

Nouvelles techniques en imagerie d'effort

IRM cardiaque à l'effort

L'IRM cardiaque à l'effort est une nouvelle technique d'imagerie à l'effort. Cette technique présente l'intérêt de pouvoir finement étudier les variations de volume et de fonction ventriculaires induites à l'effort. Ses applications sont nombreuses, notamment en cardiologie du sport, où la recherche de réserve contractile à l'effort est un élément important pour différencier un cœur d'athlète d'une cardiopathie débutante (cardiomyopathie dilatée ou maladie arythmogène du ventricule droit). Bien que cette technique ne soit pour le moment réservée qu'à certains centres dans le cadre d'une activité de recherche, il est probable qu'elle se démocratise dans un avenir proche.

Dr Frédéric Schnell¹, Dr Guido Claessen²

L'imagerie par résonance magnétique (IRM) cardiaque s'est imposée comme l'examen de référence pour mesurer les volumes ventriculaires (1-3) et atriaux (4) au repos. En effet, cette technique fiable et reproductible permet une excellente définition de l'apex cardiaque, une excellente visualisation de l'endocarde et ceci sans problème d'échogénicité. Il est donc tout naturel que cette technique soit de plus en plus utilisée chez l'athlète (1-3, 5), notamment en cas d'anomalie du bilan initial, que ce soit en cas de symptômes, d'anomalie ECG (4-6), d'arythmie (7) ou de doute échocardiographique sur l'existence d'une cardiomyopathie morphologique et/ou fonctionnelle.

IMAGERIE DE STRESS

Le cœur d'un athlète regroupe les adaptations cardiovasculaires qui lui permettent de "performer" à l'effort. Les symptômes survenant le plus souvent à l'effort, l'intérêt d'éva-



>>> Figure 1 - Déroulement d'une IRM cardiaque à l'effort : le sujet pédale dans l'IRM en position allongée.

luer les athlètes à l'effort n'est plus à démontrer. Ceci est possible grâce à l'utilisation des tests d'effort. L'intégration des informations issues des différentes techniques d'imagerie cardiaque à l'effort permet d'en accroître la pertinence diagnostique. La scintigraphie myocardique permet une bonne étude de la fonction ventriculaire gauche (VG), mais présente l'inconvénient d'être irradiante. Ceci limite son utilisation, notamment chez les jeunes athlètes. L'échocardiographie d'effort permet d'évaluer la réserve contractile VG (en cas de

suspicion de cardiomyopathie dilatée), de rechercher la présence d'un gradient intra-VG (en cas de suspicion de cardiomyopathie hypertrophique), l'apparition ou l'aggravation d'une valvulopathie, ainsi que d'évaluer les pressions pulmonaires à l'effort. L'IRM de stress sous antiagrégant plaquettaire fait maintenant partie de l'arsenal des techniques à notre disposition, elle est déjà utilisée dans certains centres comme technique de routine clinique. En effet, l'utilisation d'un antiagrégant plaquettaire permet d'évaluer

¹Service de médecine du sport, CHU Pontchaillou ; laboratoire de physiologie, université Rennes 1 ; Inserm UMR 1099 ; Rennes

²Département de cardiologie, hôpital universitaire Gasthuisberg-université de Louvain, Belgique

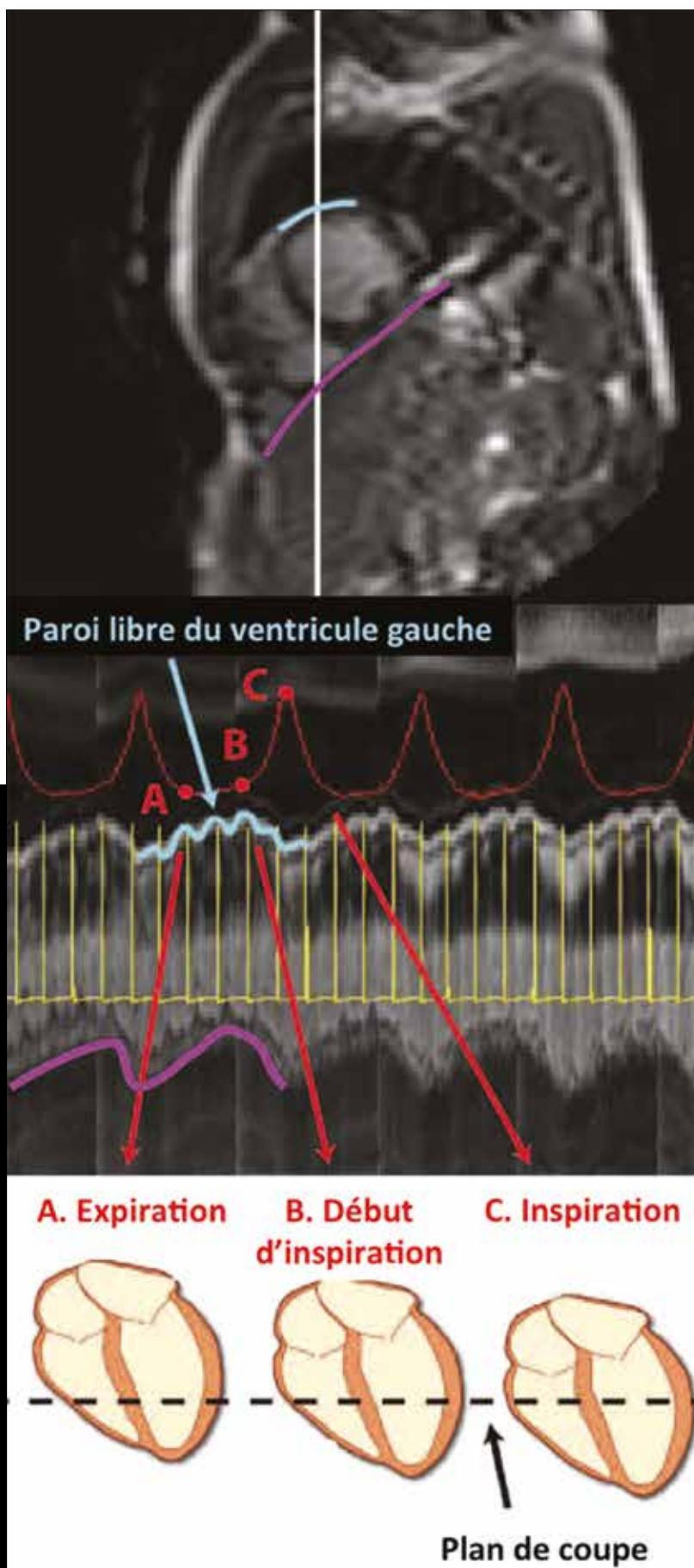
l'ischémie myocardique grâce à des séquences de perfusion de 1^{er} passage. Ceci, couplé à l'utilisation de séquences de rehaussement tardif après injection de gadolinium, permet de coupler imagerie d'ischémie et de viabilité. Les sensibilité et spécificité de l'IRM de stress sont ainsi équivalentes à celles de la scintigraphie myocardique (8), sans en avoir les inconvénients en termes d'irradiation. Cette technique a démontré son intérêt en termes d'évaluation pronostique. En effet, l'importance de la dysfonction VG est un facteur prédictif de survenue d'événement cardiovasculaire (9). Chez l'athlète, l'utilisation du stress physiologique qu'est l'effort est plus adaptée que la réalisation d'un stress pharmacologique. Compte tenu des avantages de l'IRM de repos décrit précédemment, il semble pertinent d'essayer d'utiliser l'IRM comme technique d'imagerie à l'effort.

>>> Figure 2 - Synchronisation des données d'imagerie, ECG et de respiration afin de compenser la translation cardiaque pendant l'effort. Modifié d'après La Gerche A et al. Circ Cardiovasc Imaging. 2012

En rouge : données respiratoires issues de la pléthysmographie

En jaune : tracé ECG

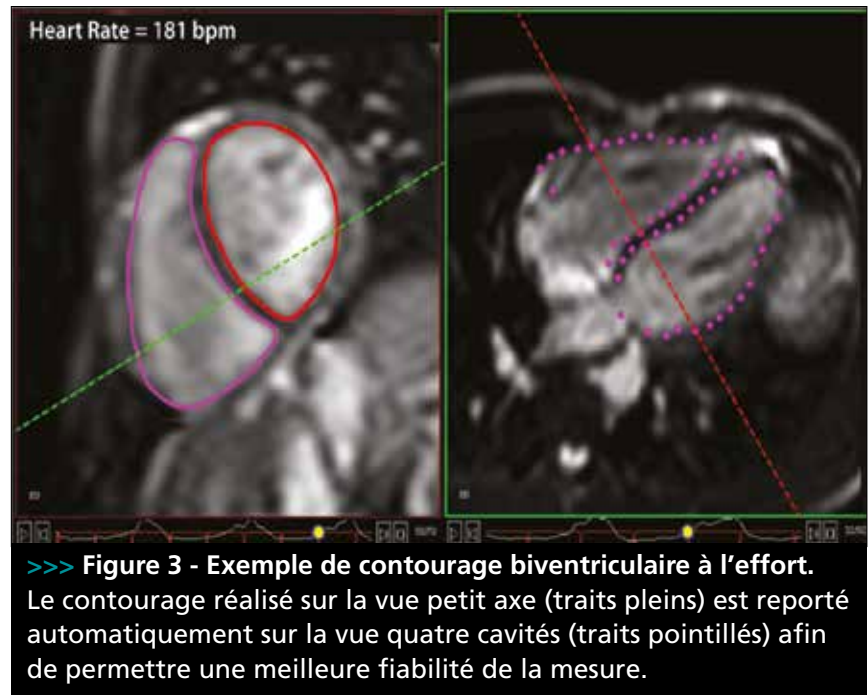
Ces données sont synchronisées de manière rétrospective avec les images IRM. L'inspiration est associée à une élévation de la pression pléthysmographique (point C) et à un mouvement inférieur du diaphragme (violet) et du cœur (paroi antéro-septale VG en bleu). Le VG se contracte après chaque QRS, mais se déplace également vers le bas lors de l'inspiration. Toutes les analyses volumétriques sont réalisées au même moment du cycle respiratoire afin de neutraliser l'effet de la translation cardiaque en lien avec la respiration.



CONTRAINTES LIÉES À L'IRM

Néanmoins, l'utilisation de l'IRM expose à certaines contraintes techniques. La première contrainte est celle de la présence d'un champ magnétique. Ceci nécessite l'utilisation d'ergomètres adaptés ne contenant aucun élément ferromagnétique. Différentes solutions ont été développées : l'utilisation de l'imagerie en post-effort a été privilégiée aux États-Unis, notamment en utilisant un tapis roulant modifié, ne contenant donc pas d'élément magnétique (10-12). D'autres équipes ont utilisé des ergomètres plus artisanaux, par exemple un système de poulies lestées de sacs de sable afin de permettre la réalisation d'efforts statiques avec les bras pendant la réalisation de l'IRM (13). Il est par ailleurs possible de faire réaliser un effort de pédalage, en position allongée, en utilisant un ergocycle amagnétique (Fig. 1) (14). Ce système est actuellement commercialisé par Lode® (Groningen, Pays-Bas). Il présente l'avantage de pouvoir réaliser les acquisitions pendant l'effort et d'obtenir un effort standardisé, puisque la charge est ajustable.

La seconde contrainte de l'IRM est en lien avec l'acquisition des images, surtout lorsqu'elle est réalisée per-effort. Lors d'un effort intense, les mouvements respiratoires peuvent être importants, occasionnant donc des mouvements de translation cardiaque marqués. Si l'acquisition est réalisée en temps réel, en respiration libre, et non au cours d'un blocage respiratoire, cela peut fausser l'analyse du volume si ce dernier est analysé par la sommation de volumes des différentes coupes jointives acquises en temps réel et non sous la forme d'un volume 3D unique (14-16). L'acquisition en respiration libre est néanmoins indispensable pour pouvoir réaliser un effort physique important. Pour pouvoir intégrer



cette contrainte, il faut réaliser en post-traitement une synchronisation des images avec les données de respiration et d'ECG enregistrées par l'IRM (Fig. 2).


Une analyse des volumes cavitaires, par contourage, est alors possible (Fig. 3). Grâce à ce système de synchronisation avec l'ECG et la respiration, cette technique a été validée en comparaison avec des données invasives (14), permettant de démontrer une excellente corrélation entre le débit cardiaque évalué par la méthode de Fick et le débit cardiaque évalué par méthode volumétrique ($R = 0,96$). La reproductibilité de l'évaluation du débit cardiaque sur deux examens réalisés à distance chez un même sujet est également excellente ($R = 0,98$).

PLACE DE L'IRM D'EFFORT

L'IRM permettant une quantification fine des volumes, cette technique est utilisée pour évaluer finement les fonctions ventriculaires gauche et droite (17). Ceci paraît particulièrement intéressant pour l'évaluation

du ventricule droit, dont l'étude n'est pas aisée en échocardiographie d'effort (16-18). Il est également possible d'utiliser cette technique pour étudier la fonction de vidange des oreillettes. D'autres équipes ont utilisé l'IRM en post-effort associée non pas uniquement à des techniques de quantification des volumes, mais également en analysant la perfusion myocardique. Ceci permettant de mieux évaluer la maladie coronaire (10-12). Les techniques de contraste de phases permettent quant à elles la quantification de la vitesse et du flux à travers un orifice valvulaire et pourront permettre l'évaluation des valvulaires à l'effort (13).

CONCLUSION

L'IRM d'effort qui n'est pas encore disponible en routine clinique est très certainement une technique d'avenir. Sa place en clinique par rapport aux autres techniques reste à définir. 

MOTS-CLÉS

IRM cardiaque, Effort, Réserve contractile, Athlète

BIBLIOGRAPHIE

1. Hundley WG, Bluemke DA, Finn JP *et al.* ACCF/ACR/AHA/NASCI/SCMR 2010 expert consensus document on cardiovascular magnetic resonance: a report of the American College of Cardiology Foundation Task Force on Expert Consensus Documents. *J Am Coll Cardiol* 2010 ; 55 : 2614-62.
2. Kühl HP, Schreckenber M, Rulands D *et al.* High-resolution transthoracic real-time three-dimensional echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 2004 ; 43 : 2083-90.
3. Hoffmann R, von Bardeleben S, Ten Cate F *et al.* Assessment of systolic left ventricular function: a multi-centre comparison of cineventriculography, cardiac magnetic resonance imaging, unenhanced and contrast-enhanced echocardiography. *Eur Heart J* 2004 ; 26 : 607-16.
4. Posina K, McLaughlin J, Rhee P *et al.* Relation of phasic left atrial volume and emptying function to left ventricular filling: a cardiovascular magnetic resonance study. *J Cardiovasc Magn Reson* 2013 ; 15 : 99.
5. La Gerche A, Baggish AL, Knuuti J *et al.* Cardiac imaging and stress testing asymptomatic athletes to identify those at risk of sudden cardiac death. *JACC Cardiovasc Imaging* 2013 ; 6 : 993-1007.
6. Schnell F, Riding N, O'Hanlon R *et al.* Recognition and significance of pathological T-wave inversions in athletes. *Circulation* 2015 ; 131 : 165-73.
7. Zipes DP, Link MS, Ackerman MJ *et al.* Eligibility and disqualification recommendations for competitive athletes with cardiovascular abnormalities: Task Force 9: arrhythmias and conduction defects. *J Am Coll Cardiol* 2015 ; 132 : 315-25.
8. Schwitler J, Wacker CM, van Rossum AC *et al.* MR-IMPACT: comparison of perfusion-cardiac magnetic resonance with single-photon emission computed tomography for the detection of coronary artery disease in a multicentre, multivendor, randomized trial. *Eur Heart J* 2008 ; 29 : 480-9.
9. Bodi V, Sanchis J, Lopez-Lereu MP *et al.* Prognostic value of dipyridamole stress cardiovascular magnetic resonance imaging in patients with known or suspected coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 2007 ; 50 : 1174-9.
10. Jekic M, Foster EL, Ballinger MR *et al.* Cardiac function and myocardial perfusion immediately following maximal treadmill exercise inside the MRI room. *J Cardiovasc Magn Reson* 2008 ; 10 : 3.
11. Raman SV, Dickerson JA, Jekic M *et al.* Real-time cine and myocardial perfusion with treadmill exercise stress cardiovascular magnetic resonance in patients referred for stress SPECT. *J Cardiovasc Magn Reson* 2010 ; 12 : 41.
12. Raman SV, Richards DR, Jekic M *et al.* Treadmill Stress Cardiac Magnetic Resonance Imaging. *J Am Coll Cardiol* 2008 ; 52 : 1884.
13. Mortensen KH, Jones A, Steeden JA *et al.* Isometric stress in cardiovascular magnetic resonance, a simple and easily replicable method of assessing cardiovascular differences not apparent at rest. *Eur Radiol* 2015 ; 26 : 1009-17.
14. La Gerche A, Claessen G, Van De Bruaene A *et al.* Cardiac Magnetic Resonance Imaging: A New Gold Standard for Ventricular Volume Quantification During High-Intensity Exercise. *Circ Cardiovasc Imaging* 2012 ; 6 : 329-38.
15. Claessen G, Claus P, Delcroix M *et al.* Interaction between respiration and right versus left ventricular volumes at rest and during exercise: a real-time cardiac magnetic resonance study. *AJP: Heart and Circulatory Physiology* 2014 ; 306 : 816-24.
16. Claessen G, Claus P, Ghysels S *et al.* Right ventricular fatigue developing during endurance exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2014 ; 46 : 1717-26.
17. Schnell F, Claessen G, La Gerche A *et al.* Subepicardial delayed gadolinium enhancement in asymptomatic athletes: let sleeping dogs lie? *Br J Sports Med* 2016 ; 50 : 111-7.
18. La Gerche A, Claessen G, Dymarkowski S *et al.* Exercise-induced right ventricular dysfunction is associated with ventricular arrhythmias in endurance athletes. *Eur Heart J* 2015 ; 36 : 1998-2010.