

# Particularités du strain longitudinal dans le bloc de branche gauche complet

## Particularities of longitudinal strain in complete left bundle branch block

Hakim LAMINE<sup>1,2</sup>, Ghassen TLILI<sup>1,2</sup>, Hela BOUZIDI<sup>1,2</sup>, Syrine SAIDANE<sup>1,2</sup>, Sofien KAMOUN<sup>1,2</sup>, Ihsen ZAIRI<sup>1,2</sup>, Khadija MZOUGH<sup>1,3</sup>, Sondos KRAIEM<sup>1,2</sup>

1. Faculté de Médecine de Tunis, Université Tunis El Manar
2. Service de cardiologie Hôpital Habib Thameur, Tunis, Tunisie
3. Service de cardiologie Hôpital Habib Bougatfa, Bizerte, Tunisie

### RÉSUMÉ

**Introduction :** Le bloc de branche gauche complet (BBGC) est responsable d'un remodelage structurel progressif et l'évolution vers l'insuffisance cardiaque. L'étude du strain longitudinal (SL) est un outil performant dans la détection de l'asynchronisme ventriculaire et la quantification du degré de remodelage induit par le BBGC. L'objectif de ce travail était d'étudier les profils du SL ventriculaire gauche chez les patients ayant un BBGC.

**Méthodes :** Il s'agissait d'une étude mono centrique, observationnelle descriptive et transversale, réalisée sur une durée de 4 mois dans le service de cardiologie de l'hôpital Habib Thameur. Les patients ayant un BBGC ont eu une échocardiographie transthoracique avec étude des paramètres de l'asynchronisme inter et intra-ventriculaire et du SL.

**Résultats :** Trente patients ont été inclus. L'âge moyen était de 66±8 ans. Cinquante pour cent (n=15) présentaient une cardiopathie ischémique. La durée moyenne du QRS était de 140±14 ms. Vingt patients (67%) présentaient un asynchronisme interventriculaire. Le SL global moyen était de -13±5% et était corrélé à la fraction d'éjection ventriculaire gauche (r=0,906, p <0,0001). L'étude du délai d'activation intraventriculaire gauche montrait un aspect de pattern typique chez 25 patients (83 %). Le type 3 prédominait chez 14 patients (47%). Il n'y avait pas de différence significative entre les types de pattern de déformation septale (Type 1+2 et type 3) selon la fraction d'éjection et la cardiopathie sous-jacente (p1=0,45, p2=0,46).

**Conclusion :** L'étude des profils du SL gauche apporte des informations supplémentaires sur l'électromécanique ainsi que le remodelage ventriculaire en présence d'un BBGC

### MOTS-CLÉS

Echographie Cardiaque, 2D strain, Déformation longitudinale, Bloc de branche gauche complet

### SUMMARY

**Introduction :** Complete left bundle branch block causes left ventricular electromechanical desynchrony, which is responsible for progressive structural remodeling and heart failure. 2-D longitudinal strain emerges as a powerful tool for detecting ventricular asynchrony and quantifying the degree of complete left bundle branch block induced remodeling. The aim of this study was to evaluate the left ventricular longitudinal strain profiles in patients with complete left bundle branch block.

**Methods:** This was a single-center, descriptive Cross-Sectional Study conducted over a period of 4 months in the cardiology department of Habib Thameur Hospital. Transthoracic echocardiography assessment was performed in patients with complete left bundle branch block. Inter- and intra-ventricular asynchrony parameters were noted and longitudinal strain derived patterns were analyzed.

**Results:** Thirty patients were included. Mean age was 66±8 years. Fifty percent (n=15) of patients had ischemic heart disease. Mean QRS duration was 140±14 Ms. Twenty patients (67%) had interventricular asynchrony. Mean global longitudinal strain was -13±5% and correlated with left ventricular ejection fraction (r=0.906, p<0.0001). Left intraventricular activation delay analysis showed a typical left bundle branch block pattern in 25 patients (83%). The study of septal deformation patterns showed a type 3 predominance in 14 patients (47%). There were no significant differences between the patterns of septal deformation (Type 1+2 and Type 3) according to ejection fraction and the underlying heart disease (p1=0.45, p2=0.46)

**Conclusion:** The study of left ventricular longitudinal strain profiles provides additional information on electromechanical desynchrony as well as ventricular remodeling in the presence of complete bundle branch block.

### KEYWORDS

Echocardiography, 2D strain, Longitudinal deformation, Complete left bundle branch block

### Correspondance

Hakim LAMINE

Faculté de Médecine de Tunis, Université Tunis El Manar

## INTRODUCTION

Le bloc de branche gauche complet (BBGC) est responsable d'une désynchronisation électromécanique ventriculaire gauche qui peut déclencher un cercle vicieux avec un remodelage structurel progressif, un dysfonctionnement systolique et l'installation progressive par la suite d'une insuffisance cardiaque (1-4). L'étude du strain longitudinal (SL) par 2D Speckle Tracking présente une alternative adéquate dans l'analyse échographique afin d'estimer le degré de remodelage induit par le BBGC lui-même (5-7).

L'identification des modèles de déformation septale joue un rôle important dans la prédiction de la réponse à une thérapie de resynchronisation cardiaque (CRT) (8). Néanmoins, ces mesures écho cardiographiques sont encore en cours d'étude et ne sont pas encore validées dans la sélection des patients candidats à une CRT au-delà des recommandations actuelles (9).

L'objectif de ce travail était d'étudier les profils du strain longitudinal ventriculaire gauche dans une population de patients ayant un BBGC.

## METHODS

Il s'agissait d'une étude monocentrique, observationnelle descriptive et transversale réalisée au sein du service de Cardiologie de l'Hôpital Habib Thameur entre septembre et décembre 2021, dont l'objectif était d'étudier les profils du SL ventriculaire gauche chez les sujets ayant un BBGC.

Ont été inclus dans cette étude les patients âgés de plus de 18 ans suivis à la consultation externe, et qui présentaient un BBGC attesté sur l'électrocardiogramme, et ayant donné leur consentement oral pour la participation à l'étude.

N'ont pas été inclus dans cette étude, les patients ayant une arythmie supraventriculaire permanente et ceux ayant bénéficié d'une thérapie de resynchronisation cardiaque (CRT).

Ont été exclus de cette étude, les patients dont les coupes écho cardiographiques n'étaient pas optimales pour faire une analyse du strain myocardique.

Les paramètres cliniques ont été recueillis à partir des dossiers médicaux. L'identification du BBGC a été faite en utilisant les derniers critères établis par

les sociétés savantes en cardiologie (10,11).

Une échographie transthoracique a été réalisée en décubitus latéral gauche sur l'appareil d'échographie Vivid E9 (General Electric Vingmed ultrasound Medical Systems) équipée d'une sonde de 3.5 mhz, en accord avec les recommandations de l'American Association of Echocardiography (12).

L'analyse du SGL a été réalisée en post traitement des examens écho cardiographiques en utilisant le logiciel EchoPac de General Electric (EchoPac PC version 112, GE Vingmed).

Les acquisitions des différentes coupes échographiques cardiaques avec la synchronisation de l'électrocardiogramme ont permis une analyse de la déformation myocardique du ventricule gauche en 2D Speckle tracking, et ceci en utilisant le mode AFI (Automated function imaging) du logiciel. (12,13)

### Etude de l'asynchronisme intraventriculaire gauche

En cas de BBGC, on observe une décoordination des segments VG (Désynchronisation électromécanique : DEM). Cette désynchronisation est le substrat de la réponse à la CRT (14). L'étude de l'asynchronisme intraventriculaire passe donc par la recherche d'indices de DEM :

**Flash septal** : C'est une dyskinésie du septum interventriculaire caractérisée par un mouvement précoce, bref en protosystole vers le ventricule gauche suivi d'un mouvement inverse vers le ventricule droit. Ce mouvement est visible en 2-dimensions, mode temps-mouvement et doppler tissulaire.

Rocking apical Est défini par un mouvement systolique de l'apex dans le sens des aiguilles d'une montre perpendiculaire au long axe du ventricule gauche, secondaire à la contraction septale précoce suivie de la contraction retardée de la paroi latérale (BBG). Ce mouvement est visible en coupe apicale 4 cavités.

### Etude des délais électro systoliques

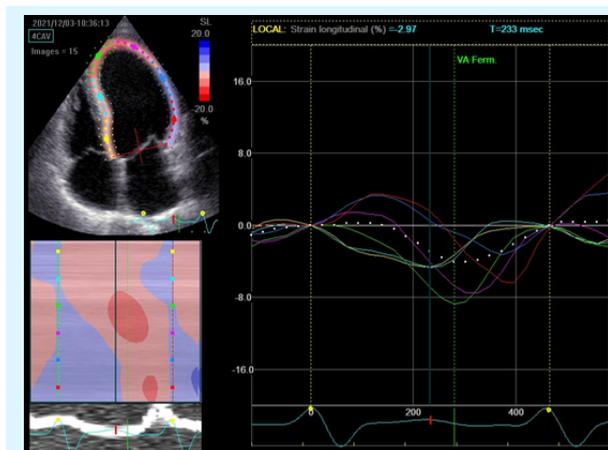
Le délai électro systolique présente la durée entre le début du QRS au pic de contraction de la paroi myocardique en DTI ou en 2D Strain.

On définit un asynchronisme intra ventriculaire par un retard supérieur à 65 ms entre deux délais électro systoliques de deux parois ventriculaire opposées (15).

### Étude du délai d'activation intraventriculaire gauche en 2D Strain

C'est l'étude du raccourcissement et de l'élongation des segments du ventricule gauche au cours de la systole par speckle tracking, à partir de la coupe apicale 4 cavités.

On définit un aspect typique « Pattern » de BBGC en strain par un raccourcissement précoce d'au moins un segment de la paroi septale (basal ou médio ventriculaire) avec élongation précoce d'au moins un segment de la paroi latérale (basal ou médio ventriculaire). On note une contraction post-systolique de la paroi latérale (14,16).



**Figure 1.** Receiver- operating characteristics curve (ROC) for LAVi: Délai d'activation intraventriculaire gauche mis en évidence par l'analyse de la déformation longitudinale par speckle tracking en coupe apicale 4 cavités (Pattern typique)

### Étude du pattern de déformation septale en strain longitudinal

Il s'agit de l'étude du mouvement du septum interventriculaire par speckle tracking au cours de la systole, à partir d'une coupe apicale 4 cavités. Il permet l'obtention d'un « pattern » de déformation septale dont l'aspect dépend non seulement du délai d'activation intra-ventriculaire gauche mais aussi de la qualité de la contractilité des parois septale et latérale du ventricule gauche.

On définit trois types (7,14) :

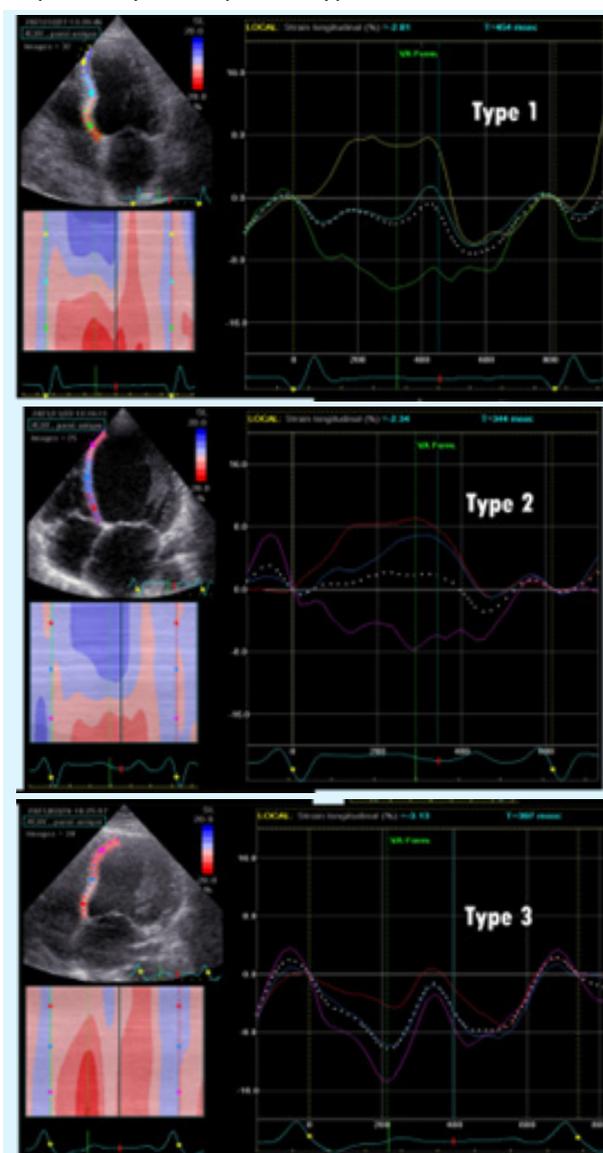
**Type 1** : Contraction septale précoce suivie d'un deuxième mouvement vers le VG secondaire à l'égalisation de la tension pariétale entre le SIV et la paroi libre (double pic précoce de raccourcissement) : activation typique de BBGC + contractilité pariétale préservée.

**Type 2** : Contraction septale précoce suivie d'une

élongation septale sur l'ensemble de la systole : activation typique de BBGC, hypo contractilité septale et contractilité préservée de la paroi latérale.

**Type 3** : raccourcissement « pseudo-normal » du SIV au cours de la systole avec pic de contraction tardif: défaut de contractilité septal et latéral.

Les patterns types 1 et 2 sont fortement associés à une bonne réponse clinique et morphologique à la CRT, à l'inverse du type 3 (moins bon pronostic, plus faible proportion de répondeurs) (7,8). Dans notre échantillon, nous avons groupé les patients ayant des patterns type 1 et 2 ensembles.



**Figure 2.** Patterns de déformation septale obtenus par l'analyse de la déformation longitudinale par speckle tracking de la paroi septale en coupe apicale 4 cavités

## Analyse statistique

L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel SPSS 25 (SPSS, Version 25). Les variables qualitatives ont été présentées en effectif et en pourcentage. Les valeurs quantitatives ont été exprimées sous la forme de moyenne et écart type en cas de distribution normale et en médiane et intervalle interquartile dans le cas d'une distribution non normale.

Les comparaisons de 2 moyennes sur séries indépendantes ont été effectuées au moyen du test non paramétrique de Mann-Whitney. Les comparaisons de pourcentage sur séries indépendantes ont été effectuées par le test du chi-deux de Pearson, et en cas de non-validité de ce test, la comparaison a été faite par le test exact bilatéral de Fisher.

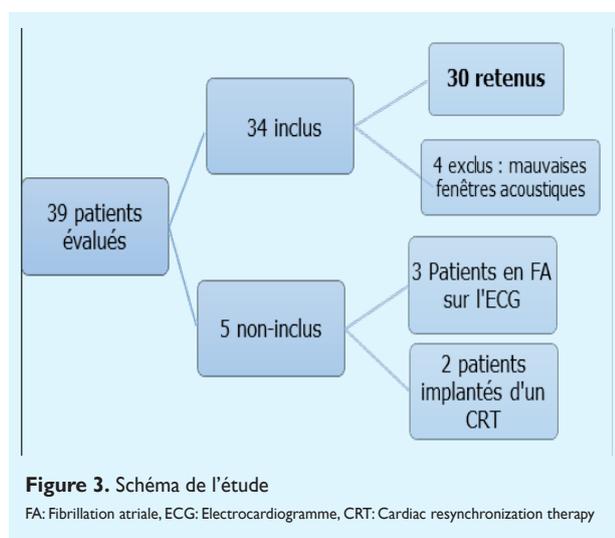
La corrélation entre les variables quantitatives a été évaluée avec le coefficient de corrélation de Pearson. Une valeur de  $p < 0,05$  a été considérée comme significative.

## Considérations éthiques

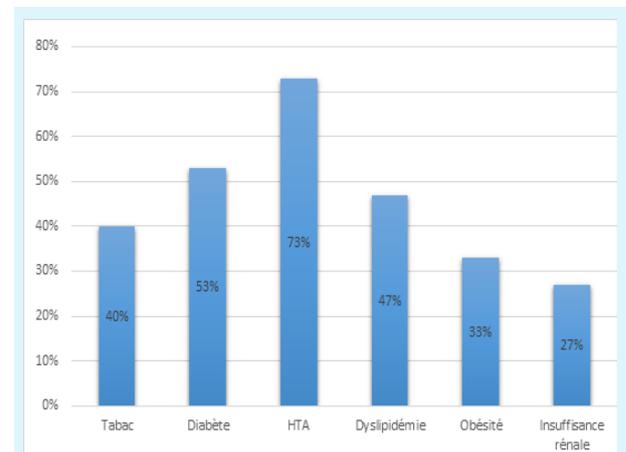
Les patients ont donné leur consentement oral éclairé pour l'inclusion dans l'étude.

## RÉSULTATS

Trente-quatre patients ont été inclus dans notre étude de septembre 2021 à décembre 2021.



L'âge moyen de nos patients était de  $66 \pm 8$  ans avec des extrêmes allant de 51 à 81 ans. Le genre ratio était de 1,1. Les facteurs de risque cardiovasculaire étaient dominés par l'hypertension artérielle (73 %) et le diabète (53 %). La répartition des facteurs de risque cardiovasculaire est résumée dans la figure 4.



**Figure 4.** Répartition des facteurs de risque cardiovasculaire

La dyspnée d'effort était le maître symptôme (33 %) alors que 34% des patients étaient asymptomatiques. Le reste des patients ont rapporté un angor typique (17%) ou atypique (13%) et des palpitations (3%).

Cinquante pour cent des patients présentaient une cardiopathie ischémique. La cardiopathie hypertensive (27%) figurait en premier lieu parmi les cardiopathies non ischémiques, suivie par la cardiomyopathie dilatée primitive (10%) et la cardiopathie valvulaire (7%).

La fréquence cardiaque moyenne était de  $75 \pm 13$  bpm avec des extrêmes allant de 52 à 99 bpm.

La durée moyenne du QRS était de  $140 \pm 14$  ms avec des extrêmes allant de 120 à 165 ms. Cinquante-trois pourcents des patients avaient une durée du QRS entre 130 et 149 ms et trente pourcents avaient une durée du QRS  $\geq 150$  ms.

L'hypertrophie du ventricule gauche et de l'oreillette gauche était présente chez 18 patients (60%).

Quatre patients (13 %) présentaient une dysfonction ventriculaire droite.

Trente pourcents des patients (N=9 patients) avaient

une hypertension artérielle pulmonaire.

Parmi les 14 patients (47 %) qui avaient un profil mitral type 2, quatre patients présentaient une dysfonction diastolique grade II.

Le SGL moyen était de  $-13 \pm 5\%$  avec un minimum de  $-4$  et un maximum de  $-25\%$ .

Le SGL était significativement corrélé à la FEVG avec  $r=0,906$  et  $p < 0,0001$ .

L'asynchronisme atrio-ventriculaire était présent chez quatre patients (13%) et 20 patients (67%) présentaient un asynchronisme interventriculaire (Tableau I).

**Tableau 2.** Baseline and echocardiographic characteristics according to left atrial enlargement by volume index

Paramètre	Moyenne Ecart-type	Minimum	Maximum
DRVG en ms	448±162 ms	210 ms	831 ms
RR	855±176 ms	532 ms	1242 ms
DRVG/RR	52±11 %	35 %	85 %
DPEAo-DPEP	48±23 ms	9 ms	93 ms
Paramètre	Population en n et %		
Asynchronisme AV	4 (13 %)		
Asynchronisme interventriculaire	20 (67 %)		

DRVG= Durée de remplissage ventriculaire gauche. RR= Intervalle RR. DPEAo= Délai pré-éjectionnel aortique. DPEP= Délai pré-éjectionnel pulmonaire. AV= Atrio-ventriculaire.

L'apical rocking était présent chez sept patients (23%) et le septal flash chez quatre (13%).

La moyenne des différences entre les DES des deux parois septale et latérale était de  $68 \pm 37$  ms avec des extrêmes allant de 13 à 162 ms. L'asynchronisme intra ventriculaire était présent chez 50% des patients (N=15).

Particularités du strain dans le BBGc :

L'étude du 2D Speckle tracking du VG a permis de retrouver un SGL significativement plus bas chez les patients insuffisants cardiaques à fraction d'éjection  $< 35\%$  ( $p < 0,0001$ ) par rapport aux patients qui avaient une FEVG  $> 35\%$ .

Il y'avait pas de différence significative en termes de SGL entre les patients porteurs d'une cardiopathie ischémique et non ischémique.

L'étude du délai d'activation intraventriculaire gauche en 2D strain montrait un aspect de pattern typique de BBG chez 25 patients soit 83 % de la population étudiée.

Concernant l'étude du pattern de déformation septale en strain longitudinal, le type 3 était présent chez 14 patients (47%).

Il n'y avait pas de différences significatives concernant

les types de pattern de déformation septale en SL (Type 1+2 et type 3) dans les deux groupes selon la fraction d'éjection du VG et la cardiopathie sous-jacente.

## DISCUSSION

L'étude du SGL permet d'évaluer l'asynchronisme ventriculaire gauche avec une meilleure compréhension de la désynchronisation mécanique induite par le BBGC (17,7).

L'objectif de notre étude était de décrire les profils du SL ventriculaire gauche chez les sujets ayant un BBGc.

Le point fort de notre étude était qu'il s'agit de la première étude en Tunisie qui s'est intéressée à l'étude des profils du SL ventriculaire gauche chez les sujets ayant un BBGc.

Les principales limites étaient le caractère mono centrique, le faible effectif et l'hétérogénéité de la population qui a inclus des patients avec différentes cardiopathies sous-jacentes et à des degrés variables d'insuffisance cardiaque.

Dans notre série, l'âge moyen de nos patients était de  $66 \pm 8$  ans. En effet, L'âge moyen au moment du diagnostic du BBGC est relativement élevé, et l'incidence augmente progressivement avec l'âge (18).

Les facteurs de risque cardiovasculaire (FRCV) étaient dominés par l'HTA ( $n=22$ ; 73 %) et le diabète ( $n=16$ , 53 %). Ce sont les FRCV les plus incriminés dans la genèse de la maladie cardio-vasculaire (19). La prévalence de l'HTA et du diabète dans la population générale tunisienne est estimée à 32.5 % (20) et 12.3 % (21) respectivement, émergeant en tête de liste comme FRCV. En outre, l'HTA est associée au BBGC (18,22), conformément à notre étude où l'HTA était présente chez 73 % ( $N=22$ ) des patients.

La cardiopathie ischémique était la cardiopathie la plus représentée touchant la moitié de la population d'étude. Ce résultat s'aligne avec la littérature où l'association entre le BBGC et la maladie coronaire ischémique est fréquemment rapportée (18).

Une hypertrophie ventriculaire gauche était présente chez 60% des patients et est concordant avec les données de la littérature en tenant compte de l'association entre le BBGC et l'hypertrophie ventriculaire gauche (18,22).

Le délai interventriculaire de base dans le BBGC est un puissant prédicteur indépendant du remodelage ventriculaire gauche et de la qualité de vie chez les patients candidats à

une thérapie de resynchronisation cardiaque(23). Ainsi, Gold et al. ont trouvé un asynchronisme interventriculaire chez 57.1 % (N=12) et 71 % (N=54) des patients ayant un BBGC inclus dans deux groupes selon la durée du QRS (entre 120 et 149 ms et 150 ms) en vue d'une CRT(23). Dans notre étude, vingt patients (67%) présentaient un asynchronisme interventriculaire avec des QRS allant de 120 à 165 ms.

Sur une série de 295 patients insuffisants cardiaques implantés d'un CRT-D, Ghani et al. ont démontré que l'apical rocking était un facteur prédictif indépendant d'une issue favorable à long terme (24). Les patients inclus dans cette étude ont eu une analyse échographique avant l'implantation. L'apical rocking était présent chez 45 % de la population et était significativement plus fréquent chez les sujets jeunes, les femmes, en présence d'un BBGC avec une durée de QRS plus longue ( $164 \pm 29$  ms) et dans les cardiomyopathies non ischémiques. Dans notre série, l'apical rocking était présent chez sept patients (23%). Cette différence peut être expliquée par la taille réduite de notre effectif, la prédominance de la cardiopathie ischémique et la durée moyenne du QRS plus courte ( $140 \pm 14$  ms).

Dans une méta-analyse portant sur le septal flash, les auteurs ont conclu à une probable association à la réponse au CRT et ils ont recommandé l'évaluation de ce paramètre échographique chez les candidats à une resynchronisation cardiaque(25).

Le septal flash était présent chez 45,2 % des patients ayant un BBGC dans une étude portant sur les caractéristiques électrocardiographiques de ce dernier. Ce résultat est plus prononcé en l'absence de cardiopathie ischémique (26). Pour notre série, 13 % des patients avaient un septal flash à l'ETT, expliqué probablement par la dominance de l'origine ischémique et la difficulté de l'évaluation de ce paramètre en présence de troubles de la cinétique.

Leenders et al. ont été les premiers à décrire, en utilisant une combinaison de simulations informatiques et de données sur les patients, le schéma classique de déformation du septum chez les patients ayant un BBGC. Leur étude a démontré que la présence d'un modèle classique de déformation du septum avec un pic de raccourcissement proto-systolique et télésystolique chez les patients ayant un BBGC, également signalé sur d'autres séries (16,27), révèle une fonction contractile relativement préservée dans les parois septale et latérale (7).

Cependant, il a été démontré qu'un modèle de déformation septale avec seulement un pic de raccourcissement proto-

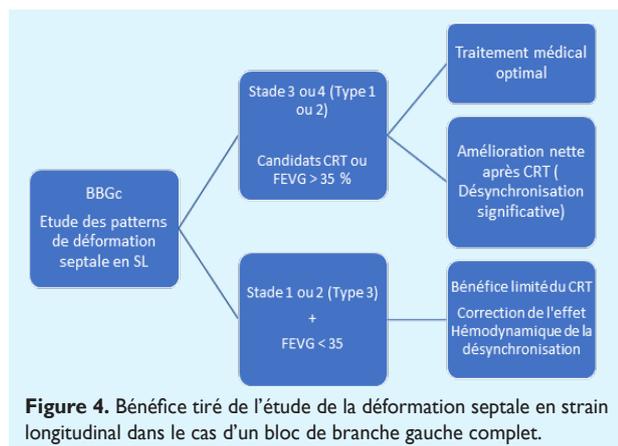
systolique suivi d'un étirement de rebond systolique, indique un déséquilibre des forces contractiles en faveur de la paroi latérale (7). Dans la même étude, la plupart des patients souffrant d'insuffisance cardiaque avec BBG présentaient un schéma de déformation septale avec seulement un pic de raccourcissement en fin de systole, qui pouvait être expliqué par une perte globale de la fonction contractile dans les deux parois du ventricule gauche (7). Par rapport au modèle à pic tardif, les modèles de déformation septale à double pic et à pic précoce ont été associés à des résultats plus favorables après la thérapie de resynchronisation cardiaque, tant en termes de remodelage inverse du ventricule gauche que de survie (7,8).

Dans notre travail, le type 3 prédominait (14 patients soit 47 %). Ceci peut être expliqué par la forte proportion de la cardiopathie ischémique dans notre série (50%) et les séquelles myocardiques qu'elle peut engendrer (Hypo contractilité septale et latérale).

Dans une étude publiée en 2021, Calle et al. ont démontré un continuum électromécanique chez les patients ayant un BBGC, où des patterns spécifiques de déformation septale en strain étaient étroitement corrélés avec le degré de remodelage ventriculaire gauche. Les auteurs ont proposé une classification basée sur le strain septal en 4 stades (BBG 1 à BBG 4) qui pourrait être utile à l'évaluation du rôle attributif du BBGC dans l'étendue du dysfonctionnement ventriculaire gauche. Le BBG 1 (Pattern septal non classique type 3) coïncidait avec la présence d'un léger septal flash (difficilement détectable) et d'une FEVG préservée. Avec la perte progressive du travail septal, un strain septal BBG 2 à double pic se développe. La transition de BBG 2 à BBG 3 est particulièrement intéressante, car elle reflète un remodelage plus défavorable, une diminution de la FEVG, et une insuffisance cardiaque qui se développe (Pattern septal classique type 1). Enfin, dans le stade BBG 4, le remodelage avancé du VG entraîne un étirement profond du septum (Hypo contractilité septale, Pattern septal classique type 2). La pathologie myocardique qui précède ou suit l'apparition d'un BBGC ne fait qu'affecter la contractilité régionale du VG et, par conséquent, modifier probablement la progression du remodelage induit par le BBGC (6).

Devant la prédominance du type 3 dans notre série à faible effectif, ce modèle pourrait expliquer nos résultats, où 67 % de la population avaient une FEVG relativement préservée supérieure à 35 % (FEVG moyenne  $45 \pm 12\%$ ) dont la plupart était au stade BBG 1 et 2 (Type 1+3).

L'étude du 2D-strain et des différents patterns de déformation septale devraient être systématiques devant un patient qui présente un BBGC afin de prédire la réponse à l'implantation d'une CRT (Figure 5)



## CONCLUSION

L'étude du strain longitudinal par 2D STE est une étape essentielle chez les patients ayant un BBGC, notamment en vue de sélectionner les meilleurs répondeurs à la resynchronisation. Néanmoins, les paramètres d'asynchronisme basés sur le strain doivent être validés par des études à plus large échelle.

## REFERENCES

- Lumens J, Ploux S, Strik M, Gorcsan J, Cochet H, Derval N, et al. Comparative electromechanical and hemodynamic effects of left ventricular and biventricular pacing in dyssynchronous heart failure. *J Am Coll Cardiol.* 2013 Dec;62(25):2395-403.
- Russell K, Eriksen M, Aaberge L, Wilhelmsen N, Skulstad H, Remme EW, et al. A novel clinical method for quantification of regional left ventricular pressure-strain loop area: a non-invasive index of myocardial work. *Eur Heart J.* 2012 Mar;33(6):724-33.
- Vernooy K, Verbeek XAAM, Peschar M, Crijns HJGM, Arts T, Cornelussen RNM, et al. Left bundle branch block induces ventricular remodeling and functional septal hypoperfusion. *Eur Heart J.* 2005 Jan ;26(1):91-8.
- Smiseth OA, Aalen JM. Mechanism of harm from left bundle branch block. *Trends Cardiovasc Med.* 2019 Aug;29(6):335-42.
- Lumens J, Koopsen T, Beela AS. What do we gain from septal strain? *JACC Cardiovasc Imaging.* 2021 Sep;14(9):1703-6.
- Calle S, Kamoen V, De Buyzere M, De Pooter J, Timmermans F. A strain-based staging classification of left bundle branch block-induced cardiac remodeling. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2021 Sep;14(9):1691-702.
- Leenders GE, Lumens J, Cramer MJ, De Boeck BWL, Doevendans PA, Delhaas T, et al. Septal deformation patterns delineate mechanical dyssynchrony and regional differences in contractility: analysis of patient data using a computer model. *Circ Heart Fail.* 2012 Jan;5(1):87-96.
- Maréchaux S, Guiot A, Castel AL, Guyomar Y, Semichon M, Delelis F, et al. Relationship between two-dimensional speckle-tracking septal strain and response to cardiac resynchronization therapy in patients with left ventricular dysfunction and left bundle branch block: a prospective pilot study. *J Am Soc Echocardiogr.* 2014 May;27(5):501-11.
- Glikson M, Nielsen JC, Kronborg MB, Michowitz Y, Auricchio A, Barbash IM, et al. 2021 ESC guidelines on cardiac pacing and cardiac resynchronization therapy. *Eur Heart J.* 2021 Sep ;42(35):3427-520.
- Kusumoto FM, Schoenfeld MH, Barrett C, Edgerton JR, Ellenbogen KA, Gold MR, et al. 2018 ACC/AHA/HRS guidelines on the evaluation and management of patients with bradycardia and cardiac conduction delay: executive summary. *J Am Coll Cardiol.* 2019 Aug;74(7):932-87.
- Surawicz B, Childers R, Deal BJ, Gettes LS. AHA/ACCF/HRS recommendations for the standardization and interpretation of the electrocardiogram. *J Am Coll Cardiol.* 2009 Mar;53(11):976-81.
- Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, Afilalo J, Armstrong A, Ernande L, et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *J Am Soc Echocardiogr.* 2015 Jan;28(1):1-39.e14.
- Amzulescu MS, De Craene M, Langet H, Pasquet A, Vancraeynest D, Pouleur AC, et al. Myocardial strain imaging: review of general principles, validation, and sources of discrepancies. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2019 Jun ;20(6):605-19.
- Altes A, Menet A, Maréchaux S. Guide pratique

- d'échocardiographie : comment évaluer un asynchronisme ? Elsevier Masson; 2020. Disponible sur: <https://www.elsevier.com/fr-fr/connect/cardiologie/comment-evaluer-un-asynchronisme>
15. Abergel E. Quels paramètres mesurer en écho pour le diagnostic de l'asynchronisme? *AxisSanté*. nov2010; Disponible sur: <https://www.cardiologie-pratique.com/journal/article/imagerie-quels-parametres-mesurer-en-echo-pour-le-diagnostic-de-l-asynchronisme>.
  16. Risum N, Jons C, Olsen NT, Fritz-Hansen T, Bruun NE, Hojgaard MV, et al. Simple regional strain pattern analysis to predict response to cardiac resynchronization therapy: rationale, initial results, and advantages. *Am Heart J*. 2012 Apr;163(4):697-704.
  17. Van Dijk J, Mannaerts HFJ, Germans T, Hauer HA, Knaapen P, Visser CA, et al. The left bundle branch block revised with novel imaging modalities. *Neth Heart J Mon J Neth Soc Cardiol Neth Heart Found*. 2006 Nov;14(11):372-80.
  18. Pérez-Riera AR, Barbosa-Barros R, de Rezende Barbosa MPC, Daminello-Raimundo R, de Abreu LC, Nikus K. Left bundle branch block: epidemiology, etiology, anatomic features, electrovectorcardiography, and classification proposal. *Ann Noninvasive Electrocardiol*. 2019 Mar;24(2):e12572.
  19. World Health Organization. Cardiovascular diseases. 2021 Jun ; Disponible sur : [https://www.who.int/news-room/factsheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/news-room/factsheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds))
  20. Hamoudi A, Ben Abdelaziz A, Melki S, Ben Hassine D, Ben Rejeb N, Omezzine A, et al. Epidemiology of arterial hypertension in Tunisia: Hammam Sousse Sahloul Heart Study (HSHS). *Tunis Med*. 2022 Feb;100(2):167-79.
  21. Mbarki S, Ben Abdelaziz A, Ben Hassine D, Melki S, Ben Rejeb N, Omezzine A, et al. Epidemiology of diabetes mellitus in Tunisia. HSHS 2 study (Hammam Sousse Sahloul Heart Study). *Tunis Med*. 2022 Mar;100(3):229-40.
  22. Bhardwaj R. Etiology and left ventricular functions in left bundle branch block- a prospective observational study. *J Assoc Physicians India*. 2016 Sep;64(9):36-8.
  23. Gold MR, Singh JP, Ellenbogen KA, Yu Y, Wold N, Meyer TE, et al. Interventricular electrical delay is predictive of response to cardiac resynchronization therapy. *JACC Clin Electrophysiol*. 2016 Aug;2(4):438-47.
  24. Ghani A, Delnoy PPHM, Ottervanger JP, Ramdat Misier AR, Smit JJJ, Adiyaman A, et al. Association of apical rocking with long-term major adverse cardiac events in patients undergoing cardiac resynchronization therapy. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2016 Feb;17(2):146-53.
  25. Bennett S, Tafuro J, Duckett S, Heatlie G, Patwala A, Barker D, et al. Septal flash as a predictor of cardiac resynchronization therapy response: a systematic review and meta-analysis. *J Cardiovasc Echography*. 2021;31(4):198.
  26. Corteville B, De Pooter J, De Backer T, El Haddad M, Stroobandt R, Timmermans F. The electrocardiographic characteristics of septal flash in patients with left bundle branch block. *Europace*. 2016 Feb 2;euv461.
  27. De Boeck BWL, Teske AJ, Meine M, Leenders GE, Cramer MJ, Prinzen FW, et al. Septal rebound stretch reflects the functional substrate to cardiac resynchronization therapy and predicts volumetric and neurohormonal response. *Eur J Heart Fail*. 2009 Sep ;11(9):863-71.