Les valeurs sont présentées sous forme de moyennes \pm écarts types. IMC : indice de masse corporelle ; bpm : battements par minute

2. Mesures échocardiographiques

Echocardiographie conventionnelle

La FEVG moyenne était de $68 \pm 4,6\%$ avec des extrêmes allant de 60 à 81%. Il n'y avait pas de différence significative selon le sexe. Cependant une augmentation significative de la FEVG avec l'âge a été trouvée ($p=0,004$).

La moyenne de DTD était de 41 ± 4 mm avec des extrêmes allant de 27 à 50 mm ; Il n'y avait pas de différence significative selon le sexe mais une augmentation significative du DTD avec âge a été trouvée ($p < 10^{-3}$).

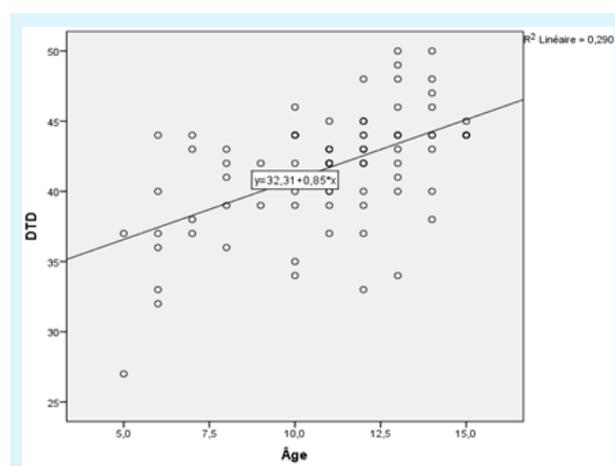


Figure 2 : Variation du DTD en fonction de l'âge

Les résultats échocardiographiques du VG et du VD dans les deux groupes sont résumés dans le tableau II.

Paramètre	Moyenne Ecart-type	Minimum	Maximum
FEVG	$68 \pm 4,6\%$	60%	81%
DTD-VG (mm)	41 ± 4	27	50
SIV (mm)	$5,6 \pm 1$	4	10
TAPSE (mm)	18 ± 1	14	21
S' (cm/s)	11 ± 1	6	13

Les valeurs sont présentées sous forme de moyennes \pm écarts types. FEVG: fraction d'éjection du ventricule gauche; DTD-VG: diamètre télédiastolique du ventricule gauche; SIV : épaisseur du septum interventriculaire; TAPSE: Temps d'excursion systolique du plan annulaire tricuspide; S': la vitesse myocardique systolique maximale au niveau de l'anneau tricuspide.

Analyse des déformations en 2D

• Le strain longitudinal global du VG

La moyenne du SLG du VG chez notre population était de $-24 \pm 2\%$ avec des extrêmes de -20 à -29% .

Il n'y avait pas de corrélation entre le strain longitudinal global du VG et l'âge ($p=0,97$) ; le sexe ($p=0,93$) ; la FEVG ($p=0,17$) ni le diamètre télédiastolique du VG ($p=0,08$).

Le SGL du VG était significativement corrélé à l'IMC. Il y avait une diminution significative du strain avec l'augmentation du poids de l'enfant ($p=0,01$)

• Le strain longitudinal du VD

La moyenne du strain longitudinal global du VD était de $-26,5 \pm 2,8\%$ avec des extrêmes allant de -21 à -33% . La moyenne du pic systolique du strain du VD était de $-27,4 \pm 3,3$ avec des extrêmes allant de -21 à -35% . Les résultats sont résumés dans le tableau III.

Tableau 3. Valeurs du strain des différents segments des parois libre et inférieure du VD

Paramètre	Moyenne Ecart-type	Minimum	Maximum
SLG-VD	$26 \pm 2,8\%$	21%	33%
Pic VD	$27,4 \pm 3,3$	21	35
SBL	$30 \pm 4,2$	19	44
SML	$31,8 \pm 4,4$	24	46
SAL	$28,7 \pm 4,8$	19	42
SBS	$23 \pm 4,4$	11	36
SMS	$22,8 \pm 4,1$	16	39
SAS	$22,4 \pm 3,1$	17	30

SLG-VD : strain longitudinal global du VD ; Pic VD : pic systolique du strain du VD ; SBL : strain du segment basal de la paroi libre du VD ; SML : strain du segment médian de la paroi libre du VD ; SAL : strain apical de la paroi libre du VD ; SBS : strain du segment basal de la paroi septale du VD ; SMS : strain du segment médian de la paroi septale du VD ; SAS : strain du segment apical de la paroi septale du VD

Nous n'avons pas trouvé de corrélation significative entre le strain longitudinal global du VD et le sexe ($p=0,3$), l'âge ($p=0,48$), l'IMC ($p=0,48$), FC ($p=0,2$) et le TAPSE ($p=0,39$).

Il y avait une différence significative entre le strain longitudinal des différents segments (apical, médian, basal) de la paroi libre du VD.

Le strain longitudinal du segment médian de la paroi libre du VD était significativement plus élevée que celui enregistré au niveau des segments basal et apical ($p < 10^{-3}$).

Par contre cette variation n'était pas significative au niveau de la paroi septale du VD ($p=0,3$).

Toutes les valeurs du strain de la paroi inférieure du VD

étaient significativement plus faibles que ceux enregistrés dans les segments correspondants de la paroi libre du VD.

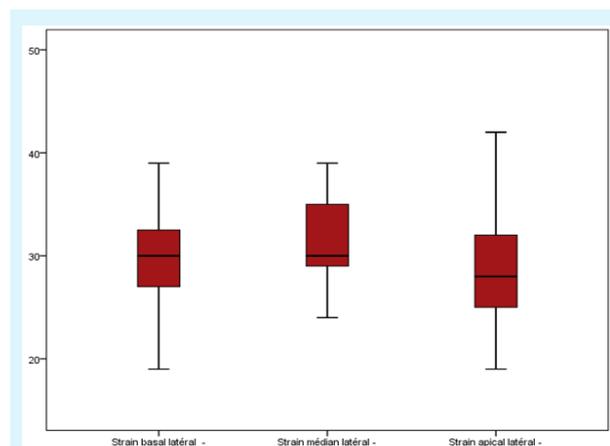


Figure 3. Boîte à moustache des strains de la paroi libre du VD

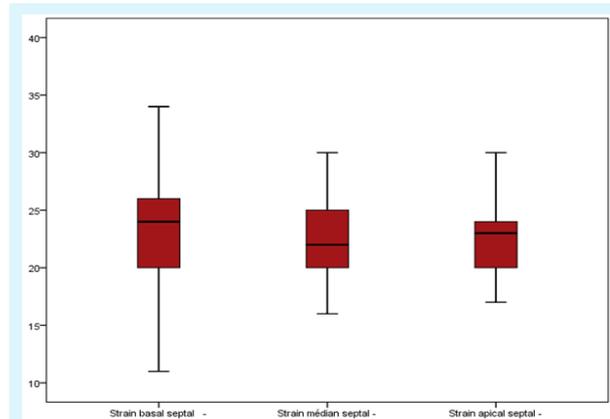


Figure 4. Boîte à moustache des strains de la paroi septale du VD

Il y avait une différence significative entre le strain longitudinal de la paroi libre et septale du VD avec un strain plus bas au niveau de la paroi septale ($p=0,001$).

Il y avait une différence significative entre le strain longitudinal global du VD et le strain longitudinal de la paroi libre du VD ($p < 10^{-3}$) ; ce dernier étant plus important.

Il n'y avait pas de différence significative entre les valeurs du strain longitudinal global du VG et du VD ($p=0,183$).

DISCUSSION

Nos résultats ont montré une valeur moyenne du SLG du VG de $-24 \pm 2\%$ et une moyenne de SLG du VD de $-26,5 \pm 2,8\%$. Le SGL du VG était significativement corrélé à

l'IMC ($p=0,01$). Il y avait une différence significative entre le strain longitudinal des différents segments (apical, median, basal) de la paroi libre du VD avec une valeur plus élevée au niveau du segment moyen ($p<10^{-3}$). Par contre cette variation n'était pas significative au niveau de la paroi septale du VD ($p=0,3$). Il y avait une différence significative entre le strain longitudinal de la paroi libre et septale du VD avec un strain plus bas au niveau de la paroi septale ($p=0,001$). Il n'y avait pas de différence significative entre les valeurs du strain longitudinal global du VG et du VD ($p=0,183$).

1. Fonction ventriculaire gauche

La fonction ventriculaire gauche est un facteur pronostique important des cardiopathies congénitales et acquises chez l'enfant. L'architecture complexe du myocarde du VG est responsable de mécanismes de contraction inhomogènes et complexes. La déformation du ventricule gauche comprend l'épaississement radial, le raccourcissement circonférentiel et le raccourcissement longitudinal. Le 2D strain par speckle tracking est une méthode indépendante de l'angle pour mesurer la déformation myocardique et caractériser quantitativement la fonction du ventricule gauche chez les enfants (3). Notre étude s'est intéressée à la mesure du strain longitudinal du VG devant sa simplicité d'acquisition et sa validation par des études antérieures en tant que marqueur de la fonction systolique du VG (8).

1.1. FEVG et DTD

Dans notre étude, la FEVG moyenne était de $68 \pm 4,6\%$ avec des extrêmes allant de 60 à 81%. Il n'y avait pas de différence significative selon le sexe. Cependant une augmentation significative de la FEVG avec l'âge a été trouvée ($p=0,004$).

La moyenne de DTD était de 41 ± 4 mm avec des extrêmes allant de 27 à 50 mm ; Il n'y avait pas de différence significative selon le sexe mais une augmentation significative du DTD avec l'âge a été trouvée ($p<10^{-3}$). Nous n'avons trouvé une augmentation significative de ce diamètre avec le poids et l'IMC ($p=0,016$).

Nos résultats sont en accord avec l'étude de Overbeek et al concernant les valeurs de référence pour les dimensions échocardiographiques chez des enfants néerlandais en bonne santé qui a montré que les paramètres d'échocardiographie conventionnelle sont indépendants du sexe (9).

Cependant, plusieurs auteurs ont signalé des différences entre les sexes dans leurs études, principalement dues aux variations de la croissance des garçons et des filles, notamment à la puberté (10). Dans notre étude, aucune

différence significative entre les sexes n'a été observée.

Nos résultats sont aussi en accord avec l'étude de Hanseus et al qui ont trouvé que pour tous les paramètres en mode TM, une corrélation significative a été trouvée avec l'âge, la taille, le poids et l'IMC (11).

Les données de la littérature concluent que les mesures anthropométriques et l'âge ont une influence importante sur les mesures échocardiographiques, et que la quantification devrait les prendre en compte (12).

1.2. Strain longitudinal global du VG

La moyenne du SLG du VG chez notre population était de $-24 \pm 2\%$ avec des extrêmes de -20 à -29%.

Nous n'avons pas trouvé de corrélation significative entre le strain longitudinal global du VG et l'âge ; le sexe ; la FEVG ni le diamètre télédiastolique du VG ($p=0,08$). Cependant, Le SGL était significativement corrélé à l'IMC avec un strain plus bas chez les enfants obèses.

Nos résultats étaient semblables aux résultats d'une méta-analyse de Yingchoncharoen et al concernant les valeurs normales du strain du VG qui varient considérablement de -15,9 % à -22,1 %. Cette légère variation peut être expliquée par la petite taille de notre population, d'autant plus que cette méta-analyse regroupe plusieurs études avec des populations importantes dont la plupart ont recruté des patients présentant des résultats échocardiographiques normales « avec le risque d'inclure certaines pathologies occultes.

Cette étude a montré que les effets de l'âge, du sexe et de l'indice de masse corporelle n'étaient pas des déterminants significatifs des variations du SLG (13).

Une autre méta-analyse de Jashari et al a trouvé une moyenne de SLG de -20,5 avec des extrêmes de -12,9 à -26,5%. Cette étude a montré que le DTD (diamètre télédiastolique du ventricule gauche) était un déterminant significatif des variations entre les valeurs du strain. Ce qui diffère des résultats de notre étude qui n'a pas trouvé de corrélation significative entre DTD et SGL. Cela peut être expliqué par la petite taille de notre population.

L'âge a également été trouvé comme facteur influençant les mesures de strain longitudinal contrairement à notre étude. Ils ont constaté une grande variabilité entre les nouveau-nés et les enfants, expliqué par la grande sensibilité du myocarde des nouveau-nés aux changements de la postcharge. Ce qui explique la différence avec notre étude ou on n'a pas inclus de nouveau-nés ni de nourrissons (5). Une autre étude de

Marcus et al, qui n'a pas inclus de nouveau-nés, a montré une corrélation fortement significative entre l'âge et les valeurs de déformation systolique globale, ceci peut être expliqué par le fait que les parois ventriculaires gauches minces des nourrissons présentant de petites distances de déformation pourraient être plus sensibles aux erreurs (14).

En outre, les variables techniques, c'est-à-dire le logiciel personnalisé par le fournisseur,

le suivi des tissus et la fréquence d'images, ont joué un rôle important en influençant les mesures de déformation absolue (15)

Le manque d'explication de l'hétérogénéité des études concernant ces variables ne doit pas être interprété comme si ces caractéristiques n'ont pas d'influence sur le strain (3).

Une étude de Blomstrand et al a révélé que les variations de la déformation longitudinale globale sont liées à l'indice de masse corporelle.(16) Une autre étude de Kibar a aussi montré que la déformation systolique maximale longitudinale du ventricule gauche était significativement plus faible chez les patients obèses que chez les témoins de poids normal (17) ce qui concorde avec les résultats de notre étude.

2. Fonction ventriculaire droite

Chez l'enfant, le ventricule droit est affecté par un large éventail d'affections, telles que les maladies pulmonaires chroniques, l'hypertension pulmonaire, l'asphyxie, la persistance du canal artériel et les cardiopathies congénitales et acquises.

La fonction ventriculaire droite constitue un facteur pronostic primordial dans ces pathologies cardio-pulmonaires. Des études ont déjà montré que lorsque le VD est le ventricule systémique, des changements significatifs dans la déformation segmentaire peuvent être détectés par la mesure du strain. Tous ces changements, ainsi que ceux présents dans un large éventail de myopathies acquises ou congénitales, pourraient potentiellement être caractérisés par la mesure de déformation myocardique ce qui permettrait de mieux comprendre la fonction myocardique régionale dans les cardiopathies congénitales(18).

Le raccourcissement longitudinal est la déformation dominante du ventricule droit qui fournit la principale contribution au volume d'éjection systolique d'où le choix d'étudier la composante longitudinale du strain dans cette étude au détriment des autres (radiale et circonférentielle)(19).

1.1. Paramètres Echographiques conventionnels

La mesure du Temps d'excursion systolique du plan annulaire tricuspide (TAPSE) et de la vitesse myocardique systolique maximale au niveau de l'anneau tricuspide (S') permet d'évaluer la fonction VD d'une manière simple et hautement reproductible, mais ces paramètres ne permettent pas de prédire la dysfonction systolique du VD chez les enfants et ne permettent pas de détecter les anomalies segmentaires (20)

La moyenne du TAPSE chez notre population était de 18 ± 1 mm avec des extrêmes allant de 14 à 21 mm et la moyenne de S' était de 11 ± 1 cm/s avec des extrêmes allant de 6 à 13 cm/s. Nous n'avons pas trouvé de corrélation significative entre ces paramètres et l'âge, le sexe, la FC et l'IMC.

Dans la littérature, Ces 2 paramètres varient de manière significative avec l'âge et l'IMC(20–22), cette différence par rapport à nos résultats peut être expliquée par la petite taille de notre population et l'inclusion des nouveau-nés et des nourrissons dans leurs études.

1.2. Strain VD

• Les valeurs normales du strain longitudinal du VD

La moyenne du strain longitudinal global du VD était de $-26,5 \pm 2,8$ % avec des extrêmes allant de -21 à -33%. La moyenne du pic systolique du strain du VD était de $-27,4 \pm 3,3$ avec des extrêmes allant de -21 à -35 %.

Nos résultats sont concordants avec les résultats d'une méta-analyse de Levy et al concernant les normes du strain du VD chez l'enfant qui ont trouvé des valeurs moyennes normales du pic systolique du strain longitudinal globale variant de -20,80 % à -34,10 % (19).

• Corrélation avec les données cliniques

Il n'y avait pas de corrélation significative entre le strain longitudinal global du VD et le sexe, l'âge, l'IMC, FC et le TAPSE. Ce qui concorde avec les résultats de la méta-analyse de Levy et al qui a montré que l'âge, le sexe, la FC et l'IMC n'étaient pas des déterminants significatifs des variations de la déformation myocardique du ventricule droit (19).

Une autre étude de Weidemann et al a montré que les valeurs du strain régional définies étaient relativement indépendantes de la fréquence cardiaque au repos, Ce qui suggère que l'étude de déformation myocardique est une technique clinique pratique et robuste puisque la fréquence cardiaque au repos a eu si peu d'influence sur ses valeurs (18).

Par contre, nos résultats sont différents d'une cohorte de

Marcus et al qui a montré une relation fortement significative entre l'âge et les valeurs de déformation systolique maximale globale. En fait, l'augmentation de la contractilité cardiaque est probablement l'un des facteurs les plus importants qui permettent une augmentation substantielle de la capacité physique pendant la puberté ; il semble que la fonction systolique cardiaque prépare une réserve, probablement pour une future augmentation de la dépense énergétique myocardique (14)

• Différence du strain des différents segments apical, médian et basal

Dans notre étude, il y avait une différence significative entre le strain longitudinal des différents segments (apical, médian, basal) de la paroi libre du VD. Le strain longitudinal du segment médian de la paroi libre du VD était significativement plus élevée que celui enregistré au niveau des segments basal et apical. Par contre cette variation n'était pas significative au niveau de la paroi septale du VD. Ces résultats étaient concordants aux résultats de l'étude de Weidemann et al qui a montré que le SL enregistré à partir du segment médian de la paroi libre du VD était significativement plus élevé que celui enregistré à partir des segments basal et apical de la même paroi (18)

D'autres études ont démontré un gradient de déformation longitudinale segmentaire base-apex pour le ventricule droit chez des enfants et les adultes. Ce résultat peut refléter la géométrie relativement constante du cœur normal avec la maturation. Ce gradient est expliqué par le fait que les couches longitudinales profondes dominantes du ventricule droit sont alignées de la base à l'apex et permettent un plus grand raccourcissement longitudinal.

L'altération de ce gradient physiologique normal de la base à l'apex a le potentiel pour discerner les changements cliniques de la fonction myocardique chez les patients atteints de différents processus pathologiques (19).

• Différence entre paroi libre et paroi inférieure du VD

Comme la paroi inférieure du VD est plus fixée par le VG que la paroi libre du VD, toutes les valeurs strain de la paroi inférieure du VD étaient significativement plus faibles que ceux enregistrées dans les segments correspondants de la paroi libre du VD (18,19). Ces résultats sont concordants aux résultats de notre étude.

• Différence entre strain du VG et du VD

Dans la littérature, il a été rapporté que la déformation longitudinale globale du ventricule gauche était inférieure à la déformation longitudinale globale du VD (18,19). Ce résultat n'a pas été mis en évidence dans notre étude ou aucune différence significative entre les valeurs du strain longitudinal global du VG et du VD n'a été trouvée.

CONCLUSION

Nos résultats suggèrent que le strain longitudinal global du ventricule gauche est corrélé à l'indice de masse corporelle chez l'enfant sans corrélation avec l'âge et le sexe.

REFERENCES

1. Le strain myocardique [Internet]. Cardiologie Pratique. 2018 [cité 8 déc 2022]. Disponible sur: <https://www.cardiologie-pratique.com/journal/article/0027423-strain-myocardique>
2. Bussadori C, Moreo A, Di Donato M, De Chiara B, Negura D, Dall'Aglio E, et al. A new 2D-based method for myocardial velocity strain and strain rate quantification in a normal adult and paediatric population: assessment of reference values. *Cardiovasc Ultrasound*. 13 févr 2009;7:8.
3. Levy PT, Machefsky A, Sanchez AA, Patel MD, Rogal S, Fowler S, et al. Reference Ranges of Left Ventricular Strain Measures by Two-Dimensional Speckle-Tracking Echocardiography in Children: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Am Soc Echocardiogr Off Publ Am Soc Echocardiogr*. mars 2016;29(3):209-225.e6.
4. Levy PT, Sanchez Meija AA, Machefsky A, Fowler S, Holland MR, Singh GK. Normal ranges of right ventricular systolic and diastolic strain measures in children: a systematic review and meta-analysis. *J Am Soc Echocardiogr Off Publ Am Soc Echocardiogr*. mai 2014;27(5):549-60, e3.
5. Jashari H, Rydberg A, Ibrahim P, Bajraktari G, Kryeziu L, Jashari F, et al. Normal ranges of left ventricular strain in children: a meta-analysis. *Cardiovasc Ultrasound*. déc 2015;13(1):1-16.
6. 09.pdf [Internet]. [cité 10 déc 2022]. Disponible sur: <https://www.realites-cardiologiques.com/wp-content/uploads/sites/2/2011/03/09.pdf>
7. Indice de Masse Corporelle [Internet]. Livi. [cité 10 déc

- 2022]. Disponible sur: <https://www.livi.fr/sante/imc/>
8. Thibault H. Imagerie de déformation/strain ventriculaire gauche : puis-je m'en passer au quotidien ? *Arch Mal Coeur Vaiss - Prat.* déc 2020;2020(293):20-6.
 9. Overbeek LIH, Kapusta L, Peer PGM, de Korte CL, Thijssen JM, Daniels O. New reference values for echocardiographic dimensions of healthy Dutch children. *Eur J Echocardiogr J Work Group Echocardiogr Eur Soc Cardiol.* mars 2006;7(2):113-21.
 10. Majonga ED, Rehman AM, McHugh G, Mujuru HA, Nathoo K, Patel MS, et al. Echocardiographic reference ranges in older children and adolescents in sub-Saharan Africa. *Int J Cardiol.* 1 déc 2017;248:409-13.
 11. Hanséus K, Björkhem G, Lundström NR. Dimensions of cardiac chambers and great vessels by cross-sectional echocardiography in infants and children. *Pediatr Cardiol.* 1988;9(1):7-15.
 12. Lester LA, Sodt PC, Hutcheon N, Arcilla RA. M-mode echocardiography in normal children and adolescents: some new perspectives. *Pediatr Cardiol.* 1987;8(1):27-33.
 13. Yingchoncharoen T, Agarwal S, Popović ZB, Marwick TH. Normal ranges of left ventricular strain: a meta-analysis. *J Am Soc Echocardiogr Off Publ Am Soc Echocardiogr.* févr 2013;26(2):185-91.
 14. Marcus KA, Mavinkurve-Groothuis AMC, Barends M, van Dijk A, Feuth T, de Korte C, et al. Reference values for myocardial two-dimensional strain echocardiography in a healthy pediatric and young adult cohort. *J Am Soc Echocardiogr Off Publ Am Soc Echocardiogr.* juin 2011;24(6):625-36.
 15. Koopman LP, Slorach C, Manlhiot C, McCrindle BW, Jaeggi ET, Mertens L, et al. Assessment of myocardial deformation in children using Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) data and vendor independent speckle tracking software. *J Am Soc Echocardiogr Off Publ Am Soc Echocardiogr.* janv 2011;24(1):37-44.
 16. Blomstrand P, Sjöblom P, Nilsson M, Wijkman M, Engvall M, Länne T, et al. Overweight and obesity impair left ventricular systolic function as measured by left ventricular ejection fraction and global longitudinal strain. *Cardiovasc Diabetol.* 14 août 2018;17(1):113.
 17. Kibar AE, Pac FA, Ece I, Oflaz MB, Ballı Ş, Bas VN, et al. Effect of obesity on left ventricular longitudinal myocardial strain by speckle tracking echocardiography in children and adolescents. *Balk Med J.* janv 2015;32(1):56-63.
 18. Weidemann F, Eyskens B, Jamal F, Mertens L, Kowalski M, D'Hooge J, et al. Quantification of regional left and right ventricular radial and longitudinal function in healthy children using ultrasound-based strain rate and strain imaging. *J Am Soc Echocardiogr Off Publ Am Soc Echocardiogr.* janv 2002;15(1):20-8.
 19. Levy PT, Sanchez A, Machefsky A, Fowler S, Holland MR, Singh GK. Normal Ranges of Right Ventricular Systolic and Diastolic Strain Measures in Children: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Am Soc Echocardiogr Off Publ Am Soc Echocardiogr.* mai 2014;27(5):549-560.e3.
 20. Koestenberger M, Nagel B, Ravekes W, Urlsberger B, Raith W, Avian A, et al. Systolic right ventricular function in preterm and term neonates: reference values of the tricuspid annular plane systolic excursion (TAPSE) in 258 patients and calculation of Z-score values. *Neonatology.* 2011;100(1):85-92.
 21. Akao M, Katsube Y, Kamisago M, Watanabe M, Abe M, Fukazawa R, et al. Developmental changes in left and right ventricular function evaluated with color tissue Doppler imaging and strain echocardiography. *J Nippon Med Sch Nippon Ika Daigaku Zasshi.* 2013;80(4):260-7.
 22. Arce OX, Knudson OA, Ellison MC, Baselga P, Ivy DD, Degroff C, et al. Longitudinal motion of the atrioventricular annuli in children: reference values, growth related changes, and effects of right ventricular volume and pressure overload. *J Am Soc Echocardiogr Off Publ Am Soc Echocardiogr.* sept 2002;15(9):906-16.