



Université Lille 2
Droit et Santé

UNIVERSITE LILLE 2 DROIT ET SANTE
FACULTE DE MEDECINE HENRI WAREMBOURG

Année : 2014

THESE POUR LE DIPLOME D'ETAT
DE DOCTEUR EN MEDECINE

*Evaluation d'un nouvel indice de contractilité myocardique
indépendant des conditions de charge en échographie 2D Strain
speckle tracking : application clinique à la correction
chirurgicale des valvulopathies*

Présentée et soutenue publiquement le 3 octobre 2014 à 18 heures
Au Pôle Recherche
Par Camille BINDA

JURY

Président :

Monsieur le Professeur Christophe BAUTERS

Assesseurs :

Monsieur le Professeur Dominique LACROIX

Monsieur le Docteur David MONTAIGNE

Monsieur le Docteur Mohamad KOUSSA

Directeur de Thèse :

Monsieur le Docteur Augustin COISNE

Avertissement

La Faculté n'entend donner aucune approbation aux opinions émises dans les thèses : celles-ci sont propres à leurs auteurs.

Liste des abréviations

| | |
|-------|--|
| 2D | Deux Dimensions |
| A2C | Apicale Deux Cavités |
| A4C | Apicale Quatre Cavités |
| ASE | American Society of Echocardiography |
| AVC | Accident Vasculaire Cérébral |
| BPCO | Broncho-Pneumopathie Chronique Obstructive |
| CEC | Circulation Extra-Corporelle |
| DTDVG | Diamètre Télé Diastolique Ventriculaire Gauche |
| DTI | Doppler Tissulaire |
| DTSVG | Diamètre Télé Systolique Ventriculaire Gauche |
| E max | Elastance Maximale Ventriculaire Gauche |
| ETT | Echocardiographie Trans-Thoracique |
| FA | Fibrillation Atriale |
| FC | Fréquence Cardiaque |
| FEVG | Fraction d'Ejection du Ventricule Gauche |
| GLS | Strain Global Longitudinal |
| HbA1C | Hémoglobine Glyquée |
| IM | Insuffisance Mitrale |
| IMC | Indice de Masse Corporelle |

| | |
|---------|---|
| MDRD | Modification of the Diet in Renal Disease |
| NYHA | New York Heart Association |
| PAD | Pression Artérielle Diastolique |
| PAS | Pression Artérielle Systolique |
| PTDVG | Pression Télédiastolique du Ventricule Gauche |
| RA | Rétrécissement Aortique |
| SR | Strain Rate |
| STS | Society of Thoracic Surgeons |
| VES | Volume d'Ejection Systolique |
| VG | Ventricule Gauche |
| VL | Vitesse Longitudinale |
| Vmax IT | Vitesse maximale de l'Insuffisance Tricuspidale |
| PAPS | Pression Artérielle Pulmonaire Systolique |
| VT | Vitesse Transversale |
| VTDVG | Volume Télédiastolique Ventriculaire Gauche |
| VTSVG | Volume Télésystolique Ventriculaire Gauche |

Table des matières

| | |
|--|-----------|
| Résumé..... | 1 |
| Introduction..... | 2 |
| I. Généralités..... | 2 |
| II. La fonction systolique du VG..... | 2 |
| III. Quelques outils échographiques d'évaluation de la fonction systolique..... | 4 |
| A. <i>La FEVG</i> | 4 |
| B. <i>L'onde S mitrale par doppler tissulaire</i> | 6 |
| C. <i>La déformation myocardique</i> | 6 |
| IV. Déformation myocardique et valvulopathie..... | 9 |
| V. Un nouveau paramètre de contractilité indépendant des conditions de charge..... | 10 |
| Matériels et méthodes..... | 12 |
| I. Type d'étude..... | 12 |
| II. Population étudiée..... | 12 |
| III. Recueil de données..... | 13 |
| A. <i>Données épidémiologiques cliniques et biologiques</i> | 13 |
| B. <i>Données standards échocardiographiques</i> | 14 |
| C. <i>Le 2D Strain speckle tracking</i> | 15 |
| IV. Analyse statistique..... | 17 |

| | |
|---|-----------|
| Résultats | 19 |
| I. Caractéristiques pré opératoires des patients..... | 19 |
| II. Reproductibilité des mesures de déformation myocardique..... | 21 |
| A. <i>Faisabilité</i> | 21 |
| B. <i>Reproductibilité intra et inter observateur</i> | 22 |
| III. Caractéristiques opératoires et post opératoires..... | 25 |
| IV. Analyse des paramètres échographiques..... | 29 |
| A. <i>Rétrécissement aortique</i> | 29 |
| 1. Evolution de la déformation myocardique..... | 29 |
| 2. Corrélation entre PreS et Total_S..... | 30 |
| 3. Evolution des paramètres standards échographiques..... | 30 |
| B. <i>Insuffisance mitrale</i> | 31 |
| 1. Evolution de la déformation myocardique..... | 31 |
| 2. Corrélation entre PreS et Total_S..... | 32 |
| 3. Evolution des paramètres standards échographiques..... | 33 |
| V. Corrélation des paramètres de déformation myocardique avec les paramètres usuels d'évaluation de la fonction systolique..... | 33 |
| VI. Comparaison de la pente de la relation PreS / Total_S sur tous les segments du VG et celle excluant la paroi septale..... | 34 |
| Discussion | 36 |
| I. Faisabilité de la technique..... | 36 |
| II. Reproductibilité des mesures..... | 36 |
| III. Mesure des déformations myocardiques..... | 31 |
| IV. Limites de l'étude..... | 40 |
| V. Applications cliniques et perspectives..... | 41 |
| Conclusion | 42 |
| Références bibliographiques | 43 |
| Annexes | 46 |

RESUME

Contexte : Les paramètres échographiques habituels pour l'évaluation de la fonction systolique du ventricule gauche (VG) sont tous dépendants des conditions de charge. La pente de la relation de la déformation myocardique entre la contraction atriale et la systole ventriculaire, évaluée en échographie 2D Strain speckle tracking a récemment été proposée comme un indice de contractilité indépendant des conditions de charge. Nous avons évalué ce paramètre lors des variations importantes de la postcharge : la correction chirurgicale de rétrécissement aortique (RA) et d'insuffisance mitrale (IM).

Méthode : Notre étude prospective a inclus 43 patients (31 RA et 12 IM) et nous avons analysé la pente de la relation de la déformation myocardique entre la contraction atriale (PreS) et la systole ventriculaire (Total_S) en échographie 2D Strain speckle tracking, avant et après correction chirurgicale (entre le 5^{ème} et le 7^{ème} jour post-opératoire).

Résultat : La pente de la relation PreS et Total_S ne se modifiait pas de façon significative après correction du RA ($-1,7 \pm 0,7$ vs $-1,5 \pm 0,6$; $p = 0,23$). De même, nous n'avons pas observé de modification significative des paramètres standards d'évaluation de la fonction systolique : fraction d'éjection du ventricule gauche (FEVG) : $57,9 \pm 9,6\%$ vs $59,8 \pm 9,8\%$, $p = 0,12$; onde S mitrale en doppler tissulaire (DTI) : $6,7 \pm 1,6$ cm/s vs $7,3 \pm 2,2$ cm/s, $p = 0,33$; Strain global longitudinal (GLS) : $-13,7 \pm 3,4\%$ vs $-12,7 \pm 3,8\%$, $p = 0,44$). On observait une tendance à une diminution pour les IM mais sans significativité statistique ($-1,7 \pm 0,7$ vs $-1,1 \pm 0,6$; $p = 0,06$), alors que le FEVG et le GLS baissaient de façon significative en post opératoire (respectivement $64,2 \pm 12,3\%$ vs $45,1 \pm 11,7\%$; $p < 0,0001$ et $-18 \pm 4,9\%$ vs $-9,7 \pm 2,9\%$; $p = 0,02$). Lorsque la paroi septale est exclue, la pente de la relation PreS et Total_S ne se modifiait pas de manière significative après correction du RA ($-1,77 \pm 0,66$ vs et $-1,41 \pm 0,5$, $p = 0,5$) et également après chirurgie de l'IM ($-1,78 \pm 0,62$ vs $-1,67 \pm 0,37$; $p = 0,27$). Aucune différence significative n'est retrouvée entre cette pente et celle obtenue sur tous les segments du VG en pré et en post opératoire, chez les patients porteurs de RA (respectivement $p = 0,73$ et $p = 0,21$) et d'IM (respectivement $p = 0,77$ et $p = 0,41$).

Conclusion : Notre étude démontre que ce nouveau paramètre échographique semble être moins dépendant des conditions de charge, notamment lorsque la paroi septale est exclue de l'analyse. L'étude d'une population plus importante semble nécessaire pour confirmer cette tendance.

INTRODUCTION

I. Généralités

L'analyse de la fonction systolique du ventricule gauche (VG) est un élément clé dans la prise en charge quotidienne des patients en cardiologie. En effet, une altération de cette fonction systolique est une indication à proposer un défibrillateur implantable chez le patient insuffisant cardiaque sévère (1), ou peut impliquer une correction chirurgicale d'une valvulopathie (2). Cette altération est également un facteur de morbi-mortalité chez les patients porteurs d'une cardiopathie ischémique, entre autres (3,4).

II. La fonction systolique du VG

La fonction systolique du VG est dépendante de plusieurs paramètres : la contractilité intrinsèque du myocarde (ou inotropisme), la précharge et la postcharge.

La précharge correspond au degré d'étirement des fibres myocardiques en télédiastole, avant la phase de contraction isovolumique.

Elle est déterminée par le remplissage actif et passif (retour veineux et contractilité atriale). Ainsi d'après la loi de Frank et Starling, plus la précharge augmente, c'est à dire plus le degré d'étirement des fibres myocardiques augmente, plus la force de contraction et donc plus le volume d'éjection systolique (VES) augmente (relation tension-longueur) (5).

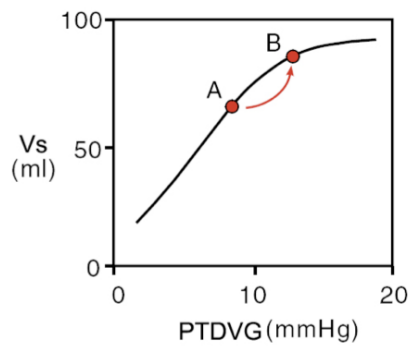


Figure 1 : Schéma de la relation entre le volume d’éjection systolique (Vs) et la pression télédiastolique du VG (PTDVG). Une augmentation du retour veineux (A → B) augmente le volume télédiastolique et la PTDVG (donc la précharge) (5).

La postcharge correspond à la tension pariétale, autrement dit aux contraintes exercées sur le VG pendant la contraction.

Ce paramètre est donc fonction de la résistance artérielle périphérique (seul paramètre mesuré en pratique clinique), de la compliance artérielle, de l’impédance aortique, de l’onde de pression réfléchie et de la viscosité sanguine.

La loi de Laplace définit la tension de paroi du VG, qui est directement proportionnelle à la pression et au diamètre du VG, et inversement proportionnelle à son épaisseur de paroi.

Elle se formule mathématiquement par :

$$\text{Tension pariétale (dynes/cm)} = \frac{\text{Pression du VG (mmHg)} \times \text{Rayon du VG (cm)}}{\text{Epaisseur de la paroi (cm)}}$$

Enfin, la contractilité myocardique ou inotropisme, correspond à la propriété de contraction intrinsèque du myocarde. Au niveau moléculaire, une variation de la contractilité correspond à un changement de l’interaction du calcium avec les protéines impliquées dans le couplage excitation-contraction.

A ce jour, seules des techniques invasives non réalisables en pratique courante permettent une estimation de la contractilité intrinsèque, comme la relation pression-volume en fin de systole (6).

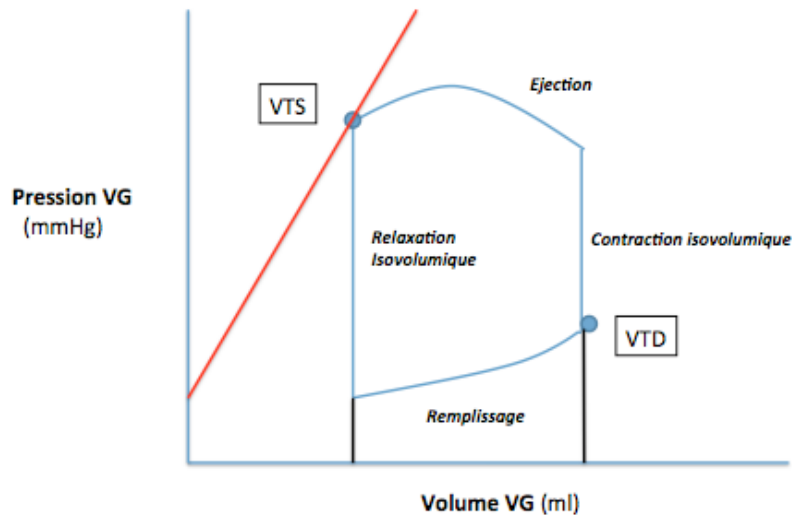


Figure 2 : Courbe de pression-volume du VG décrivant les 4 phases (contraction isovolumique, éjection, relaxation et remplissage) d'un cycle cardiaque normal. La pente de la courbe représentée en rouge correspond à l'état inotrope du VG.

III. Quelques outils échographiques d'évaluation de la fonction systolique

A. La FEVG

Le paramètre d'évaluation de la fonction systolique du VG le plus utilisé en pratique courante est la fraction d'éjection du ventricule gauche (FEVG) du fait de sa disponibilité. Elle est mesurée le plus souvent en échocardiographie trans-thoracique (ETT) bidimensionnelle (2D) par la méthode de Simpson modifiée, basée sur une simplification de la géométrie du VG. La FEVG est exprimée en pourcentage et elle est supérieure à 55% chez un individu normal (7).

Le principe de cette méthode est le calcul du volume total du VG à partir d'une somme de piles de disques elliptiques d'épaisseur égale. Un traçage endocardique en vue apicale est effectué dans les incidences 4 cavités et 2 cavités, avec exclusion des muscles papillaires (Figure 2). Ces mesures sont répétées en télédiastole et télésystole.

Le volume est calculé grâce à la formule : $\text{Volume} = 1/4 [5 \times (\text{Surface}) \times (\text{Longueur})] / 6$.

Enfin, la FEVG est calculée avec la formule :

$$\text{FEVG} = (\text{VTDVG} - \text{VTSVG}) / \text{VTDVG}$$

VTDVG étant le volume télédiastolique ventriculaire gauche et VTSVG le volume télésystolique du VG (8).

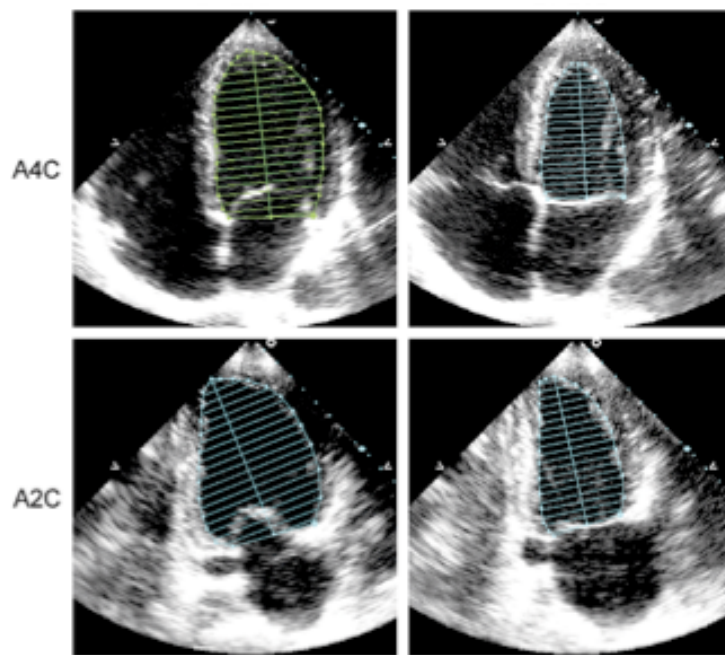


Figure 3 : Mesures en 2D pour le calcul du volume à l'aide de la méthode de Simpson modifiée, dans les incidences apicales 4 cavités (A4C) et 2 cavités (A2C) en télédiastole et en télésystole.

L'analyse de la FEVG en ETT a l'avantage d'être facilement disponible en pratique courante mais elle possède également plusieurs limites : la variabilité intra et inter observateur non négligeable (respectivement de l'ordre de 5 et 10 %) (9), l'analyse unique de la déformation radiale du VG (sans prendre en compte l'épaississement, le raccourcissement et la torsion) et la dépendance aux conditions de charge.

B. L'onde S mitrale par doppler tissulaire

Un autre paramètre d'évaluation de la fonction systolique est la mesure de l'onde S à l'anneau mitral en mode 2D avec le doppler tissulaire (DTI) (Figure 4). Ce paramètre analyse la cinétique longitudinale de l'anneau mitral (10). Une valeur moyenne de l'onde S (anneau mitral latéral, antérieur, inférieur et septal) inférieure à 8 cm/s prédit une FEVG entre 30 et 49% (avec une sensibilité de 86% et une spécificité de 93%), et une valeur inférieure à 6 cm/s, une FEVG inférieure à 30% (avec une sensibilité de 92% et une spécificité de 84%) (12). Cependant, il existe une sous estimation liée à l'angle formé entre le faisceau doppler incident et la direction de la paroi ainsi qu' une dépendance aux conditions de charge.

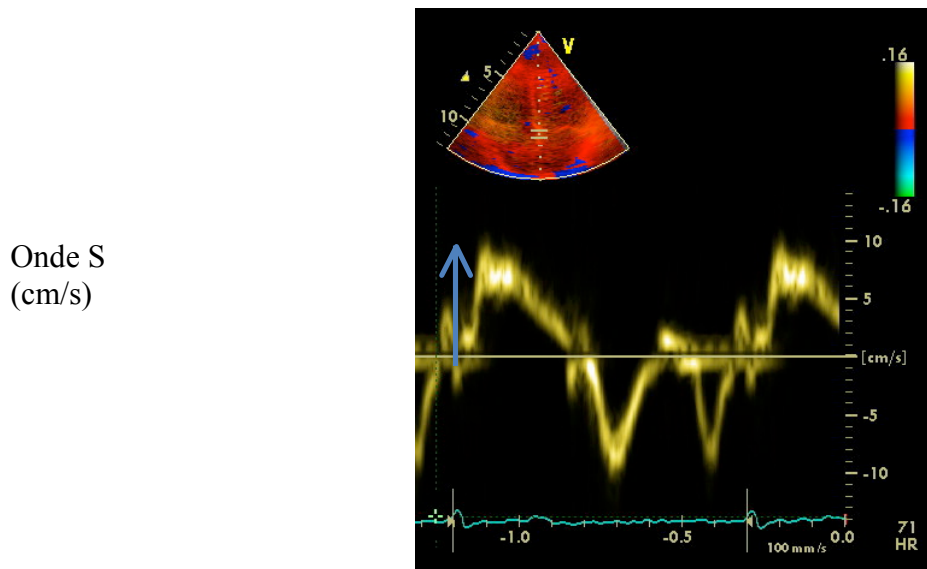


Figure 4 : Exemple de la mesure échocardiographique de l'onde S mitrale septale en mode DTI.

C. La déformation myocardique

L'analyse de la déformation myocardique est une technique connue depuis une quinzaine d'années (12). Cette analyse s'effectue via le Strain et le Strain rate (SR) basée sur l'analyse des variations de distance entre marqueurs acoustiques.

Ces paramètres sont utilisés pour l'étude de la fonction globale et segmentaire du VG, dans les composantes longitudinale, circonférentielle et radiale (Figure 5).

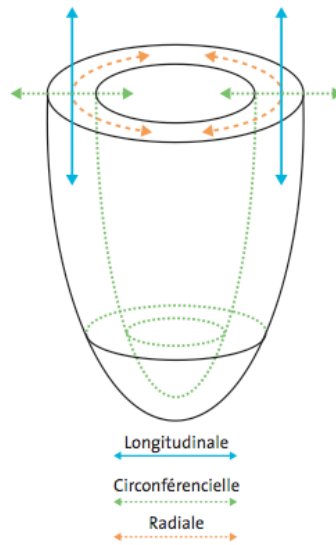


Figure 5 : Représentation de la contraction du VG dans les 3 axes orthogonaux : longitudinal, circumférenciel et radial. D’après (13).

Initialement ces paramètres étaient mesurés en DTI, mais ils peuvent être également obtenus au moyen d’une technique échocardiographique appelée le 2D Strain speckle tracking. Cette technique utilise le myocarde adjacent comme point de référence, permettant une analyse de la déformation dans les trois plans orthogonaux (circumférenciel, radial et longitudinal). Cette analyse est donc indépendante du faisceau d’ultrasons contrairement au DTI (13) (Figure 6).

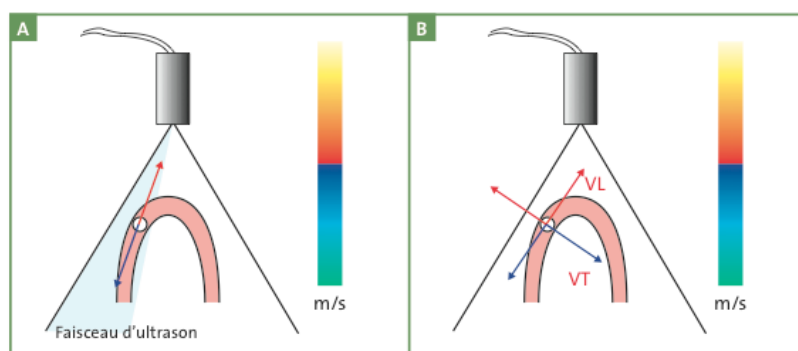
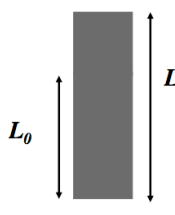


Figure 6 : Indépendance de l’angle de l’imagerie 2D Strain, d’après (14). A : le DTI mesure les composantes de la vitesse longitudinale (VL) en regard du capteur ultra sonore ; B : le 2D Strain mesure l’axe de vitesse dans un plan relatif à l’orientation de la contraction. VT : vitesse transversale.

L'analyse de cette déformation permet également une approche globale du VG (11). En effet, de fortes corrélations ont été observées entre le Strain global longitudinal (GLS) et la fonction ventriculaire gauche avec une bonne reproductibilité (15).

Le Strain est un paramètre sans unité physique représentant la déformation d'un objet par rapport à sa forme initiale.

Il est exprimé en pourcentage de modification par rapport à la dimension de base.



$$\text{Strain} = \Delta L/L_0 = [(L-L_0)/L_0]$$

ΔL représente le changement absolu de longueur, et L_0 la longueur originelle.

Le Strain est défini comme une valeur positive lorsque la distance, mesurée entre 2 points, augmente (allongement), et une valeur négative lors d'un raccourcissement.

Le SR correspond au Strain par unité de temps, ou encore la vitesse à laquelle la déformation survient :

$$\text{SR} = \text{Strain}/\Delta t$$

Il existe une décroissance de la base à l'apex du VG des valeurs de vitesses tissulaires mais aussi du Strain et du SR. Le Tableau 1 résume les valeurs de référence du Strain systolique longitudinal et du SR dans une population saine en fonction de l'âge (16). Les indices de déformations diminuent avec l'âge.

| | Femmes | | Hommes | |
|-----------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| | Strain téléstolique (%) | Pic systolique de SR | Strain téléstolique (%) | Pic systolique de SR |
| < 40 ans | -17,9 % (2,1) | -1,095 ⁻¹ (0,12) | -16,8 % (2,0) | -1,065 ⁻¹ (0,13) |
| 40-60 ans | -17,6 % (2,1) | -1,065 ⁻¹ (0,13) | -18,8 % (2,2) | -1,015 ⁻¹ (0,12) |
| > 60 ans | -15,9 % (2,4) | -0,975 ⁻¹ (0,14) | -15,5 % (2,4) | -0,975 ⁻¹ (0,14) |
| Total | -17,4 % (2,3) | -1,055 ⁻¹ (0,13) | -15,9 % (2,3) | -1,015 ⁻¹ (0,13) |

Tableau 1 : Valeurs normales du Strain systolique longitudinal et du SR en fonction de l'âge et du sexe (16).

Les paramètres de déformation myocardique les plus fréquemment étudiés, en pratique quotidienne, sont le pic de Strain, le pic systolique de Strain et le Strain Rate (13). Le pic de Strain correspond au Strain maximal survenant pendant ou après l'éjection du VG alors que le pic systolique de Strain est le Strain le plus élevé survenant au cours de la phase d'éjection aortique seulement. Le Strain global longitudinal (GLS) correspond à la moyenne du Strain dans les différents segments du VG et il permet une approche rapide de la fonction VG globale. Une valeur normale du GLS est de $-21.5 \pm 2\%$ (16). Les échographes actuels sont équipés d'un logiciel permettant l'analyse de la déformation longitudinale en temps réel alors que la déformation radiale ou circonférentielle ne peut être analysée qu'en post-traitement. Les applications cliniques du 2D Strain sont multiples. Par exemple, cette technique permet de détecter une dysfonction systolique globale infraclinique dans la cardiomyopathie hypertrophique (17) ou l'hypertension artérielle (18).

IV. Déformation myocardique et valvulopathies

De nombreux travaux ont étudié la déformation myocardique dans les valvulopathies. Dans le rétrécissement aortique (RA), il a été mis en évidence une altération du Strain dans les trois directions en dépit d'une FEVG normale. Ces anomalies de la contractilité myocardique étaient réversibles après remplacement de la valve aortique (19). Par ailleurs, chez les patients porteurs d'une IM sévère avec une FEVG conservée, un Strain altéré était prédictif d'une dysfonction VG post opératoire. En cas d'IM « chronique », l'augmentation de la précharge liée à une surcharge volumique entraîne une augmentation de la force contractile, d'après la

loi de Frank et Starling. Le VES est donc ainsi maintenu et la FEVG apparaît normale voire supranormale. A terme, une altération irréversible et silencieuse de la contractilité myocardique peut apparaître, en dépit d'indices échocardiographiques conservés, telle que la FEVG. Les variations de charge peuvent donc masquer une altération de la contractilité, qui ne se révélera qu'après correction valvulaire (20).

Le Strain et le SR sont des indices sensibles, qui peuvent détecter, dans certaines pathologies, des altérations subcliniques. Cependant, ces indices sont également dépendants des conditions de charge.

V. Un nouveau paramètre de contractilité indépendant des conditions de charge

Des auteurs ont démontré une relation étroite entre la déformation myocardique pendant la contraction atriale et le pic systolique de Strain, c'est-à-dire la déformation myocardique pendant la systole ventriculaire (21). Récemment, *Jasaityte et al* ont analysé la relation de la déformation myocardique du VG pendant la systole ventriculaire (Total_S) et pendant la systole atriale (PreS) grâce aux modalités du 2D Strain speckle tracking (22). Cette relation est définie par une pente, ou coefficient directeur, d'une droite d'équation $y = a x + b$. La pente de cette relation apparaissait comme un indice de contractilité indépendant des conditions de charge, alors que PreS et Total_S étaient dépendants des conditions de charge (ces deux paramètres augmentaient à l'augmentation de la précharge). Il mettait en évidence une corrélation linéaire entre ces deux paramètres (PreS / Total_S) en ETT. Dans cette étude, la pente de cette relation entre étirement et raccourcissement des fibres myocardiques augmentait à la perfusion de dobutamine, ne changeait pas suite à une augmentation de la précharge (par un test de lever de jambes passif), et diminuait après administration de chimiothérapie de type anthracyclines (Figure 7). L'ordonnée à l'origine de la relation entre PreS et Total_S était un indice variant en sens inverse de la corrélation PreS et Total_S. Il diminuait à l'administration de dobutamine, ne se modifiait pas non plus au test de lever de jambes et augmentait après chimiothérapie. Cet indice semblait ainsi être le reflet de l'inotropisme du VG indépendamment des conditions de charge (notamment de la précharge).

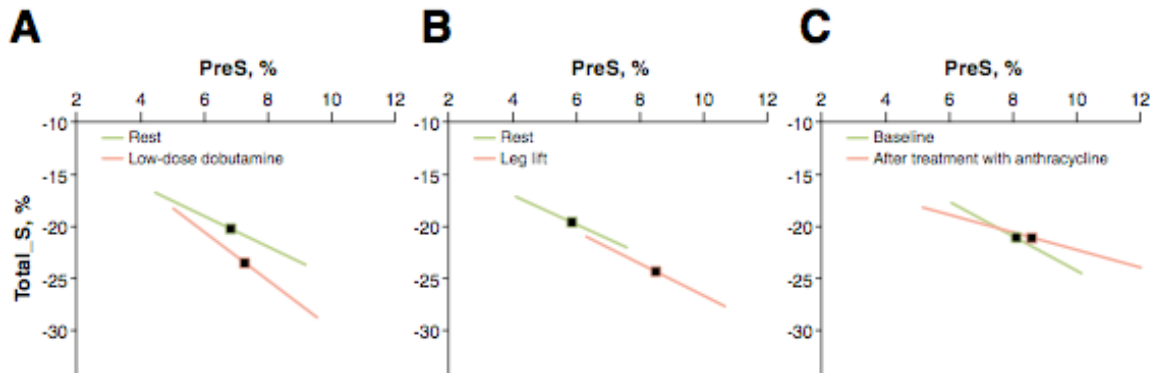


Figure 7 : Représentation de la relation PreS / Total_S. Les lignes vertes correspondent aux mesures au repos et les lignes roses après injection de dobutamine (A), après test de lever de jambes passif (B) et après trois cures de chimiothérapie par anthracyclines. D’après (22).

Un exemple de changements significatifs de la postcharge est la réparation chirurgicale d’un RA serré ou d’une IM sévère. Dans le cas d’un RA serré, la correction chirurgicale permet une diminution conséquente de la postcharge appliquée au VG. Ainsi, en cas de FEVG altérée, cette correction permet généralement une amélioration post opératoire de la FEVG s’il existe une réserve contractile. Dans le cas d’une IM sévère chronique, la postcharge est diminuée et la précharge augmentée, entraînant donc souvent une surestimation de la fonction contractile. La correction chirurgicale d’une IM entraîne donc une augmentation spectaculaire de la postcharge et une diminution de la précharge, avec une baisse conséquente de la FEVG. Il serait donc intéressant d’avoir à disposition un outil de mesure de la contractilité intrinsèque du myocarde, indépendant des conditions de charge, afin de poser, par exemple, une indication opératoire de correction chirurgicale d’IM, avant l’apparition d’une altération subclinique de la contractilité myocardique.

Nous avons donc pensé à étudier la pente de la relation entre la déformation du VG pendant la systole ventriculaire (Total_S) et la systole atriale (PreS) grâce aux modalités du 2D Strain speckle tracking lors de modifications de charges conséquentes que sont les corrections chirurgicales des valvulopathies.

Notre objectif primaire est de montrer que la pente de la relation PreS / Total_S ne se modifie pas après correction chirurgicale de la valvulopathie, contrairement aux autres paramètres échographiques évaluant la fonction systolique.

Nos objectifs secondaires sont d’étudier la faisabilité et la reproductibilité des mesures, ainsi que d’étudier la corrélation de cette pente avec les paramètres classiques de fonction systolique du VG.

MATERIELS ET METHODES

I. Type d'étude

Cette étude a été menée de façon prospective chez des patients issus du service de Chirurgie Cardiaque et Vasculaire du Dr KOUSSA au CHRU de Lille. L'inclusion des patients a été effectuée entre juin 2013 et juillet 2014.

II. Population étudiée

Les critères d'inclusion étaient :

- les patients porteurs d'un RA serré ou d'une IM sévère avec une indication de remplacement valvulaire selon les recommandations européennes de 2012 (2).

Les critères d'exclusion étaient:

- les patients poly-valvulaires
- l'existence d'une insuffisance aortique (au moins de grade 2) ou un rétrécissement mitral associé.
- un antécédent de chirurgie cardiaque, un antécédent d'infarctus du myocarde transmural ou des signes de séquelles d'infarctus à l'ETT.
- une fibrillation atriale (FA) pré ou post opératoire.

L'indication de remplacement ou de réparation valvulaire a été posée par une équipe pluri disciplinaire de cardiologues et de chirurgiens cardiaques.

III. Recueil de données

A. Données épidémiologiques et cliniques

Les données recueillies étaient :

Les facteurs de risque cardio-vasculaire

- l'âge
- le sexe
- l'indice de masse corporelle (IMC) défini par le rapport du poids sur la taille au carré
- l'hypertension artérielle (HTA) définie par des chiffres tensionnels supérieurs à 140/90 mmHg ou par l'existence d'un traitement anti-hypertenseur
- un diabète de type 2 défini par deux glycémies à jeun supérieures à 1,26 g/l ou la prise d'un traitement anti-diabétique
- le tabagisme actif ou sevré depuis moins de 3 ans

Les comorbidités cardio-vasculaires

- une coronaropathie
- des sténoses artérielles périphériques (artériopathie oblitérante des membres inférieurs (AOMI) ou sténose carotidienne significative)
- une broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO)

Les données cliniques pré opératoires

- le stade de la dyspnée selon la classification de la New York Heart Association (NYHA)
- le mécanisme de la valvulopathie
- les scores de mortalité opératoire (Euroscore 1 et 2, Surgeons of Thoracic Society (STS) score)

Les thérapeutiques

Les données biologiques pré opératoires

- la créatininémie et le calcul de sa clairance selon la formule de Cockcroft et Gault et selon le MDRD (Modification of the Diet in Renal Disease)
- l'hémoglobine glyquée (HbA1C)
- le bilan lipidique

Les données opératoires

- la durée de la mise sous circulation extra corporelle (CEC)
- la durée du clampage aortique

Les données post opératoires

- la durée d'hospitalisation
- la survenue post opératoire d'un accident vasculaire cérébral (AVC)
- la survenue d'une infection post opératoire
- la nécessité d'une reprise chirurgicale
- le recours à des amines (dobutamine et noradrénaline)
- le dosage des troponines hypersensibles à J2 post opératoire

B. Données standards échocardiographiques

Chaque patient a bénéficié d'une ETT pré opératoire la veille de l'intervention et d'une ETT entre le 5^{ème} jour et le 7^{ème} jour post opératoire sur un échographe General Electric (VIVID 7 ou VIVID 9, GE Healthcare, Little Chalfont, UK). Toutes les données échocardiographiques, réalisées au repos, en décubitus latéral gauche, étaient obtenues dans un format digital et stockées pour une analyse off-line. Elles ont été moyennées sur 3 cycles cardiaques. L'ETT était réalisée selon les méthodes standards des recommandations de l'American Society of Echocardiography (ASE) (23). Les données mesurées étaient :

- les volumes télé diastolique et télé systolique du VG
- la FEVG par la méthode modifiée de Simpson Biplan
- les diamètres télé systolique et télé diastolique du VG
- la masse du VG
- le volume de l'oreillette gauche
- la fonction diastolique du VG par étude du flux mitral en doppler pulsé avec mesure des vitesses de l'onde E, de l'onde A, du temps de décélération de l'onde E, du rapport E/A.

- les mesures du doppler tissulaire des anneaux mitral et tricuspide
- la vitesse maximale de l'insuffisance tricuspide ($V_{max IT}$) et la pression artérielle pulmonaire systolique (PAPS)

C. Le 2D Strain speckle tracking

Un enregistrement de 3 cycles cardiaques était effectué à une cadence image supérieure à 60 par secondes en coupe apicale 2D, 4 cavités, 3 cavités et 2 cavités, afin de mettre en évidence six parois du VG (inféro-septale, antéro-latérale, antérieure, inférieure, inféro-latérale, et antéro-septale) pour la mesure de la déformation myocardique. Seuls les segments avec un tracking visuel optimal des marqueurs acoustiques ont été acceptés. La mesure non invasive de la pression artérielle brachiale était effectuée à chaque acquisition échocardiographique.

Le système de travail EchoPac (V12.0.0 GE Medical System) permettait le traitement à posteriori des boucles échocardiographiques avec analyse 2D et utilisation des modalités du 2D Strain speckle tracking. Le début de l'onde P sur l'électrocardiogramme, indiquant le début de la contraction auriculaire, au lieu du début du complexe QRS, a été choisi comme point de référence zéro pour la déformation. Le tracé de l'endocarde était effectué manuellement puis le tracking des marqueurs acoustiques était obtenu automatiquement par le logiciel et pouvait être corrigé par la suite. Les segments où le suivi n'était pas correct ont été exclus de l'analyse. A partir des courbes représentant la déformation segmentaire du myocarde, l'étirement ou le stretch (PreS) du myocarde du VG, lors de la contraction auriculaire, a été mesuré sur le pic de Strain positif (%) au niveau de l'onde P sur le tracé échocardiographique (Figure 8). Le pic systolique total (Total_S) a été défini comme étant le raccourcissement du segment myocardique du VG (%) lors de la contraction ventriculaire (c'est à dire, la différence de déformation myocardique entre la fin de la diastole ventriculaire et la valeur maximale de déformation en fin de systole).

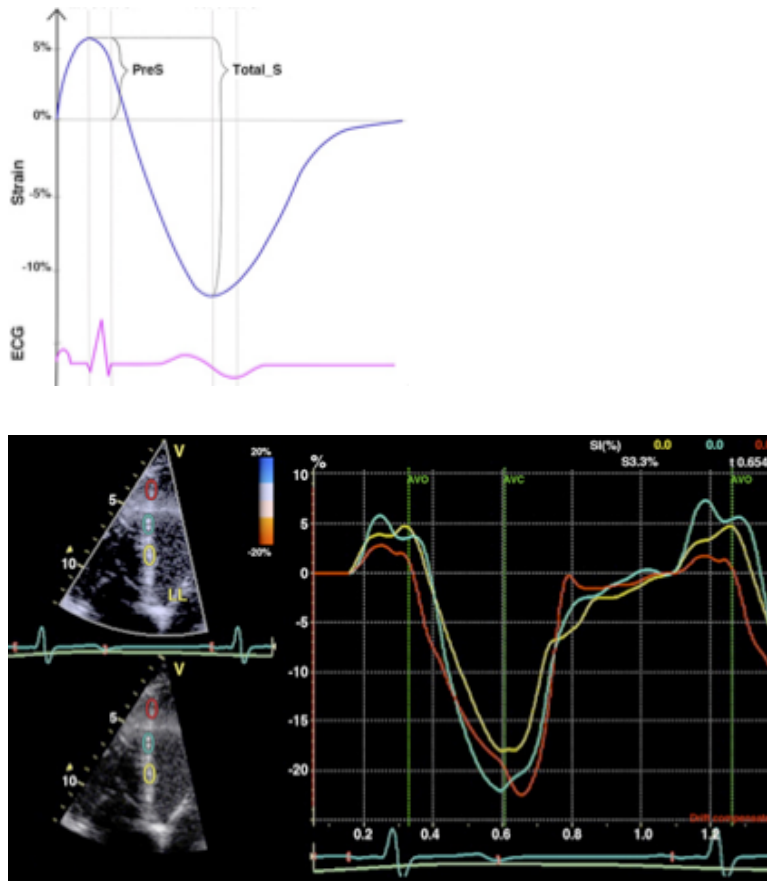


Figure 8 : Représentation schématique et un exemple de la courbe de déformation myocardique du VG pendant la contraction atriale et la systole ventriculaire, ainsi que les mesures réalisées. D’après (22).

Enfin, pour obtenir la pente de la relation entre PreS et Total_S, une droite de régression linéaire est réalisée avec, pour abscisse les valeurs du Total_S des 18 segments myocardiques et, en ordonnée, les valeurs de PreS des segments correspondants. Ce modèle a été effectué pour chaque patient lors de l’ETT pré et post opératoire.

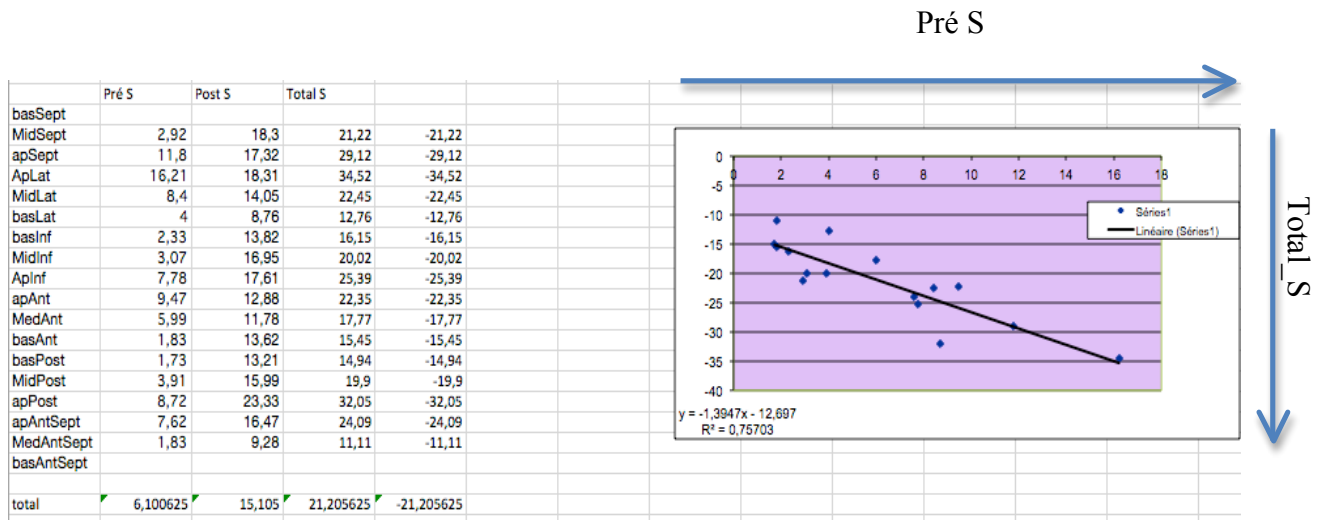


Figure 9 : Exemple de la réalisation de la droite de la relation PréS et Total_S tracée à partir des valeurs de chaque segment du VG, avec le logiciel Excel.

Afin de tester la reproductibilité intra observateur de cette technique, 10 patients (soit un quart de notre population), pris au hasard dans la cohorte ont été analysés à deux reprises par un même opérateur à plusieurs semaines d'intervalle. Les premières mesures de cet opérateur ont été également comparées aux mesures d'un deuxième opérateur pour tester la variabilité inter observateur.

IV. Analyse statistique

Les variables continues avec distribution gaussienne étaient exprimées sous forme de moyenne +/- déviation standard et les variables qualitatives en nombre et en pourcentage.

La reproductibilité inter observateur a été calculée comme une erreur moyenne entre deux mesures répétées par la méthode de Bland Altman. La variabilité intra et inter observateur a été calculée comme la différence absolue divisée par la moyenne des deux mesures effectuées par le premier opérateur et deux mesures faites par deux opérateurs différents.

Les analyses binaires pour les variables continues avec distribution normale ont été réalisées en utilisant le test t de Student en cas de comparaison de deux groupes, et avec une analyse appariée pour des mesures répétées. L'analyse bivariée de variables qualitatives entre le groupe RA et IM a été réalisée avec le test exact de Fisher ou le test du Chi2. L'analyse de corrélation de Pearson a été employée pour tester la corrélation des paramètres de déformation avec les paramètres classiques de fonction systolique du VG. Une valeur de $p < 0,05$ était considérée comme statistiquement significative. L'analyse statistique et les graphiques ont été réalisés avec les logiciels SPSS 18.0 (IBM Software) et GraphPad Prism version 6.0d. Les résultats ont été vérifiés par l'équipe d'unité de Biostatistiques du CHRU de Lille.

RESULTATS

I. Caractéristiques pré opératoires des patients

Dans cette étude, 43 patients ont été inclus. L'âge moyen était de $66 \pm 12,6$ ans. Les hommes représentaient 65% de la population. Trente et un patients (72%) ont été opérés pour un RA et 12 patients (28%) ont été opérés pour une IM.

Un pontage aorto-coronaire était associé chez 12 patients (28%). Une atteinte dégénérative des sténoses aortiques était notée chez 21 patients (67,7%) et une bicuspidie était présente chez 10 patients (32,3%). Une IM par prolapsus était retrouvée chez 10 patients (83,3%), un patient (8,3%) était porteur une IM d'origine rhumatismale et un patient (8,3%) présentait une IM fonctionnelle d'origine ischémique (Figure 10).

Trente patients (96,8%) ont bénéficié d'un remplacement valvulaire aortique (24 prothèses biologiques [77,4%] et 6 prothèses mécaniques [19,4%]) et 1 patient (3,2%) a bénéficié d'une plastie aortique.

Sept patients (58,3%) porteurs d'une IM ont bénéficié d'une réparation valvulaire et 5 patients (41,7%) de l'implantation d'une prothèse biologique (Figure 11).

Seulement une plastie tricuspide (8.3%) était associée à un geste de réparation mitrale.

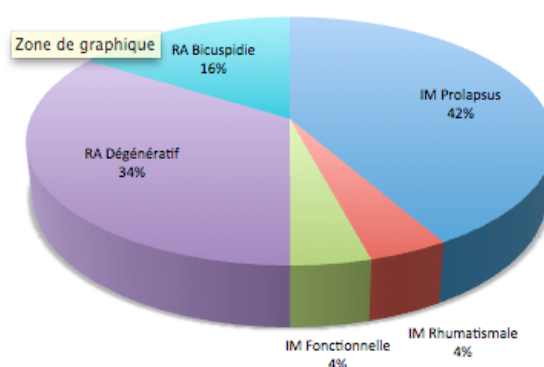


Figure 10 : Etiologies des RA et des IM sur l'ensemble de la population étudiée en pourcentage.

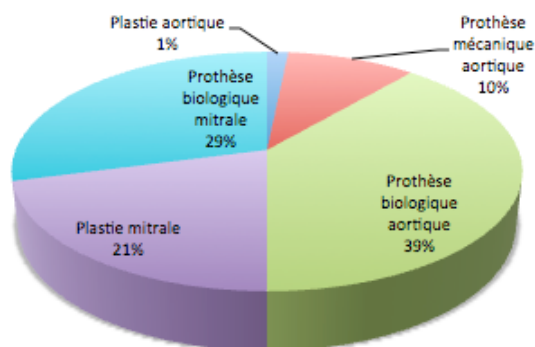


Figure 11 : Types de correction chirurgicale des RA et des IM sur l'ensemble de la population étudiée en pourcentage.

Les données cliniques et biologiques pré opératoires sont résumées dans le tableau 2.

| | Tous les patients (n=43) | Type de valvulopathie | | p | |
|---|--------------------------|--------------------------------|-----------------------------|------------|-----------|
| | | Rétrécissement aortique (n=31) | Insuffisance mitrale (n=12) | | |
| Données cliniques et biologiques à l'admission | | | | | |
| Age (ans) | 66,7 ± 12,8 | 68,9 ± 9,4 | 61 ± 18,3 | 0,0702 | |
| Sexe | | | | 0,1638 | |
| | Femme | 15 (35%) | 13 (42%) | | 2 (16,7%) |
| | Homme | 28 (65%) | 18 (58%) | 10 (83,3%) | |
| IMC (kg/m2) | 27,3 ± 5,6 | 28,2 ± 6 | 25,4 ± 3,7 | 0,1418 | |
| NYHA | | | | 0,6983 | |
| | I | 3 (7%) | 2 (6,5%) | | 1 (8,3%) |
| | II | 25 (58%) | 17 (54,8%) | | 8 (66,7%) |
| | III | 15 (35%) | 12 (38,7%) | 3 (25%) | |
| PAS (mmHg) | 133,5 ± 15,2 | 134,5 ± 15,3 | 131 ± 15,3 | 0,4939 | |
| PAD (mmHg) | 77,4 ± 11,4 | 78 ± 11,7 | 76 ± 11 | 0,535 | |
| FC (bpm) | 73,6 ± 11,6 | 73,4 ± 11,5 | 74 ± 12,3 | 0,5399 | |
| HTA | 22 (51,2%) | 18 (58%) | 4 (33,3%) | 0,1854 | |
| Diabète type 2 | 13 (30,2%) | 13 (42%) | 0 (0%) | 0,0081 | |
| Tabagisme | 15 (35%) | 9 (29%) | 6 (50%) | 0,2867 | |
| Sténose des artères périphériques | 11 (25,6%) | 10 (32,3%) | 1 (8,3%) | 0,1297 | |
| Coronaropathie | 13 (30,2%) | 11 (35%) | 2 (16,7%) | 0,2896 | |

| | | | | |
|-----------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------|--------|
| BPCO | 7 (16,3%) | 7 (22,6%) | 0 (0%) | 0,163 |
| FA | 2 (4,7%) | 1 (3,2%) | 1 (8,3%) | 0,485 |
| Diurétiques de l'anse | 29 (67,4%) | 22 (71%) | 7 (58,3%) | 0,4822 |
| Béta bloquants | 9 (23%) | 7 (22,6%) | 2 (16,7%) | 0,6983 |
| IEC | 21 (48,8%) | 13 (42%) | 8 (66,7%) | 0,1854 |
| ARA 2 | 7 (16,3%) | 6 (19,4%) | 1 (8,3%) | 0,652 |
| Anti aldostérone | 6 (14%) | 3 (9,7%) | 3 (25%) | 0,3249 |
| Statines | 21 (48,8%) | 16 (51,6%) | 5 (41,7%) | 0,736 |
| Euroscore 1 (%) | 7 \pm 5,5 | 7,8 \pm 5,5 | 5 \pm 5 | 0,1387 |
| Euroscore 2 (%) | 2,1 \pm 1,7 | 2,2 \pm 1,7 | 1,9 \pm 1,6 | 0,5805 |
| STS score (%) | 7,7 \pm 5,4 | 7,9 \pm 5 | 5,3 \pm 6 | 0,1675 |
| Créatininémie (mg/L) | 9,8 \pm 2,8 | 9,3 \pm 2,6 | 11,3 \pm 3 | 0,6423 |
| Clairance selon Cockroft (mL/min) | 74,3 \pm 26,6 | 72,9 \pm 24,3 | 77,9 \pm 32,8 | 0,5882 |
| Clairance selon MDRD (mL/L) | 90 \pm 64,3 | 82,1 \pm 21,6 | 110,4 \pm 117,9 | 0,1995 |
| HbA1c (%) | 6 \pm 1 | 6,2 \pm 1 | 5,2 \pm 0,1 | 0,9438 |
| Cholestérol total (g/L) | 1,8 \pm 0,4 | 1,8 \pm 0,5 | 1,7 \pm 0,3 | 0,5853 |
| LDL cholestérol (g/L) | 1 \pm 0,4 | 1 \pm 0,4 | 1,1 \pm 0,4 | 0,8261 |
| HDL cholestérol (g/L) | 0,5 \pm 0,1 | 0,5 \pm 0,5 | 0,5 \pm 0,2 | 0,0852 |
| Triglycérides (g/L) | 1,2 \pm 0,6 | 1,3 \pm 0,4 | 0,8 \pm 0,2 | 0,1392 |

Tableau 2: Caractéristiques cliniques et biologiques des patients inclus. Les valeurs sont exprimées en nombre (pourcentage) ou moyenne +/- déviation standard. IMC=indice de masse corporelle ; NYHA=New York Heart Association, HTA=hypertension artérielle ; BPCO=broncho pneumopathie chronique obstructive ; FA=fibrillation atriale, IEC=inhibiteurs de l'enzyme de conversion ; ARA2=antagonistes du récepteur de l'angiotensine 2 ; MDRD=Modification of the Diet in Renal Disease ; HbA1C=hémoglobine glyquée.

II. Reproductibilité des mesures de déformation myocardique

A. Faisabilité

Le nombre total de segments analysés était de 77% (1 191 / 1 548). La faisabilité était de 76,2% pour les RA et de 78,7% pour les IM. Elle était de 81,8% sur les boucles échographiques pré opératoires et de 72% en post opératoire.

En pré opératoire, la paroi la plus faisable était la paroi septale (87,6%) puis la paroi inféro-latérale (86,8%) et la paroi la moins faisable était la paroi antéro-septale (69,8%).

En post opératoire, la paroi la plus faisable était la paroi septale (86%) et la moins faisable la paroi antérieure (65%) (Tableau 3).

| | <i>Pré opératoire</i> (n = 774) | <i>Post opératoire</i> (n = 774) |
|-----------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| Coupe 3 cavités | | |
| Paroi inféro-latérale | 86,8% (112/129) | 66% (85/129) |
| Paroi antéro-septale | 69,8% (90/129) | 69% (89/129) |
| Coupe 4 cavités | | |
| Paroi septale | 87,6% (113/129) | 86% (111/129) |
| Paroi antéro-latérale | 83,7% (108/129) | 67,4% (87/129) |
| Coupe 2 cavités | | |
| Paroi inférieure | 83,7% (108/129) | 80% (102/129) |
| Paroi antérieure | 78,3% (101/129) | 65% (84/129) |

Tableau 3 : Faisabilité des mesures de déformation myocardique pour l'ensemble des patients en fonction des parois du VG. Les valeurs sont exprimées en pourcentage (nombre de segments analysés/nombre de segments totaux).

B. Reproductibilité intra et inter observateur

Nous avons testé la variabilité inter et intra observateur des paramètres de déformation myocardique (PreS, Total_S, pente de la relation PreS / Total_S et ordonnée à l'origine) et la corrélation entre deux mesures effectuées par deux opérateurs sur 10 patients de notre cohorte pris au hasard. Nous avons également comparé ces paramètres mesurés par le même opérateur relevés à plusieurs semaines d'intervalle sur ces 10 patients. La variabilité intra observateur pour le PreS, le Total_S, la pente et l'ordonnée à l'origine, en pré opératoire, était respectivement de 4,1%, 4%, 13,4% et 10,9%. La variabilité inter observateur était, pour les mêmes paramètres, respectivement de 4,9%, 10,1%, 14,9% et 22,7%.

L'analyse de Bland-Altman montrait des limites de concordance supérieure et inférieure pour le PreS, le Total_S, la pente et l'ordonnée à l'origine pré opératoires de -3 à 2,1 ; -7 à 9,3 ; -2,6 à 1,1 et 7 à 9,5 pour la variabilité intra observateur et de -2,6 à 1,9 ; -11,4 à 6,7 ; -1,9 à 1,3 et -10,9 à 14,6 pour la variabilité inter observateur.

Ces résultats sont résumés dans le tableau 4.

| | <i>Pré S</i> | <i>Total_S</i> | <i>Pente</i> | <i>Ordonnée à l'origine</i> |
|---|--------------|----------------|--------------|-----------------------------|
| <u>Reproductibilité intra observateur</u> | | | | |
| <i>Différence ± DS</i> | 0,42 ± 1,3 | 1,2 ± 4,2 | 0,74 ± 0,94 | 1,2 ± 4,2 |
| <i>95% IC</i> | -3 ; 2,1 | -7 ; 9,3 | -2,6 ; 1,1 | 7 ; 9,5 |
| <i>Variabilité (%)</i> | 4,08 | 4,03 | 13,4 | 10,91 |
| <u>Reproductibilité inter observateur</u> | | | | |
| <i>Différence ± DS</i> | 0,39 ± 1,1 | 2,34 ± 4,62 | 0,27 ± 0,83 | 1,84 ± 6,52 |
| <i>95% IC</i> | -2,6 ; 1,9 | -11,4 ; 6,7 | -1,9 ; 1,3 | -10,9 ; 14,6 |
| <i>Variabilité (%)</i> | 4,95 | 10,11 | 14,88 | 22,72 |

Tableau 4 : Variabilité inter et intra observateur des paramètres pré opératoires de déformation sur un échantillon aléatoire de 10 patients. DS : déviation standard ; 95% IC : intervalle de confiance à 95%.

Les Figures 12 et 13 représentent respectivement la variabilité intra et inter observateur selon la méthode de Bland-Altman.

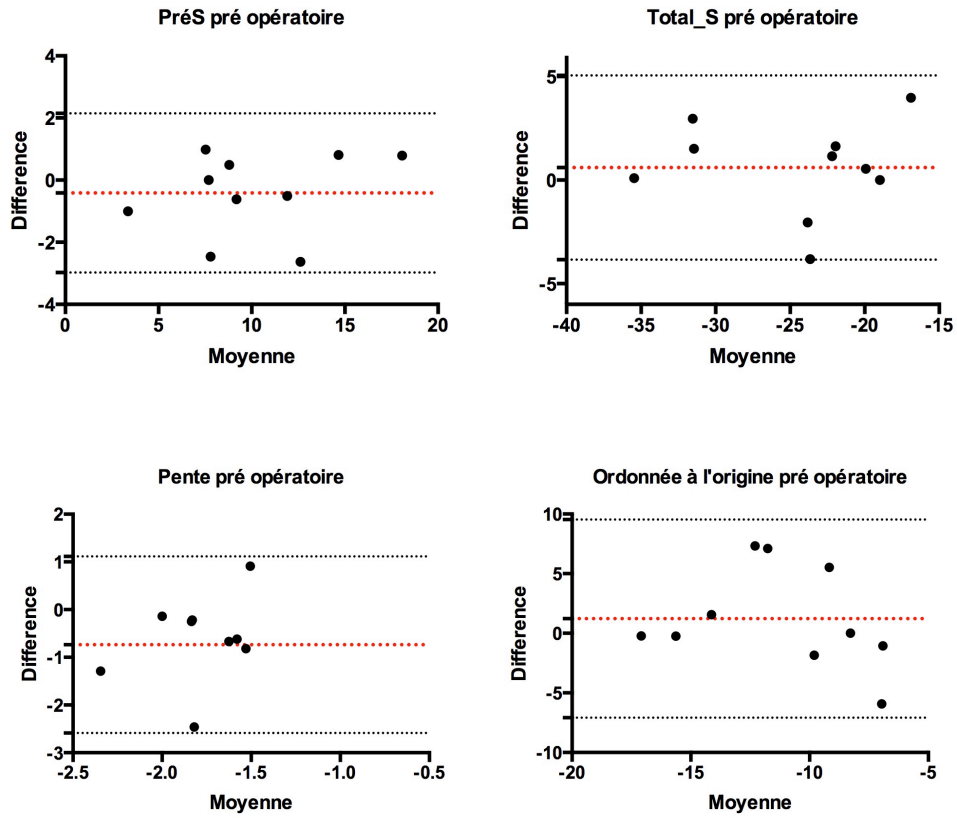
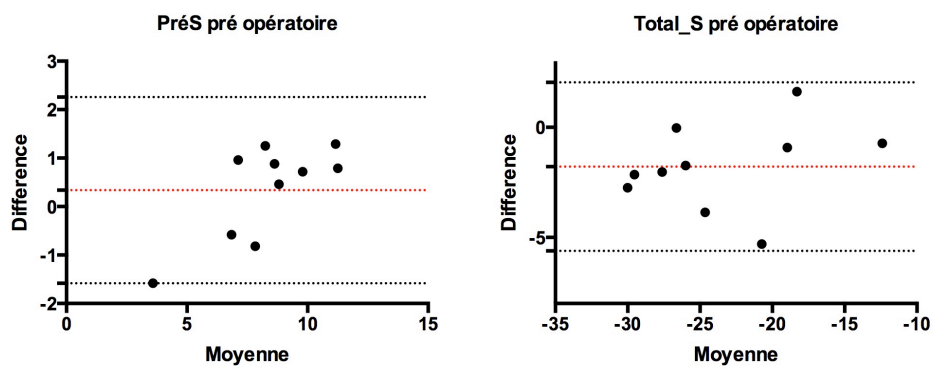


Figure 12 : Reproductibilité intra observateur: les figures représentent la variabilité des mesures selon la méthode de Bland-Altman.



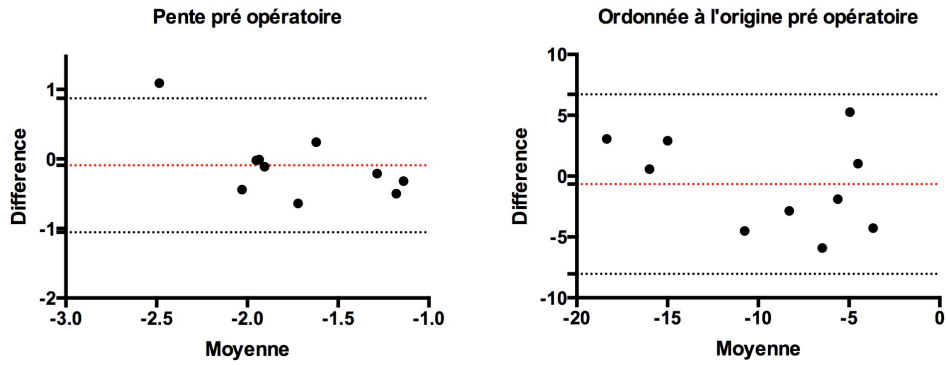


Figure 13 : Reproductibilité inter observateur entre deux opérateurs : les figures représentent la variabilité des mesures selon la méthode de Bland-Altman.

III. Caractéristiques opératoires et post opératoires

Les données opératoires et post opératoires de l'ensemble des patients, des patients porteurs de RA et d'une IM sont résumées dans le tableau 5. La comparaison des valeurs échographiques pré et post opératoires des RA et des IM est visualisée dans les tableaux 6 et 7 respectivement.

| | Tous les patients (n=43) | Type de valvulopathie | | p |
|--|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------------|---|
| | | Rétrécissement aortique (n= 31) | Insuffisance mitrale (n=12) | |

Données cliniques et biologiques opératoires et post-opératoires

| | | | | |
|------------------------------------|--------------|-------------|-----------------|---------|
| Pontage aorto-coronaire | 12 (28%) | 10 (32,3%) | 2 (16,7%) | 0,4563 |
| Durée CEC (min) | 112,5 ± 44,8 | 96 ± 30,6 | 155,3 ± 48,5 | <0,0001 |
| Durée clampage aortique (min) | 88,5 ± 37,7 | 78,6 ± 27,6 | 114 ± 48,7 | 0,0045 |
| Recours aux amines | 6 (14%) | 4 (13%) | 2 (16,7%) | 1 |
| Intubation > 48h | 4 (9,3%) | 2 (6,5%) | 2 (16,7%) | 0,3080 |
| Survenue d'un AVC | 1 (2,3%) | 0 (0%) | 1 (8,3%) | 0,2791 |
| Survenue d'une infection | 15 (34,9%) | 12 (8,7%) | 3 (25%) | 0,4916 |
| Reprise chirurgicale | 9 (21%) | 8 (25,8%) | 1 (8,3%) | 0,405 |
| FA post opératoire | 12 (28%) | 9 (29%) | 3 (25%) | 1 |
| Durée d'hospitalisation (j) | 13,4 ± 6,3 | 14,1 ± 7,2 | 11,8 ± 2,1 | 0,3034 |
| Troponines Hs à J2 post op (ng/ml) | 920 ± 1123,7 | 613 ± 744 | 1 664 ± 1 526,7 | 0,0049 |

Tableau 5 : Caractéristiques cliniques et biologiques opératoires et post opératoires. Les valeurs sont exprimées en nombre (pourcentage) ou moyenne +/- déviation standard. CEC=circulation extra corporelle ; AVC=accident vasculaire cérébral ; FA=fibrillation atriale ; Hs : hypersensibles.

| RA | Pré opératoire | Post opératoire | p |
|---------------------------------------|----------------|-----------------|--------|
| DTDVG (mm) | 49,7 ± 5,6 | 48 ± 9,3 | 0,658 |
| VTDVG (ml) | 115,4 ± 35,1 | 102 ± 28,9 | 0,013 |
| DTSVG (mm) | 40 ± 5,8 | 38,2 ± 7,7 | 0,788 |
| VTSVG (ml) | 49,5 ± 24,2 | 42,4 ± 18,4 | 0,017 |
| Volume OG indexé (ml/m ²) | 37,5 ± 14,1 | 44,7 ± 12,7 | 0,012 |
| Masse VG indexée (g/m ²) | 131,3 ± 34,3 | 122,7 ± 49,6 | 0,301 |
| Onde E mitrale (cm/s) | 0,8 ± 0,3 | 1 ± 0,3 | 0,0005 |

| | | | |
|---|-------------|--------------|----------|
| Onde A mitrale (cm/s) | 1 ± 0,4 | 0,8 ± 0,3 | 0,001 |
| Rapport E/A | 1 ± 0,5 | 1,3 ± 0,6 | 0,0015 |
| TDM (ms) | 243 ± 87,3 | 213,3 ± 69,4 | 0,0521 |
| Ea moyennée (cm/s) | 7,5 ± 1,8 | 8 ± 1,8 | 0,246 |
| Aa moyennée (cm/s) | 9,4 ± 2,7 | 8,1 ± 2,3 | 0,002 |
| Diamètre du VD (mm) | 29,8 ± 4,3 | 29 ± 4,3 | 0,723 |
| TAPSE (mm) | 22,3 ± 4,5 | 12,7 ± 3,3 | < 0,0001 |
| Onde S tricuspide (cm/s) | 12,6 ± 2,9 | 7,5 ± 1,7 | < 0,0001 |
| Vmax IT (cm/s) | 2,6 ± 0,4 | 2,7 ± 0,4 | 0,979 |
| PAPS (mmHg) | 33 ± 7,7 | 37 ± 8,5 | 0,97 |
| Impédance ventriculo-artérielle (mmHg/ml/m ²) | 3 ± 0,8 | 2,6 ± 1,1 | 0,117 |
| FEVG (%) | 57,9 ± 9,6 | 59,8 ± 9,8 | 0,122 |
| FEVG > 50% | 29 (93,5%) | 29 (93,5%) | |
| Sa moyenné (cm/s) | 6,7 ± 1,6 | 7,3 ± 2,2 | 0,329 |
| GLS (%) | -13,7 ± 3,4 | -12,7 ± 3,8 | 0,388 |
| PreS (%) | 9,7 ± 2,8 | 9,1 ± 3,7 | 0,43 |
| Total_S (%) | -24,1 ± 7,3 | -24,8 ± 6,2 | 0,461 |
| <i>Relation PreS / Total S</i> | | | |
| -Pente de la droite | -1,7 ± 0,7 | -1,5 ± 0,6 | 0,232 |
| -Ordonnée à l'origine | -7,3 ± 6,1 | -10,4 ± 5,4 | 0,067 |

Tableau 6 : Données échographiques des patients porteurs d'un RA. Les valeurs sont exprimées en nombre (pourcentage) ou moyenne +/- déviation standard. DTDVG=diamètre télé diastolique du ventricule gauche ; DTSVG=diamètre télé systolique du ventricule gauche, VTDVG=volume télé diastolique du ventricule gauche ; VTSVG=volume télé systolique du ventricule gauche ; OG=oreillette gauche ; VG=ventricule gauche ; FEVG=fraction d'éjection ventriculaire gauche ; TDM=temps de décélération mitrale ; Ea=onde E à l'anneau mitral en DTI ; Aa=onde A à l'anneau mitral en DTI ; VD=ventricule droit, IT=insuffisance tricuspide ; TAPSE=excursion systolique du plan de l'anneau tricuspide ; Sa= onde S à l'anneau mitral en DTI ; GLS=Strain global longitudinal.

| IM | Pré opératoire | Post opératoire | p |
|--|----------------|-----------------|----------|
| DTDVG (mm) | 56,1 ± 5,4 | 48,6 ± 14,6 | 0,148 |
| VTDVDG (ml) | 146,2 ± 43,1 | 121,7 ± 46,3 | 0,055 |
| DTSVG (mm) | 41,2 ± 8,7 | 40,8 ± 10,2 | 0,222 |
| VTSVG (ml) | 54,4 ± 35,3 | 69,3 ± 38,4 | 0,016 |
| Volume OG indexé (ml/m ²) | 55,9 ± 12,7 | 41,7 ± 12,3 | 0,023 |
| Masse VG indexée (g/m ²) | 117,8 ± 39 | 114 ± 41,3 | 0,6131 |
| Onde E mitrale (cm/s) | 1,2 ± 0,4 | 1,3 ± 0,3 | 0,722 |
| Onde A mitrale (cm/s) | 0,7 ± 0,4 | 1 ± 0,4 | 0,121 |
| Rapport E/A | 2 ± 0,6 | 1,4 ± 0,4 | 0,016 |
| TDM (ms) | 166,4 ± 76,6 | 248,4 ± 72,3 | 0,054 |
| Ea moyennée (cm/s) | 11,3 ± 3,7 | 7,2 ± 1,3 | 0,043 |
| Aa moyennée (cm/s) | 8,8 ± 3,7 | 5,8 ± 1,6 | 0,244 |
| Diamètre du VD (mm) | 31,3 ± 7,1 | 30 ± 4,6 | 0,69 |
| TAPSE (mm) | 22,5 ± 4,3 | 13,2 ± 3,6 | < 0,0001 |
| Onde S tricuspide (cm/sec) | 13 ± 4,0 | 8,8 ± 2,7 | 0,021 |
| Vmax IT (cm/s) | 2,8 ± 0,3 | 2,1 ± 0,3 | 0,003 |
| PAPS (mmHg) | 38,9 ± 7,8 | 25 ± 4,9 | 0,003 |
| FEVG (%) | 64,2 ± 12,3 | 45,1 ± 11,7 | < 0,0001 |
| FEVG > 60% | 10 (83,3%) | 2 (16,7%) | |
| Sa moyenné (cm/s) | 8,9 ± 3 | 5,6 ± 0,8 | 0,057 |
| GLS (%) | -18 ± 4,9 | -9,7 ± 2 | 0,022 |
| PreS (%) | 9,1 ± 4,8 | 6,7 ± 2,5 | 0,146 |
| Total_S (%) | -27,3 ± 9,6 | -19,8 ± 3,5 | 0,012 |
| <i>Relation PreS / Total S</i> | | | |
| -Pente de la droite | -1,7 ± 0,7 | -1,1 ± 0,6 | 0,057 |
| -Ordonnée à l'origine | -13 ± 5,6 | -11,4 ± 5,3 | 0,513 |

Tableau 7 : Données échographiques des patients porteurs d'une IM. Les valeurs sont exprimées en nombre (pourcentage) ou moyenne +/- déviation standard.

IV. Analyse des paramètres échographiques

A. Rétrécissement aortique

1. Evolution de la déformation myocardique

Le PreS et le Total_S ne changeaient pas de manière significative après chirurgie chez les patients porteurs d'un RA (respectivement $9,7 \pm 2,8\%$ vs $9,1 \pm 3,7\%$; $p = 0,43$ et $-24,1 \pm 7,3\%$ vs $-24,8 \pm 6,2\%$; $p = 0,46$).

La pente de la relation PreS / Total_S chez les patients atteints d'un RA ne changeait pas significativement après chirurgie ($-1,7 \pm 0,7$ vs $-1,5 \pm 0,6$; $p = 0,23$). De la même manière, l'ordonnée à l'origine ne se modifiait pas de façon significative en post opératoire ($-7,3 \pm 6,1$ vs $-10,4 \pm 5,4$; $p = 0,07$) (Figure 14).

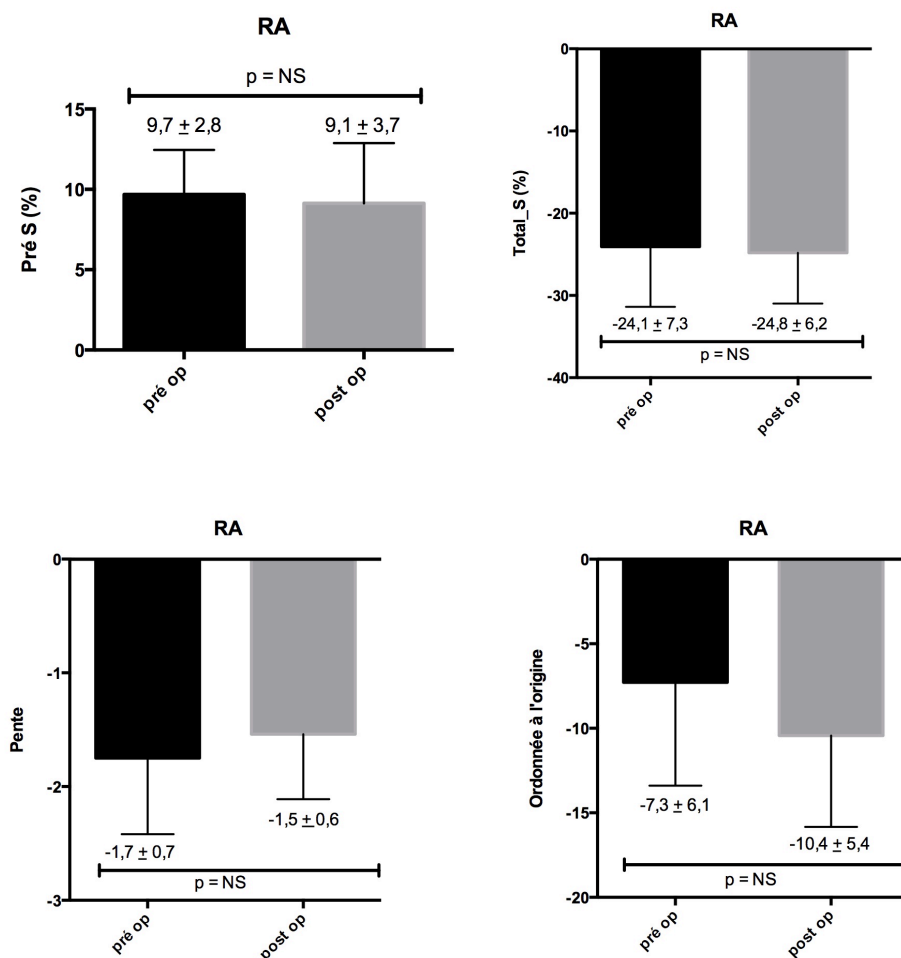


Figure 14 : Comparaison du PreS, du Total_S, de la pente et de l'ordonnée à l'origine de la relation PreS/ Total_S avant et après chirurgie valvulaire aortique. *Pré op=pré opératoire, post op=post opératoire.*

2. Corrélation entre PreS et Total_S

Le PreS et le Total_S, que ce soit en pré ou post opératoire, étaient corrélés de façon significative (coefficients de corrélation de Pearson respectivement de - 0,81 et - 0,73 ; $p < 0,0001$) (Figure 15).

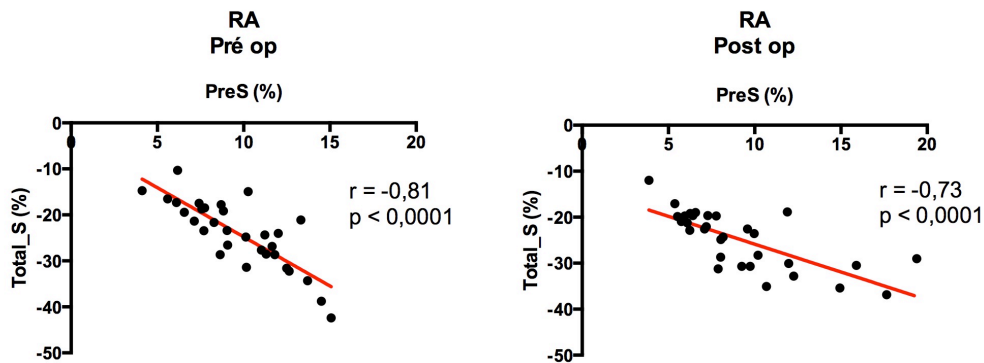
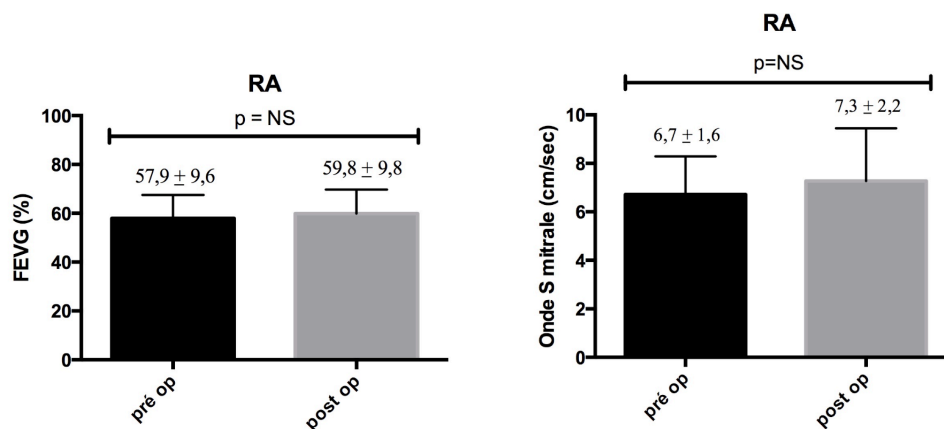


Figure 15 : Corrélation de PreS et Total_S en pré et post opératoire chez les patients atteints d'un RA. *Pré op*=pré opératoire, *post op*=post opératoire.

3. Evolution des paramètres standards échographiques

La correction chirurgicale des RA n'entraînait pas de changement significatif de la FEVG ($57,9 \pm 9,6\%$ vs $59,8 \pm 9,8\%$; $p = 0,12$), de l'onde S moyennée à l'anneau mitral ($6,7 \pm 1,6$ cm/s vs $7,3 \pm 2,2$ cm/s ; $p = 0,33$) et du GLS ($-13,7 \pm 3,4\%$ vs $-12,7 \pm 3,8\%$; $p = 0,44$) (Figure 16).



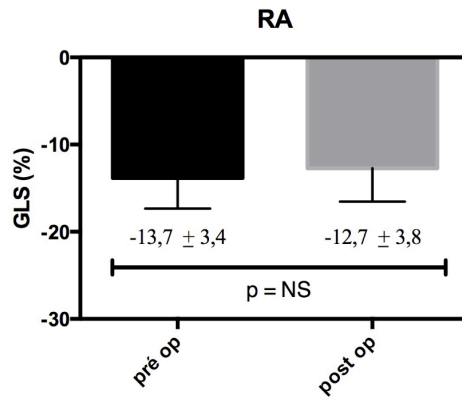


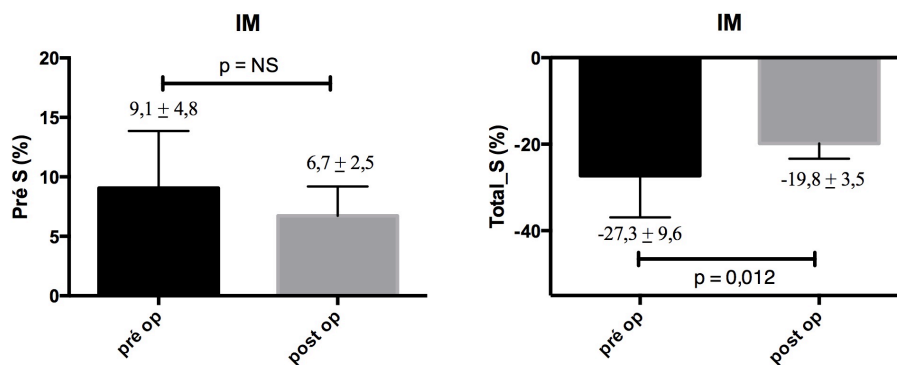
Figure 16 : Comparaison de la FEVG, de l’onde S moyennée de l’anneau mitral et du GLS avant et après chirurgie valvulaire aortique.

B. Insuffisance mitrale

1. Evolution de la déformation myocardique

Le PreS ne se modifiait pas de façon significative après chirurgie mitrale ($9,1 \pm 4,8\%$ vs $6,7 \pm 2,5\%$; $p = 0,15$). Par contre, on observait une diminution significative du Total_S en post opératoire dans cette population ($-27,3 \pm 9,6\%$ vs $-19,8 \pm 3,5\%$; $p = 0,012$).

La pente de la relation PreS / Total_S ne changeait pas significativement après chirurgie valvulaire mitrale ($-1,7 \pm 0,7$ vs $-1,1 \pm 0,6$; $p = 0,06$). Il n’existait également pas de modification significative de l’ordonnée à l’origine dans cette même population ($-13 \pm 5,6$ vs $-11,4 \pm 5,3$; $p = 0,51$) (Figure 17).



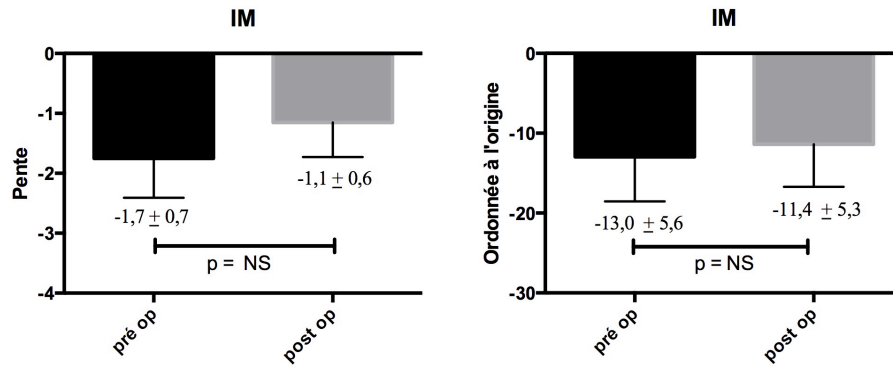


Figure 17 : Comparaison du PreS, du Total_S, de la pente et de l'ordonnée à l'origine de la relation PreS/ Total_S avant et après chirurgie valvulaire mitrale.

2. Corrélation entre PreS et Total_S

Il existait une corrélation linéaire de PreS et Total_S en pré opératoire mais aussi en post opératoire dans le groupe IM (coefficients de corrélation de Pearson respectivement de -0,91 et -0,58 ; $p < 0,001$ et $p = 0,047$) (Figure 18).

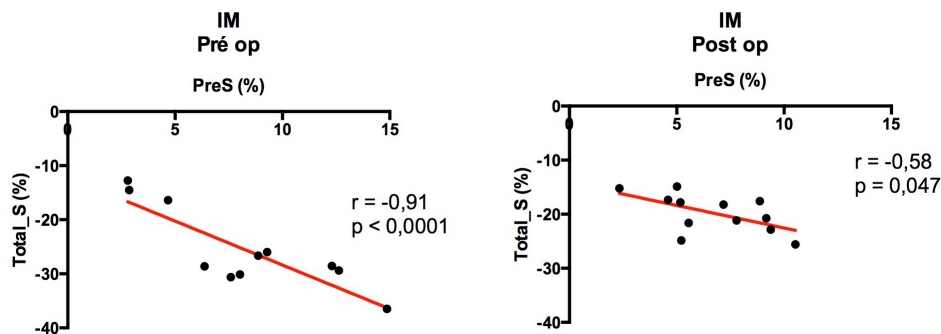


Figure 18 : Corrélation de PreS et Total_S en pré et post opératoire chez les patients atteints d'une IM.

3. Evolution des paramètres standards échographiques

Concernant l'IM, on observait une baisse significative de la FEVG ($64,2 \pm 12,3\%$ vs $45,1 \pm 11,7\%$; $p < 0,0001$) et du GLS ($-18 \pm 4,9\%$ vs $-9,7 \pm 2,9\%$; $p = 0,02$). La baisse de l'onde S moyennée à l'anneau mitral n'était pas, elle, significative ($8,9 \pm 3$ cm/sec vs $5,6 \pm 0,8$ cm/sec, $p = 0,057$) (Figure 19).

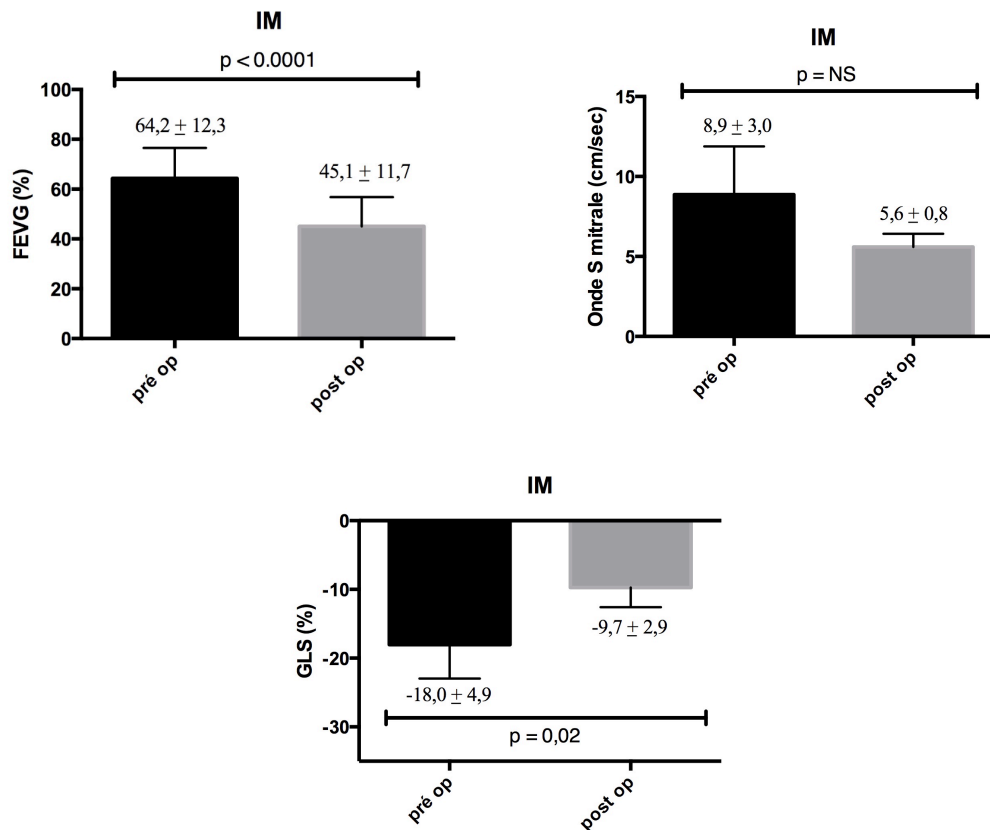


Figure 19 : Comparaison de la FEVG, de l'onde S moyennée de l'anneau mitral et du GLS avant et après chirurgie mitrale.

V. Corrélation des paramètres de déformation myocardique avec les paramètres usuels d'évaluation de la fonction systolique

Chez les patients porteurs d'un RA et d'une IM, aucune corrélation entre la pente de la relation $\text{PreS} / \text{Total_S}$ et la FEVG, l'onde S moyennée à l'anneau mitral et le GLS n'a été retrouvée en pré opératoire (respectivement $p = 0,45$; $p = 0,55$ et $p = 0,63$ pour les RA, et $p = 0,97$; $p = 0,23$ et $p = 0,43$ pour les IM), ainsi qu'en post opératoire (respectivement $p = 0,49$; $p = 0,51$ et $p = 0,80$ pour les RA et $p = 0,85$; $p = 0,28$ et $p = 0,93$ pour les IM) (Annexe 1).

VI. Comparaison de la pente de la relation PreS / Total_S sur tous les segments du VG et celle excluant la paroi septale

A. Rétrécissement aortique

Afin de s'affranchir de la dyskinésie septale post opératoire, nous avons analysé le nouveau paramètre de contractilité en supprimant les 3 segments de la paroi septale. En excluant la paroi septale, la pente de la relation PreS et Total_S ne se modifiait pas de manière significative après correction du RA ($-1,77 \pm 0,66$ vs et $-1,41 \pm 0,5$, $p = 0,5$). Aucune différence significative n'est retrouvée entre cette pente et celle obtenue avec tous les segments du VG en pré et en post opératoire (respectivement $p = 0,73$ et $p = 0,21$).

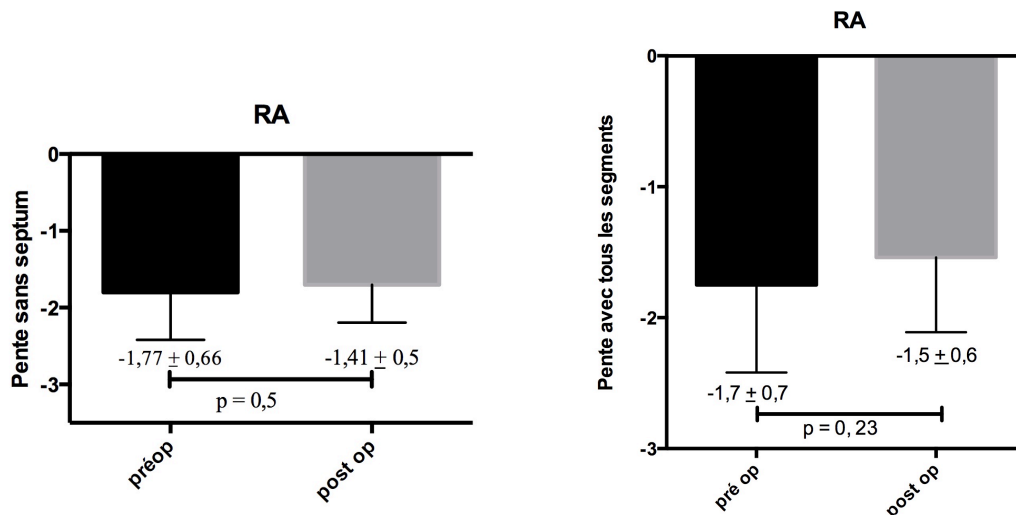


Figure 20 : Comparaison de la pente de la relation PreS / Total_S avant et après remplacement valvulaire aortique en excluant la paroi septale et avec tous les segments.

B. Insuffisance mitrale

La pente de la relation PreS et Total_S en excluant la paroi septale ne se modifiait pas significativement après chirurgie mitrale ($-1,78 \pm 0,62$ vs $-1,67 \pm 0,37$; $p = 0,27$). Aucune différence significative n'est retrouvée entre cette pente et celle obtenue avec tous les segments du VG (respectivement $p = 0,77$ et $p = 0,41$).

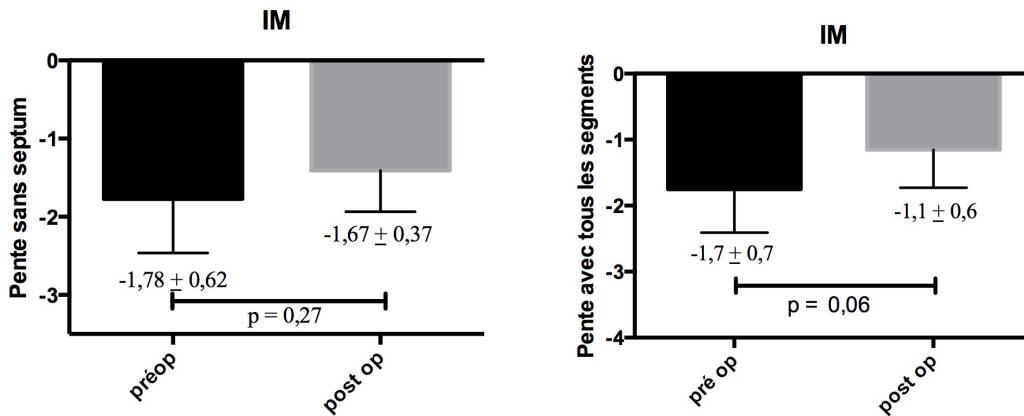


Figure 21 : Comparaison de la pente de la relation PreS / Total_S avant et après correction chirurgicale de l'IM, en excluant la paroi septale et sur tous les segments.

DISCUSSION

Il n'existe pas, à l'heure actuelle de paramètre non invasif, notamment échographique, permettant d'évaluer la contractilité indépendamment des conditions de charge. Récemment, l'équipe de *Jasaityte et al* (22) a proposé un nouveau paramètre échographique indépendant des conditions de charge. Notre étude, prospective, est la seule à notre connaissance à évaluer ce paramètre dans des conditions de variations de charge pathologiques que sont les valvulopathies. Notre étude confirme qu'il existe une corrélation entre la contraction segmentaire du VG et l'étirement du myocarde lors de la contraction atriale. D'après *Jasaityte et al*, la pente de cette relation obtenue par la méthode du 2D Strain speckle tracking serait un indice de contractilité du VG (22). Ils ont également démontré que cet indice serait indépendant de la précharge et pourrait donc refléter la contractilité intrinsèque du VG. Notre travail semble confirmer que ce paramètre soit moins dépendant des conditions de charge puisqu'il ne se modifie pas après correction chirurgicale d'une IM contrairement aux paramètres échographiques conventionnels d'évaluation de la fonction systolique.

1. Faisabilité de la technique

La faisabilité du GLS dans l'étude de *Xu et al* était de 97,2% chez 230 sujets (78 sujets sains 142 patients hypertendus et 10 patients avec insuffisance cardiaque) (24). Dans notre étude, nous observons une faisabilité plus faible, de 77% (82% pour les acquisitions pré opératoires et 72% pour celles post opératoires). Ceci peut être dû à une population plus âgée dans notre étude ($66,7 \pm 12,8$ ans vs 51 ± 14 ans). Par ailleurs, l'échogénicité est plus mauvaise chez des patients porteurs d'une cardiopathie valvulaire, notamment en post opératoire en raison de la sternotomie.

2. Reproductibilité des mesures

La variabilité intra et inter observateur du GLS rapportée dans la littérature est de 3,6% à 7% et de 7% à 11,8% respectivement (14). Dans notre étude, la variabilité des paramètres PreS et Total_S est proche de ces résultats.

En effet, la variabilité intra et inter observateur du PreS est respectivement de 4,1% et de 4,9%. Celle du Total_S est respectivement de 4% et 10,1%. La seule étude disponible dans la littérature est celle de *Jasaityte et al* (22), où seule la variabilité intra observateur était testée. La variabilité intra observateur de la pente et celle de l'ordonnée à l'origine était, dans leur étude, de 12% et 19,7% respectivement. Notre étude retrouve une variabilité intra observateur proche de ces paramètres (respectivement 13,4% et 11%).

3. Mesure des déformations myocardiques

3.1 Rétrécissement aortique

La correction chirurgicale d'un RA serré permet une diminution conséquente de la postcharge et donc des contraintes pariétales imposées au VG. Notre étude n'a pas mis en évidence de modification des paramètres de déformation après correction d'un RA. De même, les différents paramètres habituels (FEVG, onde S DTI à l'anneau mitral, GLS) ne se modifiaient pas après prise en charge chirurgicale. *Ross et al* ont montré que les changements de conditions de charge chez les patients porteurs d'un RA étaient essentiellement observés en cas de dysfonction systolique du VG associée (25). Or, dans notre étude, la majorité des patients porteurs d'un RA serré (93,5%) présentait une FEVG pré opératoire normale. Il semblerait donc, dans notre étude, que les variations de postcharge n'étaient pas suffisantes pour observer une augmentation des paramètres standards d'évaluation de la fonction systolique en post opératoire. Ceci est confirmé par l'analyse de l'impédance ventriculo-artérielle. Ce paramètre défini par la formule $(PAS + \text{Gradient moyen aortique}) / VES$, est un indice de la double charge opposée à l'éjection du VG, à la fois valvulaire et artérielle (26). En effet, l'impédance ventriculo-artérielle ne varie pas de manière significative en post opératoire ($3 \pm 0,8$ vs $2,6 \pm 1,1$; $p = 0,117$).

Nous observons une absence de modifications du PreS et Total_S après chirurgie de RA alors que ces paramètres seraient dépendants des conditions de charge. En effet, dans l'étude de *Jasaityte et al*, le PreS et le Total_S augmentaient au test du lever de jambe et seul le Total_S augmentait après administration de dobutamine (22).

Dans l'étude de *Jasaityte et al*, la corrélation entre le PreS et le Total_S chez les 16 sujets sains était satisfaisante (coefficient de corrélation à 0,82). Nos données chez les patients porteurs d'un RA retrouvent une corrélation quasi similaire en pré et en post opératoire (coefficient de corrélation respectivement de -0,82 et -0,73).

Enfin, en post opératoire d'une chirurgie cardiaque, on observe fréquemment une dyskinésie septale sans qu'une explication physiopathologique ait été validée dans la littérature. Plusieurs hypothèses ont été émises, comme une modification de l'interdépendance ventriculaire secondaire à l'ouverture du péricarde et aux modifications de pression intrathoracique, ainsi qu'une souffrance ischémique du ventricule droit plus importante, secondaire à la CEC.

Nous avons testé le nouveau paramètre de déformation myocardique en excluant la paroi septale. Nous n'avons pas retrouvé de différence concernant la pente de la relation PreS / Total_S avec et sans la paroi septale, que ce soit en pré ou en post opératoire (respectivement $p = 0,73$ et $p = 0,21$). Lors de l'analyse de tous les segments, cette pente ne se modifiait pas en post opératoire après exclusion de la paroi septale ($p = 0,5$). Cette absence de différence ne nous oriente pas vers une hypothèse physiopathologique pour expliquer cette dyskinésie septale post opératoire.

3.2 Insuffisance mitrale

La correction chirurgicale d'une IM sévère entraîne deux conséquences hémodynamiques majeures : l'augmentation brutale de la post-charge en corrigeant la soupape d'éjection du VG et la diminution importante de la surcharge volémique responsable d'une augmentation de la précharge.

Contrairement au RA, nous avons mis en évidence dans notre étude une diminution significative de tous les indices standards de fonction systolique du VG après correction chirurgicale d'une IM (FEVG : $64,2 \pm 12,3$ % vs $45,1 \pm 11,7$ % , $p < 0,0001$ et GLS : $-18 \pm 4,9$ % vs $-9,7 \pm 2,9$ % , $p = 0,02$), sauf l'onde S mitrale en DTI ($8,9 \pm 3$ cm/sec vs $5,6 \pm 0,8$ cm/sec, $p = 0,057$) où l'on observait une tendance sans atteindre la significativité. Ceci confirme les données publiées dans de nombreux articles (20, 27, 28). Il semble donc exister, dans l'IM, une altération de la contractilité myocardique masquée par les conditions de charge. D'ailleurs, les recommandations européennes (2) sur la prise en charge chirurgicale des valvulopathies confirment ces données, puisque le cut-off de FEVG pour adresser les patients au bloc opératoire, est plus bas pour les RA (50%) que pour les IM (60%), afin de prévenir cette altération de contractilité démasquée en post opératoire.

Contrairement aux paramètres échographiques conventionnels, le nouveau paramètre de déformation myocardique analysé dans notre étude ne baissait pas de manière significative

après chirurgie ($p = 0,057$), mais ces résultats sont à relativiser en raison du faible effectif de notre population opérée pour une IM ($n = 12$).

Dans l'étude de *Jasaityte et al* (22), l'augmentation de la précharge par le test du lever de jambes entraînait une augmentation importante de PreS et Total_S. Dans notre étude, la diminution de la précharge secondaire à la chirurgie entraînait une diminution significative du Total_S ($p = 0,01$) mais pas du PreS ($p = 0,15$), possiblement en raison d'une altération importante de la fonction atriale, déjà présente en pré opératoire, chez les patients porteurs d'une IM sévère avec une surcharge volémique considérable.

Nos données chez les patients porteurs d'une IM montrent une corrélation forte entre PreS et Total_S en pré opératoire ($r = -0,91$) et moindre en post opératoire ($r = 0,58$) par rapport à l'étude de *Jasaityte et al* ($r = 0,82$) (22).

Comme pour le RA, nous n'observons pas de corrélation entre le nouveau paramètre et les paramètres classiques de fonction systolique.

De manière très intéressante, nous n'observons pas de tendance ou de modification significative de ce nouveau paramètre, après exclusion de la paroi septale. Cette différence concernant la paroi septale est confirmée par une étude récente de *Marckiniak et al* montrant une altération significative du Strain en post opératoire précoce (J5) d'une chirurgie d'IM, uniquement sur la paroi septale (20).

Nous n'avons pas retrouvé cette différence chez les patients porteurs d'un RA. Une des hypothèses que nous retenons pour expliquer l'importance de la dyskinésie septale post opératoire dans les IM, est l'existence probable d'une souffrance myocardique, notamment du VD, plus importante que dans les RA. En effet, on observe un temps de CEC plus long lors des chirurgies mitrales ($96 \pm 30,6$ min pour les RA vs $155,3 \pm 48,5$ min chez les patients porteurs d'une IM, $p < 0,0001$). Cette souffrance est confirmée par un taux de troponines à J2 plus important (613 ± 744 pour les RA vs $1\ 664 \pm 1\ 526,7$ ng/mL pour les IM, $p = 0,0049$), alors qu'il n'existait pas de différence sur la fréquence des pontages aorto-coronaires associés (32,3% des RA vs 16,7% des IM, $p = 0,4563$), facteur d'élévation des troponines.

4. Limites de l'étude

Même si les conditions cliniques lors de l'ETT étaient optimales (IMC faible $27,3 \pm 7 \text{ kg/m}^2$; PAS et PAD normales $133,5 \pm 15,2 \text{ mmHg}$ et $77,4 \pm 11,4 \text{ mmHg}$; absence de tachycardie : FC $73,6 \pm 11,6 \text{ bpm}$), une des limites de la technique dans notre étude est la mauvaise échogénicité des patients, notamment en post opératoire, ne permettant pas un tracking du myocarde optimal.

Les conditions de charge imposées au VG étaient évaluées grâce à l'impédance ventriculo-artérielle, mais les conditions de précharge n'étaient pas évaluées. Lors de la CEC et en post opératoire immédiat, les conditions hémodynamiques, notamment de remplissage, n'étaient pas monitorées. L'ETT post opératoire était réalisée entre J5 et J7 pour éviter d'une part, les variations hémodynamiques majeures liées à la CEC et son sevrage, et d'autre part, le remodelage du VG à distance. Il existe, malgré tout, probablement des conditions de charge aléatoires pouvant fausser nos résultats.

De plus, la CEC est un modèle in vivo d'ischémie-reperfusion qui, malgré des progrès faits dans la protection myocardique, entraîne de possibles lésions myocardiques et une altération de la contractilité. Cela dit, ce phénomène d'ischémie-reperfusion est surtout noté en cas de dysfonction VG pré opératoire et de choc per opératoire (cardiogénique ou hypovolémique). Ces cas de figure sont rares dans notre population, respectivement de 9,3% et 13,9%.

Un autre écueil important est la FA. L'analyse de notre nouveau paramètre nécessite une systole atriale, détectée à l'ECG. Or, l'incidence de la FA en post opératoire est élevée en chirurgie cardiaque, 48,8% pour une chirurgie mitrale seule et 60% si associée à un pontage coronaire, 32,9% pour une chirurgie aortique seule et 36,4% si associée à un pontage (30). Ainsi, des patients ont dus être exclus de l'étude en raison de l'impossibilité de réaliser la technique sur les images échographiques post opératoires. Nous avons aussi exclu les patients présentant une FA pré opératoire, également fréquente en cas de valvulopathie.

De plus, une partie non négligeable de notre population possédait une coronaropathie (30%) et bénéficiait d'un pontage aorto-coronaire (28%). Même si nous avons exclu les patients aux antécédents d'infarctus transmural ou ceux porteurs d'une akinésie séquellaire à l'ETT pré opératoire, l'existence d'une sténose coronarienne pouvait altérer la fonction systolique en pré opératoire et le Strain, même si une grande partie de notre population avait une FEVG supérieure à 50% (91%).

Enfin, les résultats les plus intéressants ont été observés chez les patients porteurs d'une IM où l'effectif était le plus faible. L'absence de modification des paramètres de déformation pourrait être due à un manque de puissance. Ainsi, il serait intéressant de tester ces paramètres sur un nombre plus important de patients porteurs d'une IM.

5. Applications cliniques et perspectives

Une méthode non invasive et facilement applicable pour l'estimation de la contractilité intrinsèque n'est actuellement pas disponible en pratique clinique, en particulier en raison de la dépendance des paramètres classiques de la fonction systolique du VG aux conditions de charge. Un tel paramètre trouverait un intérêt, par exemple, dans les valvulopathies aortiques ou mitrales, dans le but de dépister des altérations subcliniques de la contractilité permettant de trouver le moment idéal pour adresser le patient en chirurgie.

D'autres exemples seraient le dépistage d'une cardiotoxicité précoce d'une chimiothérapie ou de différencier une hypertrophie pathologique ou physiologique du VG.

Il semble que ce nouveau paramètre soit intéressant pour s'affranchir des conditions de charge, notamment en excluant la paroi septale.

Un logiciel intégré à l'appareil d'échocardiographie pour le calcul rapide de la pente de la relation raccourcissement-étirement du VG peut être envisagé, comme c'est le cas pour le DTI ou le GLS.

Néanmoins, compte tenu du faible effectif de notre population, il conviendrait de poursuivre les inclusions dans notre étude exploratrice.

Enfin, il serait intéressant de voir l'impact de ce nouveau paramètre sur la survenue d'évènements post opératoires, comme cela a déjà été étudié pour le SR (20).

CONCLUSION

Notre travail a étudié un indice non invasif, échographique, qui pourrait être un indice de contractilité du VG, indépendant des conditions de charge.

Ce paramètre, réalisé par la méthode du 2D Strain speckle tracking, a été appliqué aux corrections chirurgicales des RA et des IM. Nous l'avons comparé aux paramètres classiques de la fonction systolique, dépendants des conditions de charge. Notre étude a confirmé la corrélation entre la déformation myocardique du VG pendant la systole atriale (étirement des fibres myocardiques) et lors de la systole ventriculaire (raccourcissement du VG).

Chez les patients porteurs d'un RA, aucun paramètre évalué ne se modifiait, probablement en raison d'une absence de modification significative des conditions de charge, surtout chez des patients sans dysfonction VG associée.

Par contre chez les patients porteurs d'une IM, la pente de la relation entre la contraction atriale et la systole ne se modifiait pas contrairement aux autres paramètres, notamment après exclusion de la paroi septale.

Notre étude appliquée à une situation clinique pathologique semble donc confirmer l'intérêt de ce nouveau paramètre pour l'étude de la fonction contractile, indépendamment des conditions de charge.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

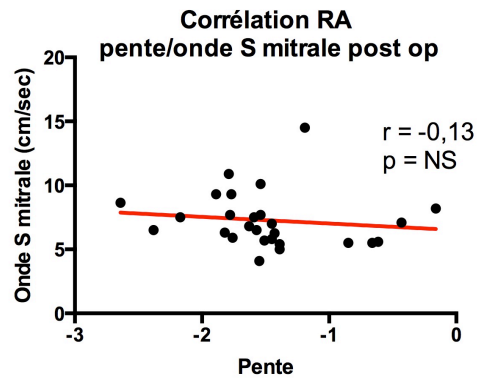
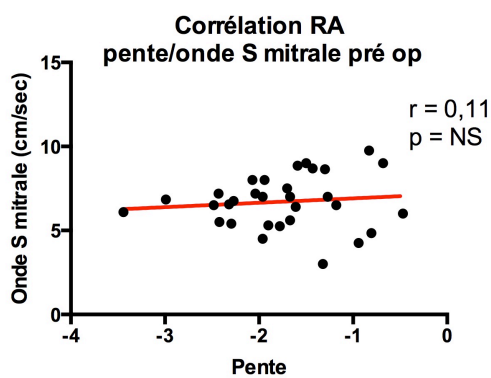
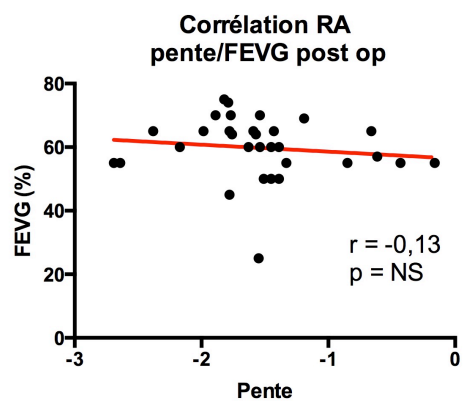
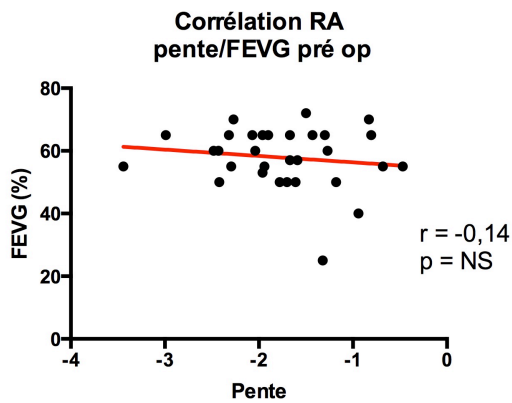
1. McMurray JJ, Adamopoulos S, Anker SD, Auricchio A, Böhm M, Dickstein K *et al.* ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure 2012 : The Task Force for the Diagnosis and Treatment of Acute and Chronic Heart Failure 2012 of the European Society of Cardiology. *Eur. Heart J* 2012 ;33(14) :1787–1847. Doi : 10.1093/eurheart/ehs104.
2. Vahanian A, Alfieri O, Andreotti F, Anthunes MJ, Baròn-Esquivias G, Baumgartner H *et al.* Guidelines on the management of valvular heart disease: The Task Force on the Management of Valvular Heart Disease of the European Society of Cardiology and the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). *Eur. Heart J* 2012 ;42(4) S1-44. Doi : 10.1093/ejcts/ezs455.
3. White HD, Norris RM, Brown MA, Brandt PW, Whitlock RM, Wild CJ. Left ventricular end-systolic volume as the major determinant of survival after recovery from myocardial infarction. *Circulation* 1987;76(1):44-51.
4. Wong M, Johnson G, Shabetai R, Hughes V, Bhat G, Lopez B *et al.* Echocardiographic variables as prognostic indicators and therapeutic monitors in chronic congestive heart failure. Veterans Affairs cooperative studies V-HeFT I and II. V-HeFT VA Cooperative Studies Group. *Circulation*. 1993;87(6 Suppl):VI65-70.
5. Patterson SW, Starling EH. On the mechanical factors which determine the output of the ventricles. *J Physiol*. 1914;48(5):357-79.
6. Suga H, Kitabatake A, Sagawa K. End-systolic pressure determines stroke volume from fixed end-diastolic volume in the isolated canine left ventricle under a constant contractile state. *Circ Res*. 1979 ;44(2):238-49.
7. Wood PW, Choy JB, Nanda NC, Becher H. Left Ventricular Ejection Fraction and Volumes: It Depends on the Imaging Method. *Echocardiography*. 2014;31(1):87-100. doi: 10.1111/echo.12331.
8. Lang RM¹, Bierig M, Devereux RB, Flachskampf FA, Foster E, Pellikka PA *et al.* Recommendations for chamber quantification. *Eur J Echocardiogr*. 2006 ;7(2):79-108.
9. Garot J, Clément S, Deux JF, Roiron C, Paziaud J, Monin JL *et al.* Evaluation de la fonction ventriculaire gauche : échocardiographie, IRM ou scanner ? *Arch Mal Coeur Vaiss*. 2007 ;100(12):1042-7.
10. Garcia MJ Thomas JD, Klein AL *et al.* New Doppler echocardiographic applications for the study of diastolic function. *J Am Coll Cardiol*. 1998 ;32(4):865-75

11. Duzenli MA Ozdemir K, Aygul N, Altunkeser BB, Zengin K, Sizer M *et al.* Relationship between systolic myocardial velocity obtained by tissue Doppler imaging and left ventricular ejection fraction: systolic myocardial velocity predicts the degree of left ventricular dysfunction in heart failure. *Echocardiography*. 2008 ;25(8):856-63. doi: 10.1111/j.1540-8175.2008.00694.x.
12. Reisner SA, Lysyansky P, Agmon Y, Mutlak D, Lessick J, Friedman Z *et al.* Global longitudinal strain: a novel index of left ventricular systolic function. *J Am Soc Echocardiogr*. 2004 ;17(6):630-3
13. Leung DY, Ng AC. Emerging clinical role of strain imaging in echocardiography. *Heart Lung Circ*. 2010 ;19(3):161-74. doi: 10.1016/j.hlc.2009.11.006.
14. Perk G, Tunick PA, Kronzon I. Non-Doppler two-dimensional strain imaging by echocardiography – from technical considerations to clinical applications. *J Am Soc Echocardiogr*. 2007;20(3):234-43.
15. Belghitia H, Brette S, Lafitte S, Reant P, Picard F, Serri K, Lafitte M. Automated function imaging: a new operator-independent strain method for assessing left ventricular function. *Arch Cardiovasc Dis*. 2008 ;101(3):163-9
16. Dalen H, Thorstensen A, Aase SA, Ingul CB, Torp H, Vatten LJ *et al.* Segmental and global longitudinal strain and strain rate based on echocardiography of 1266 healthy individuals: the HUNT study in Norway. *Eur J Echocardiogr*. 2010 ;11(2):176-83. doi: 10.1093/ejehoccard/jep194.
17. Serri K, Reant P, Lafitte M, Berhouet M, Le Bouffos V, Roudaut R *et al.* Global and regional myocardial function quantification by two-dimensional strain : application in hypertrophic cardiomyopathy. *J Am Coll Cardiol*. 2006;47(6):1175-81.
18. Dahl JS, Videbæk L, Poulsen MK, Rudbæk TR, Pellikka PA, Møller JE. Global Strain in Severe Aortic Valve Stenosis: Relation to Clinical Outcome After Aortic Valve Replacement. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2012;5(5):613-20.
19. Delgado V, Tops LF, van Bommel RJ, van der Kley F, Marsan NA, Klautz RJ *et al.* Strain analysis in patients with severe aortic stenosis and preserved left ventricular ejection fraction undergoing surgical valve replacement. *Eur Heart J*. 2009;30(24):3037-47. doi: 10.1093/eurheartj/ehp351.
20. Marciniak A, Sutherland GR, Marciniak M, Kourliouros A, Bijmens B, Jahangiri M. Prediction of postoperative left ventricular systolic function in patients with chronic mitral regurgitation undergoing valve surgery, the role of deformation imaging. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2011;40(5):1131-7. doi: 10.1016/j.ejcts.2011.02.049.
21. Zwanenburg JJ, Götte MJ, Kuijper JP, Hofman MB, Knaapen P, Heethaar RM *et al.* Regional timing of myocardial shortening is related to pre-stretch from atrial contraction: assessment by high temporal resolution MRI tagging in humans. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2005 ;288(2):H787-94.
22. Jasaityte R, Claus P, Teske AJ, Herbots L, Verheyden B, Jurcut R *et al.* The Slope of the

- Segmental Stretch-Strain Relationship as a Noninvasive Index of LV Inotropy. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2013 ;6(4):419-28. doi: 10.1016/j.jcmg.2012.10.022.
23. Lang RM, Bierig M, Devereux RB, Flachskampf FA, Foster E, Pellikka PA *et al*. Chamber Quantification Writing Group; American Society of Echocardiography's Guidelines and Standards Committee; European Association of Echocardiography. Recommendations for chamber quantification: a report from the American Society of Echocardiography's Guidelines and Standards Committee and the Chamber Quantification Writing Group, developed in conjunction with the European Association of Echocardiography, a branch of the European Society of Cardiology. *J Am Soc Echocardiogr*. 2005;18:1440–1463.
 24. Xu TY, Sun JP, Lee AP, Yang XS, Qiao Z, Luo X *et al*. Three-dimensional speckle strain echocardiography is more accurate and efficient than 2D strain in the evaluation of left ventricular function. *Int J Cardiol*. 2014;176(2):360-6.
 25. Ross J Jr. Afterload mismatch in aortic and mitral valve disease: implications for surgical therapy. *J Am Coll Cardiol*. 1985 (4):811-26.
 26. Dumesnil JG, Pibarot P, Carabello B. Paradoxical low flow and/or low gradient severe aortic stenosis despite preserved left ventricular ejection fraction: implications for diagnosis and treatment. *Eur Heart J*. 2010 ;31(3):281-9. doi: 10.1093/eurheartj/ehp361.
 27. Enriquez-Sarano M, Tajik AJ, Schaff HV, Orszulak TA, McGoon MD, Bailey KR *et al*. Echocardiographic prediction of left ventricular function after correction of mitral regurgitation: results and clinical implications. *J Am Coll Cardiol* 1994;24:1536-43.
 28. Matsumura T, Ohtaki E, Tanaka K, Misu K, Tobaru T, Asano R, et al. Echocardiographic prediction of left ventricular dysfunction after mitral valve repair for mitral regurgitation as an indicator to decide the optimal timing of repair. *J Am Coll Cardiol* 2003;42:458-63.
 29. Yotti R, Bermejo J, Benito Y, Sanz-Ruiz R, Ripoll C, Martínez-Legazpi P. Validation of noninvasive indices of global systolic function in patients with normal and abnormal loading conditions: a simultaneous echocardiography pressure-volume catheterization study. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2014 ;7(1):164-72. doi: 10.1161/CIRCIMAGING.113.000722.
 30. Almassi GH, Schowalter T, Nicolosi AC, Aggarwal A, Moritz TE, Henderson WG *et al*. Atrial fibrillation after cardiac surgery: a major morbid event? *Ann Surg*. 1997;226(4):501-11; discussion 511-3.

ANNEXES

Figures des corrélations de la pente de la relation PreS / Total_S avec la FEVG, l'onde S moyennée de l'anneau mitral et du GLS en pré et post opératoire d'une chirurgie valvulaire aortique et mitrale.



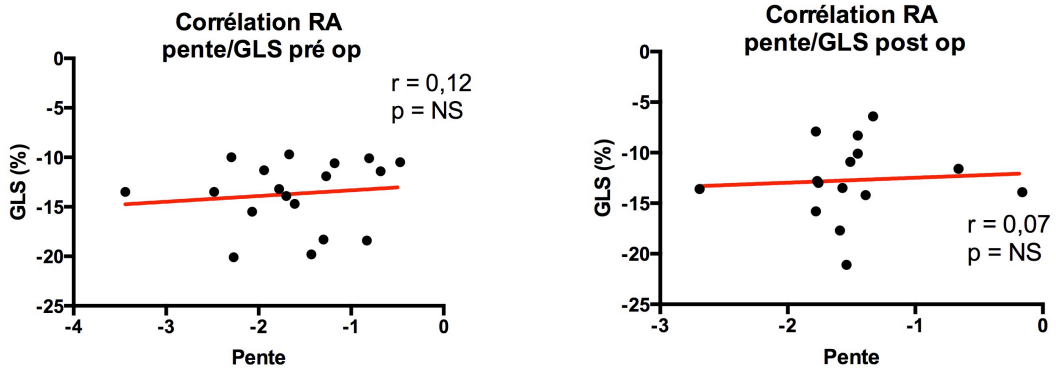
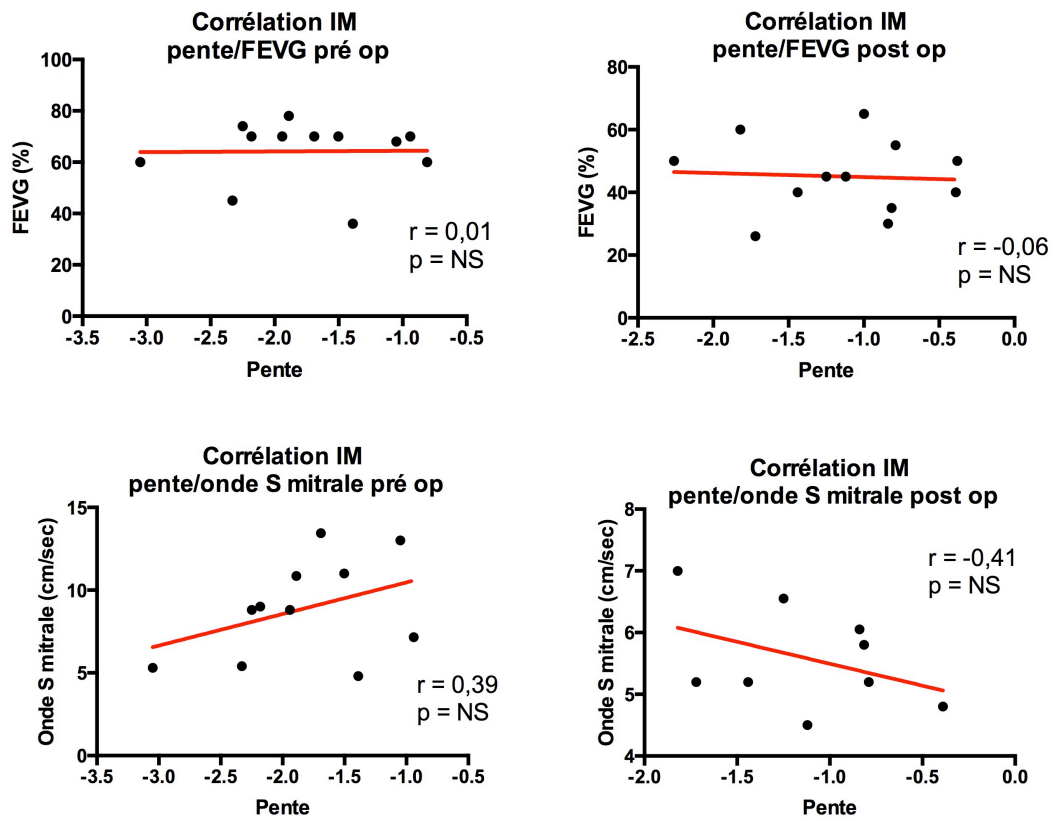


Figure 22 : Corrélation de la pente de la relation $PreS / Total_S$ avec la FEVG, l'onde S moyennée de l'anneau mitral et le GLS en pré et post opératoire d'une chirurgie valvulaire aortique. *GLS = Strain longitudinal global ; Pré op = pré opératoire ; post op = post opératoire.*



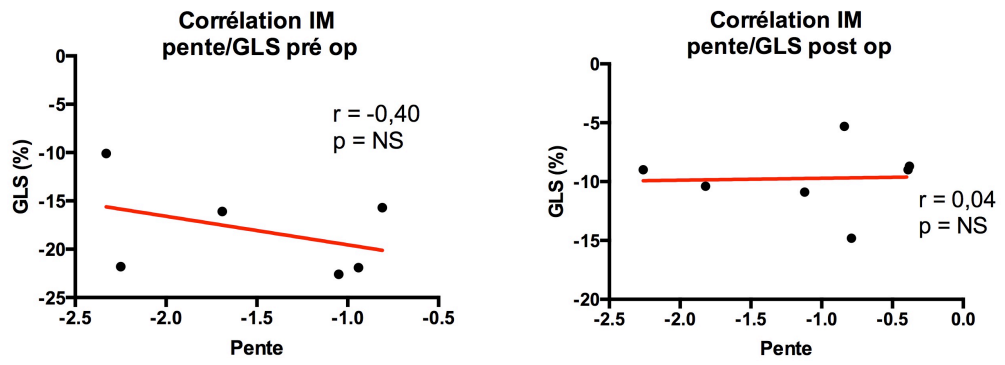


Figure 23 : Corrélation de la pente de la relation PreS / Total_S avec la FEVG, de l'onde S moyennée de l'anneau mitral et du GLS en pré et post opératoire d'une chirurgie valvulaire mitrale. GLS = Strain longitudinal global ; Pré op = pré opératoire ; post op = post opératoire.

AUTEUR : Nom : BINDA

Prénom : Camille

Date de Soutenance : Vendredi 3 octobre 2014

Titre de la Thèse : Evaluation d'un nouvel indice de contractilité myocardique indépendant des conditions de charge en échographie 2D Strain speckle tracking : application clinique à la correction chirurgicale des valvulopathies

Thèse - Médecine - Lille 2014

Cadre de classement : DES de cardiologie et maladies vasculaires

DES + spécialité : DES de cardiologie et maladies vasculaires

Mots-clés : contractilité - postcharge - échocardiographie - 2D Strain speckle tracking - rétrécissement aortique - insuffisance mitrale.

Contexte : Les paramètres échographiques habituels pour l'évaluation de la fonction systolique du ventricule gauche (VG) sont tous dépendants des conditions de charge. La pente de la relation de la déformation myocardique entre la contraction atriale et la systole ventriculaire, évaluée en échographie 2D Strain speckle tracking a récemment été proposée comme un indice de contractilité indépendant des conditions de charge. Nous avons évalué ce paramètre lors des variations importantes de la postcharge: la correction chirurgicale de rétrécissement aortique (RA) et d'insuffisance mitrale (IM).

Méthode : Notre étude prospective a inclus 43 patients (31 RA et 12 IM) et nous avons analysé la pente de la relation de la déformation myocardique entre la contraction atriale (PreS) et la systole ventriculaire (Total_S) en échographie 2D Strain speckle tracking avant et après correction chirurgicale (entre le 5^{ème} et le 7^{ème} jour post opératoire).

Résultat : La pente de la relation PreS et Total_S ne se modifiait de façon significative après correction du RA ($-1,7 \pm 0,7$ vs $-1,5 \pm 0,6$; $p = 0,23$). De même, nous n'avons pas observé de modification significative des paramètres standards d'évaluation de la fonction systolique : fraction d'éjection du ventricule gauche (FEVG) : $57,9 \pm 9,6\%$ vs $59,8 \pm 9,8\%$, $p = 0,12$; onde S mitrale en doppler tissulaire (DTI) : $6,7 \pm 1,6$ cm/s vs $7,3 \pm 2,2$ cm/s, $p = 0,33$; Strain global longitudinal (GLS) : $-13,7 \pm 3,4 \%$ vs $-12,7 \pm 3,8 \%$, $p = 0,44$). On observait une tendance à cette diminution pour les IM mais sans significativité statistique ($-1,7 \pm 0,7$ vs $-1,1 \pm 0,6$; $p = 0,06$), alors que la FEVG et le GLS baissaient de façon significative en post opératoire (respectivement $64,2 \pm 12,3\%$ vs $45,1 \pm 11,7\%$; $p < 0,0001$ et $-18 \pm 4,9\%$ vs $-9,7 \pm 2,9\%$; $p = 0,02$). Lorsque la paroi septale a été exclue, la pente de la relation PreS et Total_S ne se modifiait pas de manière significative après correction du RA ($-1,77 \pm 0,66$ vs et $-1,41 \pm 0,5$, $p = 0,5$) également après chirurgie de l'IM ($-1,78 \pm 0,62$ vs $-1,67 \pm 0,37$; $p = 0,27$). Aucune différence significative n'est retrouvée entre cette pente et celle obtenue sur tous les segments du VG en pré et en post opératoire, chez les patients porteurs de RA (respectivement $p = 0,73$ et $p = 0,21$) et d'IM (respectivement $p = 0,77$ et $p = 0,41$).

Conclusion : Notre étude tend à démontrer que ce nouveau paramètre échographique semble être indépendant des conditions de charge, notamment lorsque la paroi septale est exclue de l'analyse. L'étude d'une population plus importante semble nécessaire pour confirmer cette tendance.

Composition du Jury :

Président : Monsieur le Professeur Christophe BAUTERS

Asseseurs : Monsieur le Professeur Dominique LACROIX

Monsieur le Docteur David MONTAIGNE

Monsieur le Docteur Mohamad KOUSSA

Monsieur le Docteur Augustin COISNE