

L'IRM dans l'évaluation de la fonction ventriculaire gauche au cours de l'insuffisance cardiaque

MRI in evaluation of left ventricular function in heart failure

Soufia Naccache, Wissem Sdiri*, Rami Tlili, Hela Garram, Youssef Ben Ameer, Mohamed Rachid Boujnah

Service de Cardiologie. Hôpital universitaire Mongi Slim La Marsa

* Service de Cardiologie. Hôpital régional Bougaffa de Bizerte

Résumé

Contexte: L'évaluation de l'insuffisance cardiaque repose actuellement sur l'échocardiographie. Cet examen demeure confronté à plusieurs limites auxquelles vient pallier l'imagerie par résonance magnétique. Cependant, cette technique reste insuffisamment étudiée dans notre pays.

But de l'étude: Etablir la corrélation entre l'échocardiographie et l'imagerie par résonance magnétique cardiaque dans la mesure des diamètres et volumes du ventricule gauche, ainsi que l'étude de la fonction systolique ventriculaire gauche.

Méthodes: Nous avons réalisé une étude prospective et comparative, ayant colligé de manière consécutive 30 patients suivis dans notre service de cardiologie pour insuffisance cardiaque.

Résultats: L'âge moyen de nos malades était de 50 ± 16 ans avec un sexe-ratio à 14. Les cardiopathies sous-jacentes étaient ischémiques dans 50% des cas. Il y avait une très bonne corrélation entre l'échocardiographie et l'imagerie par résonance magnétique cardiaque dans les mesures des diamètres du ventricule gauche avec $r=0,84$ et $p<0,0001$. La corrélation entre les mesures des volumes télédiastolique et télésystolique du ventricule gauche était bonne avec respectivement $r=0,66$ ($p<0,0001$) et $r=0,73$ ($p<0,0001$). Il y avait également une bonne concordance entre les 2 examens pour la mesure de la fraction d'éjection du ventricule gauche avec $r=0,73$ et $p<0,0001$.

Conclusion: L'imagerie par résonance magnétique permet des mesures fiables des diamètres, volumes et de la fraction d'éjection du ventricule gauche avec une excellente concordance avec l'échocardiographie. La principale limite de cet examen demeure sa disponibilité et son coût.

Mots-clés

Echographie cardiaque, imagerie par résonance magnétique, insuffisance cardiaque.

Summary

Background: Echocardiography is used to assess heart failure. This technique is facing many challenges that can be solved by the magnetic resonance imaging. However, this exam remains understudied in our country.

Aim: Our study aims to establish the correlation between echocardiography and cardiac magnetic resonance imaging in the evaluation of left ventricle diameters and volumes, as well as systolic function.

Methods: We conducted a prospective, consecutive and comparative study of 30 patients followed in our Cardiology for heart failure.

Results: The mean age of our patients was 50 ± 16 years with a sex-ratio of 14. Ischemic cardiomyopathy was found in 50 % of cases. There was a good correlation between echocardiography and magnetic resonance imaging measurements of the diameters of the left ventricle with $r=0.84$ and $p<0.0001$. The correlation between the end-systolic and the end-diastolic volumes of the left ventricle was good with respectively $r=0.66$ ($p<0.0001$) and $r=0.73$ ($p<0.0001$). There was also good agreement between the 2 exams for measuring the ejection fraction of the left ventricle with $r=0.73$ and $p<0.0001$.

Conclusion: Magnetic resonance imaging allows reliable measurements of diameters, volumes and ejection fraction of the left ventricle with excellent correlation with echocardiography evaluation. The main limitation of this exam remains its availability and cost.

Keywords

Echocardiography, magnetic resonance imaging, heart failure.

Correspondance

Soufia Naccache

Service de Cardiologie. Hôpital universitaire Mongi Slim La Marsa

naccache.soufia@gmail.com

Cardiologie Tunisienne - Volume 13 N°01 - 1^{er} Trimestre 2017 -35-40

INTRODUCTION

L'insuffisance cardiaque (IC) est une pathologie fréquente et représente un vrai problème de santé publique. Elle touche 1 à 2% de la population adulte dans les pays développés avec une prévalence >10% pour les personnes âgées de plus de 70 ans (1). Son pronostic demeure redoutable malgré les progrès thérapeutiques et la réduction de la mortalité sous l'effet des inhibiteurs de l'enzyme de conversion et des b-bloquants (2). Une bonne évaluation anatomique, structurelle et fonctionnelle des différentes cavités cardiaques permet de guider la conduite thérapeutique. Cette évaluation repose essentiellement sur l'échocardiographie. Néanmoins, cet examen présente plusieurs limites dont essentiellement l'échogénicité du malade et les variabilités inter et intra-observateurs (3). L'imagerie par résonance magnétique (IRM) s'est imposée ces dernières années, comme une technique d'imagerie fiable en pathologie cardio-vasculaire grâce à ses performances dans l'évaluation des indices de fonctionnement ventriculaires gauches aussi bien systolique que diastolique (4-6). Cet examen reste insuffisamment étudié en matière d'insuffisance cardiaque. Les objectifs de ce travail étaient d'évaluer les diamètres et les volumes et la fraction d'éjection ventriculaires gauches par échocardiographie et IRM cardiaque et d'établir les corrélations entre les résultats de ces 2 examens pour les différents paramètres.

MÉTHODES

Etude prospective, comparative ayant colligé de manière consécutive 30 patients, suivis dans notre département de cardiologie pour insuffisance cardiaque. Ont été exclus de l'étude : les patients non coopérants pour la réalisation de l'IRM, porteurs de pacemakers ou de défibrillateurs automatiques implantables et les patients en instabilité hémodynamique ou rythmique. L'appareil d'échographie utilisé était un VIVID E9 (GE Health Care). Les différentes mesures ont été réalisées, via la coupe para sternale grand axe en mode TM et les coupes 2 et 4 cavités en mode bidimensionnel. Pour l'IRM cardiaque, 2 appareils ont été utilisés: Siemens Avanto 1.5 Tesla avec une antenne dédiée en réseau phasé à 5 éléments et GE 1,5 Tesla (General Electric Health care) avec une antenne dédiée en réseau phasé à 8 éléments. La lecture des IRM cardiaques a été faite sur une console de post-traitement. Le contourage endocardique et épicaudique du ventricule gauche (VG) était réalisé sur les séquences dynamiques petit-axe, à l'aide du logiciel Report Card V4 et selon la méthode de Simpson (10). A partir des données de l'examen clinique et des examens complémentaires nous avons recueilli et analysé les éléments suivants : Les caractéristiques cliniques des

patients, les diamètres télésystolique et télédiastolique du ventricule gauche (DTSVG, DTDVG), les volumes télé systolique et télé diastolique du ventricule gauche (VTSVG, VTDVG) et la fraction d'éjection du ventricule gauche (FEVG) à l'échographie et à l'IRM cardiaques. Les données ont été saisies et analysées au moyen du logiciel SPSS version 18.

RÉSULTATS

L'âge moyen de la population étudiée était de 50 ± 16 ans avec des extrêmes allant de 15 à 75 ans. Notre population comportait 28 hommes et 2 femmes avec un sex-ratio de 14. Les cardiopathies sous-jacentes se répartissaient comme suit : Cardiopathie ischémique dans 47% des cas (n=14), Cardiopathie valvulaire dans 10% des cas (n=3), Myocardite dans 7% des cas (n=2), Cardiomyopathie hypertrophique au stade de dysfonction systolique dans 3% des cas (n=1), Un patient avait une cardiomyopathie rythmique et un autre malade avait une cardiomyopathie éthylique, Cardiomyopathie dilatée primitive chez 20% des patients (n=8). Quatorze patients (47%) de l'effectif étaient dans la NYHA IV, 7 patients (23%) en NYHA III, 6 patients (20%) en NYHA II et 3 patients (10%) en NYHA I. Sur le plan électrocardiographique, Le rythme était sinusal chez 22 patients (73%), 8 Patients étaient en fibrillation auriculaire (27%). Un bloc de branche gauche était noté chez 6 patients (20%). A l'échocardiographie : le DTDVG moyen était de $64,2 \pm 8,6$ mm avec des extrêmes allant de 49 mm à 87mm, le DTSVG moyen était $50,57 \pm 9,49$ mm avec des extrêmes allant de 33 mm à 75mm, le VTDVG moyen était de $183 \pm 64,90$ ml avec des extrêmes allant de 52 ml à 420 ml, le VTSVG moyen était de $122,10 \pm 50,69$ ml avec des extrêmes allant de 19 ml à 294 ml, la FEVG moyenne était de $34 \pm 13\%$ avec des extrêmes allant de 6% à 17%, la FEVG était > 45% dans 13% des cas, entre 45% et 35% chez 30% des malades et < 35% chez 57% des patients. A l'IRM cardiaque : Le DTDVG moyen a été de $63,07 \pm 7,70$ mm avec des extrêmes allant de 50 mm à 81mm, le DTSVG moyen a été $49,17 \pm 10,49$ mm avec des extrêmes allant de 28 mm à 68 mm, le VTDVG moyen a été de $255 \pm 80,78$ ml avec des extrêmes allant de 50 ml à 416 ml, le VTSVG moyen a été de $174,53 \pm 73,91$ ml avec des extrêmes allant de 19 ml à 290 ml, la FEVG moyenne a été de $33\% \pm 14\%$ avec des extrêmes allant de 14% à 69%. La FEVG était > 45% dans 20 % des cas, entre 45% et 35% chez 23% des malades et < 35% chez 57% des patients. En étude analytique : Il existait une très bonne corrélation entre les mesures de DTDVG à l'écho et à l'IRM avec $r=0,84$ et $p < 0,0001$. Il existait une très bonne corrélation entre les mesures des DTSVG à l'écho et à l'IRM avec $r=0,84$ et $p < 0,0001$ (Figure 1). La corrélation entre les mesures des VTDVG à l'écho et à l'IRM cardiaque était bonne avec $r=0,66$ et $p < 0,0001$. La corrélation entre les mesures des VTSVG à

l'écho et à l'IRM cardiaque était bonne avec $r=0,72$ et $p < 0,0001$ (Figure 2). L'étude de corrélation entre la FEVG échographique et celle de l'IRM a montré une bonne corrélation avec $r=0,73$ et $p < 0,0001$ (Figure 3). En regroupant les malades en 3 classes selon la FEVG $\geq 45\%$, entre 35-45% et $\leq 35\%$: Il y avait une bonne corrélation entre les 2 examens pour la classe FEVG $< 35\%$ avec $r=0,73$ et $p < 0,0001$. La corrélation entre les 2 techniques était moyenne pour la classe FEVG : 35-45% avec $r=0,49$ et $p=0,014$ et la classe FEVG $> 45\%$ avec $r=0,52$ et $p=0,018$. Il y avait 9 malades sur 30 qui ont été classés différemment à l'écho et à l'IRM soit 30 % de l'effectif (Tableau 1). Au final, il existait une bonne concordance entre les paramètres systoliques de performance ventriculaire gauche mesurés à l'échocardiographie et à l'IRM cardiaque (Tableau 2).

Tableau 1 : Les patients classés différemment à l'écho et l'IRM

Malade	FEVG à l'écho	FEVG à l'IRM
1	30%	21%
2	37%	32%
3	34%	37%
4	65%	27%
5	25%	38%
6	41%	52%
7	35%	37%
8	34%	44%
9	35%	39%

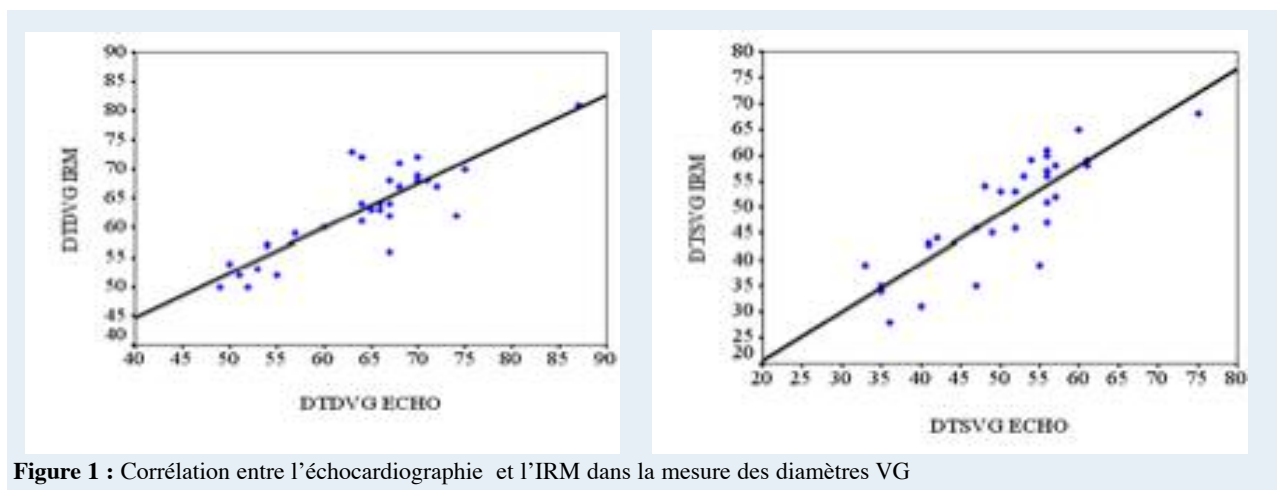


Figure 1 : Corrélation entre l'échocardiographie et l'IRM dans la mesure des diamètres VG

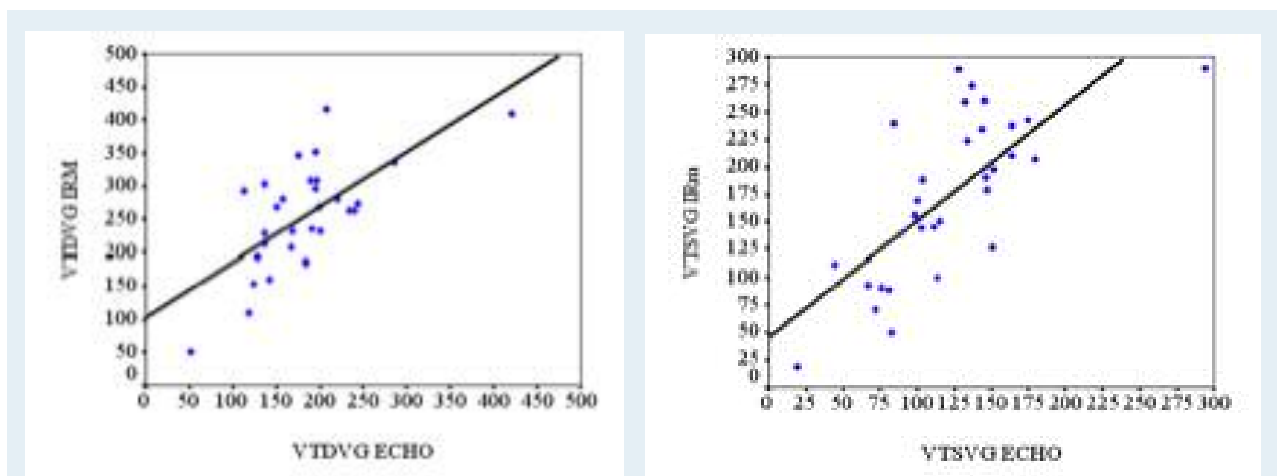
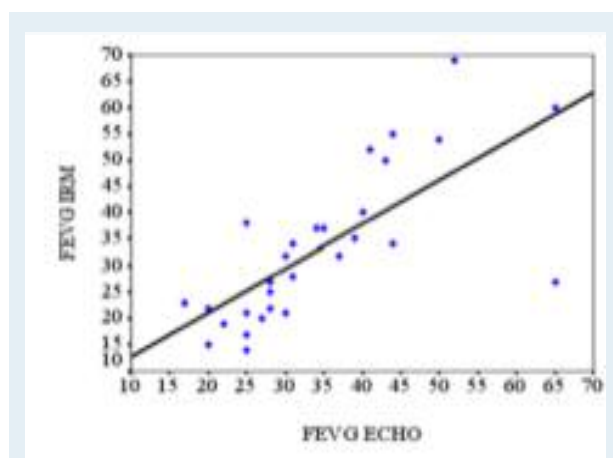


Figure 2 : Corrélation entre l'échocardiographie et l'IRM dans la mesure des volumes VG

Tableau 1 : Tableau comparatif des résultats à l'échocardiographie et à l'IRM

	Echo	IRM	Correlation	
DTDVG	64,2±8,6 mm	63,07±7,70 mm	r=0,84	p<0,0001
DTSVG	50,57±9,49 mm	49,17±10,49 mm	r=0,84	p<0,0001
VTDVDG	183±64,90 ml	255 ± 80,78 ml	r=0,66	p<0,0001
VTSVG	122,10±50,69 ml	174,53±73,91 ml	r=0,72	p<0,0001
FEVG	34±13%	33±14%	r=0,73	p<0,0001
FEVG >45%	13%	20%	r=0,52	p=0,018
FEVG : 35-45%	30%	23%	r=0,49	p=0,014
FEVG <35%	57%	57%	r=0,73	p<0,0001

**Figure 3 :** Corrélation entre l'échocardiographie et l'IRM dans la mesure de la FEVG

DISCUSSION

Etant donné la prévalence de l'IC, l'échocardiographie par sa disponibilité, son faible coût, son caractère anodin et non invasif constitue une technique de référence (8). Cependant, l'échocardiographie présente, malgré les progrès techniques réalisés, des limites (9). En effet, cet examen peut parfois se heurter à un problème d'échogénicité du malade, ceci est particulièrement gênant pour les malades obèses ou ayant une fenêtre acoustique étroite (10). D'autre part, l'échocardiographie est un examen opérateur dépendant nécessitant le recours à un cardiologue expérimenté posant un problème de variabilité inter et intra-observateurs parfois considérable (11). Elle fournit des données en mode biplan, extrapolées par la suite afin d'obtenir des résultats en tridimensionnel. Ceci suppose que le VG a une forme géométrique bien précise et identique chez tous les patients. Ces approximations peuvent être une source d'erreur d'autant plus que certaines mesures comme le calcul de la FEVG sont

basées sur des formules mathématiques pouvant amplifier les erreurs de mesures (12). De plus, l'échocardiographie présente une faible résolution spatiale pouvant rendre difficile la visualisation des contours sous-endocardiques chez certains malades (13).

Mesure des diamètres du VG :

L'IRM cardiaque permet l'étude de l'anatomie cardiaque grâce à une imagerie dynamique en mode ciné avec une bonne résolution spatiale et temporelle (12). Elle offre par ailleurs un excellent contraste entre le sang circulant (hypersignal) et le myocarde (hyposignal) (14). Pour chaque niveau de coupe, 30-35 images sont obtenues au cours d'un cycle cardiaque reconstruit, au prix d'une apnée de seulement quelques secondes (15). Friedman et al (16) ont conclu dans une étude faite sur 21 volontaires sains, à une bonne corrélation entre les mesures des diamètres entre l'échocardiographie et l'IRM cardiaque avec une tendance de l'échocardiographie à la surestimation. Un autre travail fait par Jakubovic et al (17) a conclu à une surestimation des DTDVG à l'échographie 2D par rapport à l'IRM et ceci d'une manière statistiquement significative. Dans notre étude, il y avait une très bonne corrélation entre les mesures de diamètres réalisées à l'échocardiographie et ceux à l'IRM cardiaque avec $p < 0,0001$.

Mesure des volumes du VG :

En IRM cardiaque, le VG est divisé en coupes fines allant de la base vers l'apex (généralement 8 à 10 coupes de 7 à 10 mm) appelées coupes petit-axe (18). Les contours endo- et épicaudiques sont tracés de façon manuelle, semi-automatisée ou automatisée (18). L'excellent contraste sang-myocarde et le bon rapport signal/bruit des séquences d'écho de gradient à l'état d'équilibre permettent une étude morphologique plus exacte des ventricules (12). Contrairement à l'échographie, la qualité de l'image en IRM est indépendante de la localisation de la coupe et le traitement des images ne nécessite pas des approximations géométriques. Ceci est particulièrement intéressant chez les patients

insuffisants cardiaques, qui représentent d'importantes variations régionales de la forme (remodelage négatif, anévrysme, trabéculations) et de la contractilité myocardique (19). Dans notre travail, il y avait une bonne corrélation entre ces 2 techniques d'imagerie en matière de mesure des VTDVG et des VTSVG, avec $p < 0,0001$. Cependant, l'échocardiographie avait une tendance à la sous-estimation des volumes. En effet, Le VTDVG moyen à l'écho était de $183 \pm 64,90$ ml versus $255 \pm 80,78$ ml à l'IRM et le VTSVG moyen était $122,10 \pm 50,69$ ml à l'écho versus $174,53 \pm 73,91$ ml à l'IRM. Cette différence n'a pas atteint le seuil de significativité. Ces résultats sont similaires à ceux retrouvés par Chuang et al (20) qui ont comparé l'échographie à l'IRM cardiaque dans l'évaluation des volumes du VG. Cette étude a inclus 35 malades, 25 ayant une cardiopathie dilatée d'origine ischémique ou non ischémique et 10 volontaires sains.

L'échocardiographie sous-estimait d'une manière statistiquement significative les VTDVG et les VTSVG avec une variabilité inter et intra-observateur considérable pouvant atteindre 24,3% pour le VTSVG dans le groupe échographie. Cependant, l'inclusion du muscle papillaire dans les mesures, pouvait induire une surestimation des volumes VG par l'échocardiographie (21).

Evaluation de la FEVG :

La FEVG est un important indicateur de la sévérité et du pronostic de l'insuffisance cardiaque aussi bien ischémique que non ischémique. En effet, plusieurs décisions thérapeutiques, comme la mise en place d'un défibrillateur ou la resynchronisation cardiaque, dépendent entre autres de la FEVG. Pour ces raisons, une évaluation précise de la fonction ventriculaire gauche s'avère nécessaire pour la prise en charge et le suivi de ces malades. L'échocardiographie bidimensionnelle demeure la technique non invasive la plus utilisée afin de déterminer la FEVG et ceci principalement en raison de sa disponibilité. Cependant, cet examen fournit des données quantitatives en mode biplan, extrapolées par la suite, afin d'obtenir des résultats en tridimensionnel. De plus, l'évaluation de la FEVG repose sur la méthode de Simpson modifié qui demeure approximative (12). L'IRM cardiaque a remédié à ces limites en ayant recours à des mesures 3D qui, sans être extrapolées, respectait les variantes anatomiques de chaque patient (12). Nous avons classé les patients en 3 groupes selon que la FEVG était supérieure à 45%, entre 45 et 35% ou inférieure à 35%, la corrélation entre les deux examens était différente selon les classes. En effet, 57% des patients avaient une FEVG $< 35\%$ aussi bien à l'écho qu'à l'IRM. La corrélation était moyenne entre ces 2 examens pour les 2 autres classes, ainsi 13% avaient une FEVG $> 45\%$ à l'échographie versus 20% à l'IRM et 30% avaient une FEVG entre 35 et 45% à l'écho versus 23% à l'IRM. Ainsi, 9

malades soit 30% de notre effectif ont été différemment classés, cette disparité est particulièrement fréquente au cours de la cardiopathie ischémique. En conclusion, il existait une bonne corrélation globale entre l'écho et l'IRM dans notre travail dans l'évaluation de la FEVG avec une tendance de l'échocardiographie à la sous-estimation de ce paramètre en particulier dans la tranche ayant une FEVG $> 35\%$. Reichek et al (22) ont comparé les FEVG à l'échographie 2D et à l'IRM chez 28 patients au décours d'un infarctus du myocarde (IDM) et ont conclu à la supériorité de l'IRM par rapport à l'échographie dans l'évaluation de la FEVG. Dix patients soit 35% de l'effectif étaient mal évalués (FEVG $\geq 40\%$ vs $< 40\%$) à l'échocardiographie par rapport à l'IRM. Hoffmann et al (23) ont mené une étude multicentrique incluant 120 patients classés selon la FEVG : $> 55\%$, 35-55%, $< 35\%$. Cette étude a comparé la mesure de la FEVG par la Ciné-angiographie du VG par cathétérisme cardiaque, l'IRM cardiaque, l'écho sans contraste et l'échographie avec contraste. Les auteurs ont conclu à une corrélation moyenne entre l'écho sans contraste et l'IRM ($r = 0,60$, $p < 0,05$). La variabilité inter-observateurs entre les groupes était plus élevée dans le groupe écho sans contraste. De même, Chuang et al, en comparant les différentes méthodes non invasives de la mesure de la FEVG n'ont pas trouvé de différence statistiquement significative entre les 2 examens (20). Cependant, en classant les malades en 3 groupes : FEVG $> 55\%$, FEVG entre 55-35% et FEVG $< 35\%$, 44% des patients étaient différemment classés à l'échographie et l'IRM avec une variabilité inter et intra-observateur à l'échographie qui étaient respectivement de 17,8% et 13,4%. L'IRM permet également la détermination précise de la fonction contractile régionale ventriculaire par la mesure de l'épaississement myocardique segmentaire (24).

CONCLUSION

L'IC représente la conséquence ultime de toutes les cardiopathies. Elle occupe une place grandissante dans les préoccupations quotidiennes des services de cardiologie. Il y a donc un réel besoin d'un meilleur affinement diagnostique et pronostique afin de proposer un traitement optimal. L'échocardiographie demeure l'examen de première intention à réaliser chez tout malade insuffisant cardiaque. En sa faveur, sa disponibilité, son faible coût et son caractère répétitif. Cependant, cet examen est entaché de plusieurs limites à savoir son caractère opérateur dépendant et son faible rendement chez les malades peu échogènes. L'IRM représente une technique d'imagerie tridimensionnelle et non invasive qui permet d'acquérir des images cardiaques de haute résolution, pouvant ainsi pallier aux insuffisances de l'échocardiographie. Notre travail montre une bonne corrélation entre l'écho et l'IRM dans l'étude des diamètres, des volumes VG et de la FEVG.

L'IRM cardiaque, doit être considérée comme le « Gold Standard » pour l'étude de la fonction ventriculaire gauche. Compte tenu de sa fiabilité, l'IRM devrait être proposée à tout malade porteur d'une insuffisance cardiaque et spécialement lorsque les mesures du VG

sont discordants d'un examen échographique à un autre, lorsque Les malades sont peu échogènes et lorsque l'évaluation précise de la fonction VG aura des retombées thérapeutiques majeures (Indication d'une resynchronisation ou d'un défibrillateur...).

REFERENCES

- Mosterd A, Hoes AW. Clinical epidemiology of heart failure. *Heart* 2007;93: 1137-114
- McMurray JJ, Adamopoulos S, Anker SD 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 developed in collaboration with the Heart Failure Association (HFA) of the ESC. *Eur J Heart Fail* 2012;14:803-69.
- Chuang ML, Beaudin RA, Riley MF et al. Three-dimensional echocardiographic measurement of left ventricular mass: comparison with magnetic resonance imaging and two-dimensional echocardiographic determinations in man. *Int J Card Imaging* 2000;16:347-57.
- Pattynama PM, Lamb HJ, van der Velde EA et al. Left ventricular measurements with cine and spin-echo MR imaging: a study of reproducibility with variance component analysis. *Radiology* 1993; 187:261-8.
- Grothues F, Moon JC, Bellenger NG et al. Interstudy reproducibility of right ventricular volumes, function, and mass with cardiovascular magnetic resonance. *Am Heart J* 2004; 147:218-23.
- Selvanayagam JB, Kardos A, Francis JM et al. Value of delayed-enhancement cardiovascular magnetic resonance imaging in predicting myocardial viability after surgical revascularization. *Circulation* 2004 Sep;110:1535-41.
- Vignaux O, Deux JF, Chabrilat Y et al. Cardiac MRI: Technical considerations. *J Radiol* 2009;90:1133-43
- Slaughter RE, Mottram PM. What Should Be the Principle Imaging Test in Heart Failure—CMR or Echocardiography. *JACC Cardiovascular imaging* 2010;3:776-82.
- Hundley WG, Hamilton CA, Thomas MS et al. Utility of fast cine magnetic resonance imaging and display for the detection of myocardial ischemia in patients not well suited for second harmonic stress echocardiography. *Circulation* 1999;100:1697-702.
- Nagel E, Lehmkuhl HB, Bocksch W et al. Noninvasive diagnosis of ischemia-induced wall motion abnormalities with the use of high-dose dobutamine stress MRI: comparison with dobutamine stress echocardiography. *Circulation* 1999; 99:763-70.
- Kim WY, Danias PG, Stuber M et al. Coronary magnetic resonance angiography for the detection of coronary stenosis. *N Engl J Med* 2001;345:1863-9.
- Strohm O, Schulz-Menger J, Pilz B et al. Measurement of left ventricular dimensions and function in patients with dilated cardiomyopathy. *J Magn Reson Imaging* 2001;13:367-71.
- Wu E, Judd RM, Vargas JD et al. Visualisation of presence, location, and transmural extent of healed Q-wave and non-Q-wave myocardial infarction. *Lancet* 2001;357:21-8.
- Sarwar A, Shapiro MD, Abbara S et al. Cardiac magnetic resonance imaging for the evaluation of ventricular function. *Semin Roentgenol* 2008;43:183-92.
- Hendel RC, Patel MR, Kramer CM. ACCF/ACR/SCCT/SCMR/ASNC/NASCI/SCAI/SIR 2006 appropriateness criteria for cardiac computed tomography and cardiac magnetic resonance imaging: a report of the American College of Cardiology Foundation Quality Strategic Directions Committee Appropriateness Criteria Working Group, American College of Radiology, Society of Cardiovascular Computed Tomography, Society for Cardiovascular Magnetic Resonance, American Society of Nuclear Cardiology, North American Society for Cardiac Imaging, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, and Society of Interventional Radiology. *J Am Coll Cardiol* 2006; 48:1475-97.
- Sahn DJ, DeMaria A, Kisslo J, Weyman A. Recommendations regarding quantitation in M-mode echocardiography: results of a survey of echocardiographic measurements. *Circulation* 1978;58:1072-83.
- De Simone G, Muiesan ML, Ganau A, Longhini C, Verdecchia P, Palmieri V et al. Reliability and limitations of echocardiographic measurement of left ventricular mass for risk stratification and follow-up in single patients: the RES trial. Working Group on Heart and Hypertension of the Italian Society of Hypertension. *Reliability of M-mode Echocardiographic Studies. J Hypertens* 1999;17:1955-63.
- Gottdiener JS, Livengood SV, Meyer PS, Chase GA. Should echocardiography be performed to assess effects of antihypertensive therapy? Test-retest reliability of echocardiography for measurement of left ventricular mass and function. *J Am Coll Cardiol* 1995;25:424-30.
- Keren A, Billingham ME, Popp RL. Echocardiographic recognition of paraseptal structures. *J Am Coll Cardiol* 1985;6:913-9.
- Shapiro EP, Rogers WJ, Beyar R, Soulen RL, Zerhouni EA, Lima JA et al. Determination of left ventricular mass by magnetic resonance imaging in hearts deformed by acute infarction. *Circulation* 1989;79:706-11.
- Myerson SG, Bellenger NG, Pennell DJ. Assessment of left ventricular mass by cardiovascular magnetic resonance. *Hypertension* 2002;39:750-5.
- Germain P, Roul G, Kastler B, Mossard JM, Bareiss P, Sacrez A. Inter-study variability in left ventricular mass measurement. Comparison between M-mode echography and MRI. *Eur Heart J* 1992;13:1011-9.
- Missouris CG, Forbat SM, Singer DR, Markandu ND, Underwood R, MacGregor GA. Echocardiography overestimates left ventricular mass: a comparative study with magnetic resonance imaging in patients with hypertension. *J Hypertens* 1996;14:1005-10.
- Rajappan K, Bellenger NG, Melina G, Di Terlizzi M, Yacoub MH, Sheridan DJ et al. Assessment of left ventricular mass regression after aortic valve replacement--cardiovascular magnetic resonance versus M-mode echocardiography. *Eur J Cardiothorac Surg* 2003;24:59-65.