

L'année cardiologique

Quoi de neuf en imagerie cardiovasculaire ?



T. PEZEL¹, J. GAROT²

¹Département d'imagerie cardiovasculaire, Johns Hopkins Hospital, Baltimore (États-Unis).
²Institut Cardiovasculaire Paris Sud, MASSY.

L'imagerie cardiovasculaire multimodale concentre aujourd'hui l'essentiel des innovations en cardiologie. Au-delà de l'échocardiographie, toujours en développement, l'IRM et le scanner cardiaque deviennent année après année de plus en plus présents, jouant un rôle crucial dans notre pratique quotidienne.

Cette innovation constante et le dynamisme des différentes équipes internationales sur le sujet expliquent sans doute en partie le fait que l'imagerie cardiovasculaire multimodale demeure, cette année encore, la surspécialité la plus plébiscitée par nos jeunes collègues en France, devant la cardiologie interventionnelle ou la rythmologie, d'après un sondage réalisé par le Collège des cardiologues en formation (CCF, le groupe des jeunes de la Société Française de Cardiologie).

L'objectif de cet article est de présenter les nouveautés du domaine en insistant sur les innovations actuelles et futures pour notre pratique.

IRM cardiaque

1. Nouvelles données dans l'IRM cardiaque de stress

L'IRM cardiaque de stress dans sa forme actuelle permet la détection d'une maladie coronaire obstructive après l'injection d'un agent vasodilatateur (adénosine, dipyridamole ou régadénoson), ou plus rarement de dobutamine. Très récemment, l'équipe canadienne du Pr Matthias Friedrich a proposé une nou-

velle méthode de stress ne nécessitant pas l'injection d'un agent dédié [1]. En effet, cette équipe vient de montrer des performances diagnostiques similaires à travers un nouveau protocole de stress reposant sur des manœuvres d'hyperventilation du patient lors de son examen. Ainsi, dans cette étude, l'analyse de 122 patients suspectés de maladie coronaire a permis de mettre en évidence pour ce nouveau protocole une sensibilité de 81 % et une spécificité de 86 %, en utilisant à la fois une analyse visuelle de la présence d'un défaut de perfusion et l'analyse du *strain* myocardique au stress [1]. Ce protocole n'est bien sûr pas applicable à tous les patients et nécessite d'être validé à plus grande échelle, mais il ouvre brillamment la voie à de nouvelles méthodes de stress plus faciles encore pour le patient.

Un obstacle fréquemment évoqué pour la réalisation de l'IRM concerne la présence d'un pacemaker. Comme vous le savez, de nombreuses données ont déjà montré que la réalisation d'une IRM chez un patient porteur d'un pacemaker IRM-compatible ne présentait aucun risque pour le patient, à condition que le pacemaker soit évalué en amont de l'examen par un rythmologue [2]. L'autre difficulté liée à la présence d'un pacemaker est qu'il peut entraîner certains artefacts métalliques sur les images [3], et il n'y avait jusqu'alors que très peu de données sur l'impact de ces artefacts en termes de performances diagnostiques et pronostiques. Dans une étude française récente regroupant 224 patients adressés pour une IRM de stress avec un pacemaker IRM-compatible, la performance diagnostique de l'IRM de stress est restée

excellente dans la quasi-totalité des cas avec une qualité d'image jugée bonne à excellente dans 84,1 % des segments du ventricule gauche et une confiance dans le diagnostic final dans 95 % des cas [4].

Au-delà de la performance diagnostique, cette étude nous rassure également quant à la valeur pronostique de l'IRM de stress chez les patients porteurs de pacemaker avec une excellente prédiction de la survenue des événements cardiovasculaires sévères chez les patients présentant une ischémie, similaire aux résultats déjà décrits dans la population générale, après un suivi médian de 7 ans (**fig. 1**) [4].

L'une des pathologies qui retient le plus l'attention de l'ensemble du monde cardiologique ces dernières années est sans conteste l'insuffisance à fraction d'éjection ventriculaire gauche (FEVG) préservée (HFpEF). En effet, jusqu'aux résultats positifs de l'étude EMPEROR-Preserved sur les inhibiteurs des SGLT2 [5], présentés à l'ESC cette année, aucun traitement n'existait pour cette pathologie [6]. L'une des explications fréquemment avancées est **la grande hétérogénéité de cette population** mêlant troubles de la fonction diastolique, anomalies du remodelage ventriculaire, présence d'une fibrose interstitielle diffuse, anomalies de la microcirculation coronaire, voire

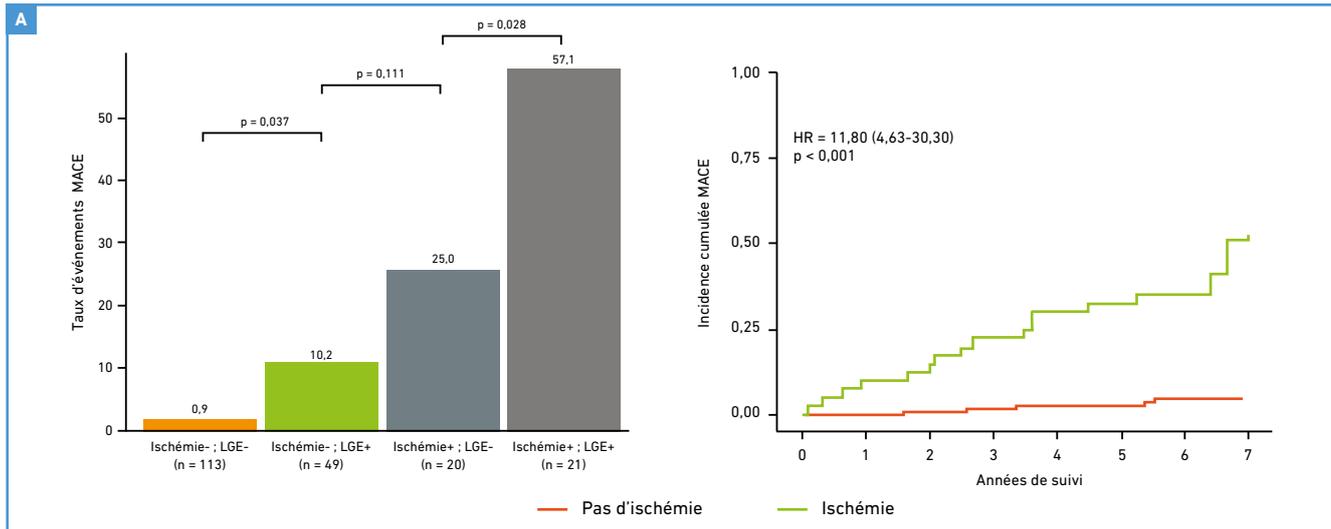


Fig. 1 : Valeur pronostique de l'IRM de stress chez les patients porteurs de pacemaker (d'après [4]). LGE: *late gadolinium enhancement*; MACE: *major adverse cardiovascular events*. **A :** Fréquence cumulée des MACE à 7 ans. **B :** Courbe de Kaplan-Meier de survie des MACE stratifiés en fonction de la présence d'une ischémie inducible.

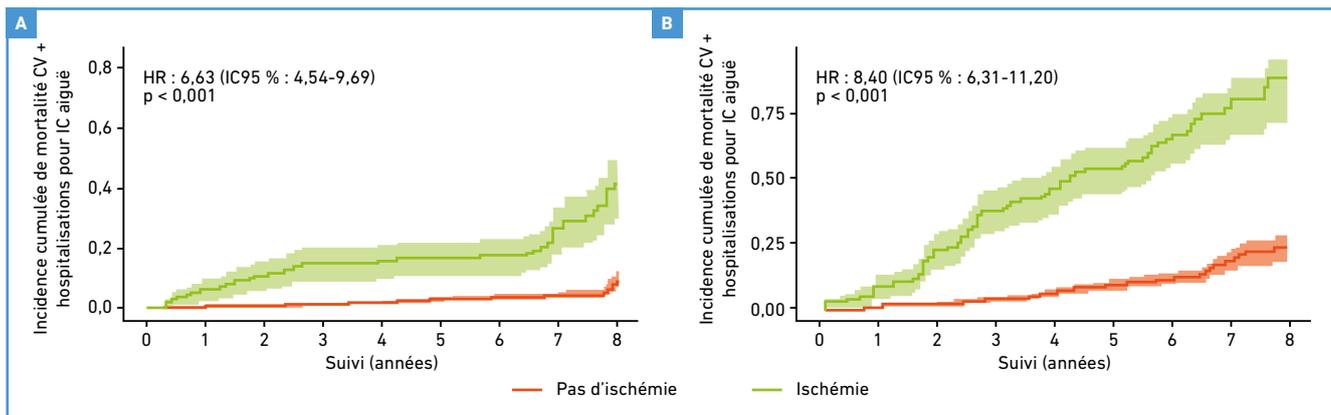


Fig. 2 : Valeur pronostique de l'ischémie myocardique chez des patients insuffisants cardiaques à FEVG préservée pour prédire les événements cardiovasculaires (**A :** MACE: mortalité cardiovasculaire ou infarctus du myocarde) et les événements d'insuffisance cardiaque; **B :** mortalité cardiovasculaire ou réhospitalisation pour insuffisance cardiaque) (d'après [8]).

même une composante ischémique possible évoquée par certains auteurs [6, 7].

Afin d'adresser cette question, une autre étude française publiée cette année a utilisé l'IRM cardiaque de stress pour investiguer cette hypothèse physiopathologique de l'implication d'une composante ischémique chez les patients insuffisants cardiaques à FEVG préservée [8]. En effet, 1 203 patients avec antécédent d'hospitalisation pour insuffisance cardiaque à FEVG préservée, sans maladie coronaire connue, ont été évalués par IRM cardiaque de stress, puis suivis pendant

une durée médiane de 6,9 années. Dans cette étude monocentrique française, les patients qui présentaient une ischémie inducible avaient un risque plus élevé de réaliser des événements coronaires, mais également des réhospitalisations pour insuffisance cardiaque (**fig. 2**) [8]. Cette étude montre l'importance de continuer à dépister la maladie coronaire chez nos patients insuffisants cardiaques à FEVG préservée, mais elle fournit également des pistes intéressantes quant à l'importance de la composante ischémique pour expliquer certaines décompensations cardiaques à FEVG préservée.

2. Intérêt du T2-mapping pour détecter la présence d'un shunt gauche-droit en routine clinique

Nous souhaitons absolument rapporter ici ce magnifique travail proposé récemment par l'équipe du Pr. Emrich de l'Université de Caroline du Sud qui montre, pour la première fois, un possible intérêt de l'utilisation du T2-mapping (cartographie T2) en IRM cardiaque pour détecter les *shunts* gauche-droit comme, par exemple, une communication interauriculaire [9]. En effet, pour comprendre ce résultat, il faut tout d'abord savoir que

L'année cardiologique

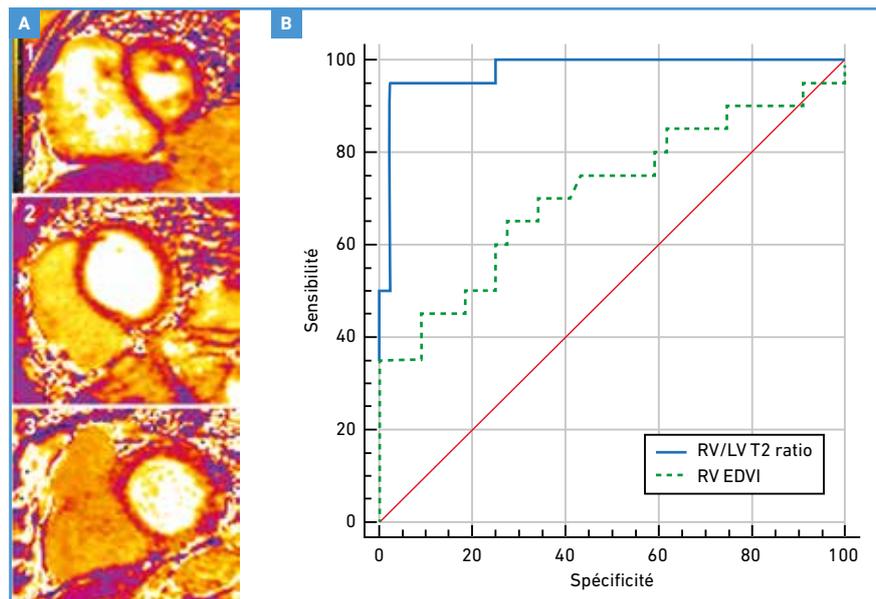


Fig. 3 : Utilisation du T2-mapping pour détecter la présence d'un *shunt* gauche-droit (d'après [9]). **A :** exemples de T2-mapping chez différents patients: (1) volontaire sain : avec une valeur de T2-mapping du pool sanguin du VD proche de celui du VG; (2) patient avec dysfonction VD sans *shunt* gauche-droit: avec une valeur de T2-mapping du pool sanguin du VD plus basse; (3) patient avec *shunt* gauche-droit: avec une valeur de T2-mapping du pool sanguin du VD effondrée avec une baisse du rapport "T2-mapping pool sanguin VD/T2-mapping pool sanguin VG". **B :** courbes ROC permettant de comparer la performance diagnostique du rapport "T2-mapping pool sanguin VD/T2-mapping pool sanguin VG" par rapport à la dilata-tion du VD pour le diagnostic de *shunt* gauche-droit (diagnostic de référence par mesure du QP/QS).

l'imagerie pondérée T2 est très sensible à l'oxygénation du sang et peut donc être capable de détecter les différences d'oxygénation entre le sang dans le ventricule gauche normalement riche en oxygène et le sang dans le ventricule droit normalement pauvre en oxygène. Ainsi, la méthode consiste à mesurer la valeur de T2-mapping au milieu du pool sanguin du ventriculaire gauche, puis du pool sanguin au milieu du ventricule droit. On calcule alors le rapport suivant : "T2-mapping pool sanguin VD/T2-mapping pool sanguin VG" (fig. 3). En cas de présence d'un *shunt* gauche-droit, il y a un mélange du sang riche en oxygène issu du cœur gauche et du sang pauvre en oxygène issu du cœur droit conduisant donc à une diminution du rapport du T2 mesuré au niveau du ventricule droit sur le T2 mesuré au niveau du ventricule gauche.

La valeur intéressante à retenir pour notre pratique est qu'un rapport "T2-mapping pool sanguin VD/T2-mapping pool sanguin VG" > 0,78 avait une valeur prédictive négative de 100 % permettant d'éliminer la présence d'un *shunt* gauche-droit [9]. Ces résultats doivent bien sûr être vérifiés sur de plus grosses cohortes, mais cela souligne l'incroyable potentiel de l'utilisation du T2-mapping en routine clinique, au-delà de la simple caractérisation myocardique.

3. L'IRM capable de distinguer un transsudat d'un exsudat à l'aide du T1-mapping!

Le T1-mapping (cartographie T1) est devenu un outil indispensable de caractérisation tissulaire du myocarde permettant d'établir un diagnostic de certaines cardiomyopathies comme la maladie de Fabry-Anderson, mais également de quantifier le degré de fibrose interstitielle diffuse. Mais c'est sur une autre dimension que l'équipe du Pr Charlotte Manisty nous propose d'utiliser le T1-mapping : différencier les épanchements exsudatifs des épanchements transsudatifs ! [10] Dans cette

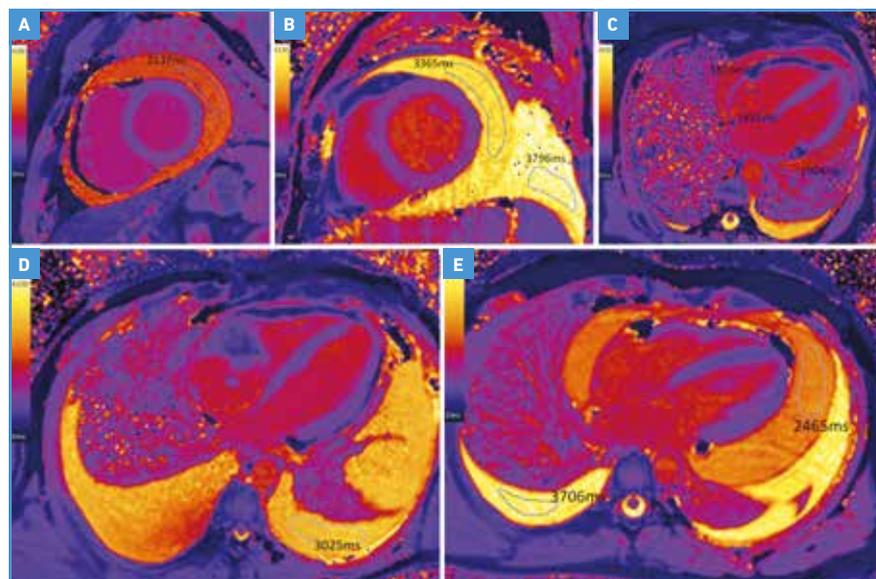


Fig. 4 : Utilisation du T1-mapping pour différencier de façon non invasive les épanchements exsudatifs des épanchements transsudatifs (d'après [10]). Exemples de T1-mapping de patients présentant des épanchements de différentes étiologies. **A :** exsudat péricardique chez un patient présentant une péricardite aiguë. **B :** transsudat péricardique et pleural sur insuffisance cardiaque à FEVg réduite. **C :** hémopéricarde suite à une biopsie endomyocardique compliquée où les valeurs T1 mesurées du sang intracardiaque et du liquide péricardique étaient similaires. **D :** exsudat pleural chez un patient présentant un angiosarcome envahissant l'OD avec infiltration péricardique. **E :** épanchement péricardique exsudatif (2465 ms) et pleural transsudatif (3706 ms) chez un patient atteint d'un lymphome lymphoblastique aigu correspondant à des taux de protéines du fluide de 38 g/L et 26 g/L, respectivement.

étude récente évaluant 86 patients avec épanchements péricardiques et/ou pleuraux, explorés à l'aide d'une analyse biochimique sur ponction de l'épanchement, les valeurs de T1-mapping d'un épanchement exsudatif étaient significativement plus faibles que celles des épanchements transsudatifs (fig. 4). Ces résultats étaient similaires pour les épanchements pleuraux et péricardiques. Il est intéressant de souligner que, comparée aux résultats biochimiques à partir d'une ponction, l'utilisation du T1-mapping permettait de distinguer les transsudats des exsudats avec une sensibilité de 95 % et une spécificité de 81 % [10].

Cette étude extrêmement bien pensée met là encore l'accent sur l'incroyable impact de l'IRM cardiaque dans notre routine, à travers son pouvoir de caractérisation tissulaire.

4. Développement d'un nouvel index de couplage auriculo-ventriculaire gauche : le LACI

De nombreuses études ont montré la valeur pronostique à long terme de multiples paramètres fonctionnels évaluant séparément le ventricule gauche (volumes VG, FEVG, *strain* du VG...) et l'oreillette gauche (volumes de l'oreillette gauche, *strain* de l'OG...). Cependant, ventricule gauche et oreillette gauche sont étroitement liés dans leur fonctionnement, véritable couple connecté sur le plan hémodynamique de façon préférentielle en fin de diastole. C'est à partir de ce rationnel que l'équipe du Pr Joao Lima, au sein du Johns Hopkins Hospital à Baltimore, a proposé cette année le premier index de couplage auriculo-ventriculaire gauche évalué en IRM cardiaque ! La définition de ce nouvel index est très simple, car il s'agit du "volume télédiastolique de l'oreillette gauche divisé par le volume télédiastolique du ventricule gauche" (fig. 5) [11].

Plusieurs études publiées cette année ont évalué la valeur pronostique de ce nouvel

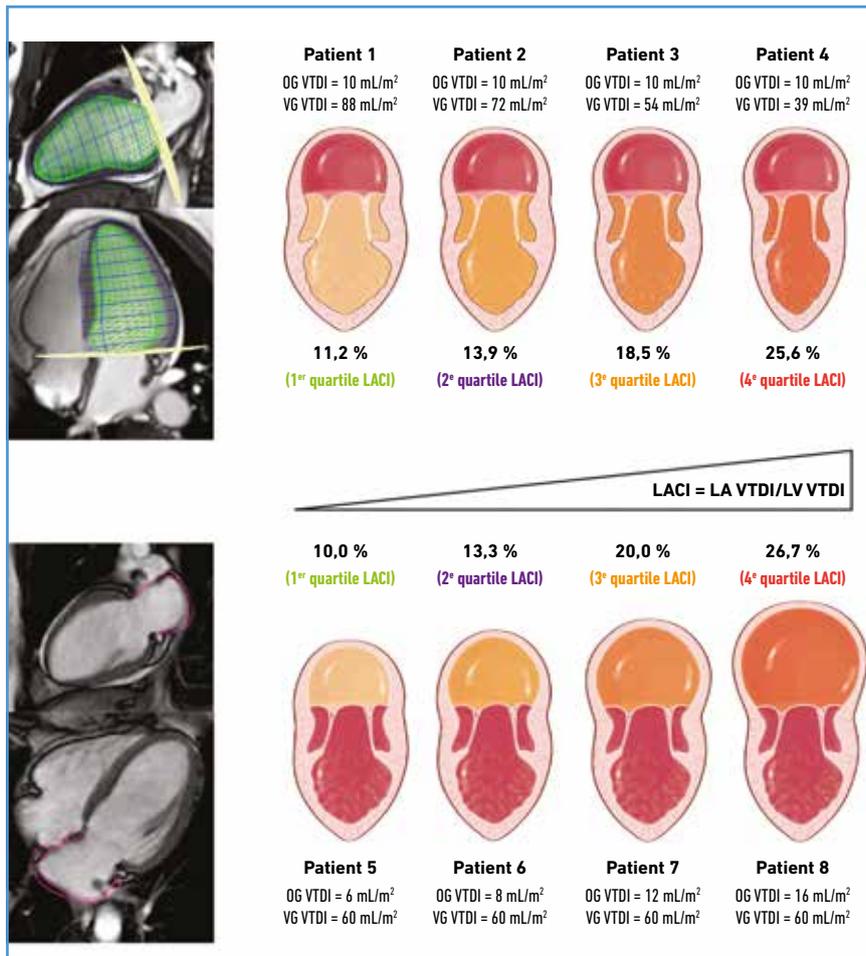


Fig. 5 : Nouvel index de couplage auriculo-ventriculaire gauche (LACI) (d'après [11]). Index défini par le rapport du "volume télédiastolique de l'oreillette gauche divisé par le volume télédiastolique du ventricule gauche" permettant de détecter simultanément des anomalies du VG et de l'OG.

index au sein de la cohorte américaine MESA, constituée de 6 814 individus indemnes de maladie cardiovasculaire à l'inclusion, avec un suivi clinique médian de plus de 16 ans [11-13]. Ainsi, la valeur pronostique du LACI (*Left Atrioventricular Coupling Index*) était supérieure à n'importe quel autre index évaluant le ventriculaire gauche ou l'oreillette gauche séparément pour la prédiction des événements cardiovasculaires au sein de de cette population en prévention primaire. Plus qu'un énième index d'imagerie cardiaque, le LACI est un véritable signal plaidant pour l'évaluation simultanée du couplage auriculo-ventriculaire gauche dans notre pratique quotidienne.

Scanner cardiaque

1. Évaluation de la graisse péri-coronaire en scanner : nouveau marqueur du risque cardiovasculaire

Plusieurs études récentes ont montré que le degré d'atténuation de la graisse péri-coronaire mesurée à l'aide d'un coroscanner constituait une nouvelle mesure fiable de l'inflammation péri-coronaire et du risque cardiovasculaire [14]. Les premières études utilisaient un coroscanner injecté, facilitant l'identification de la lumière coronaire et de la graisse péri-coronaire. Dans une étude très récente publiée cette année, l'évaluation de 119 patients avec acquisition injectée et

L'année cardiologique

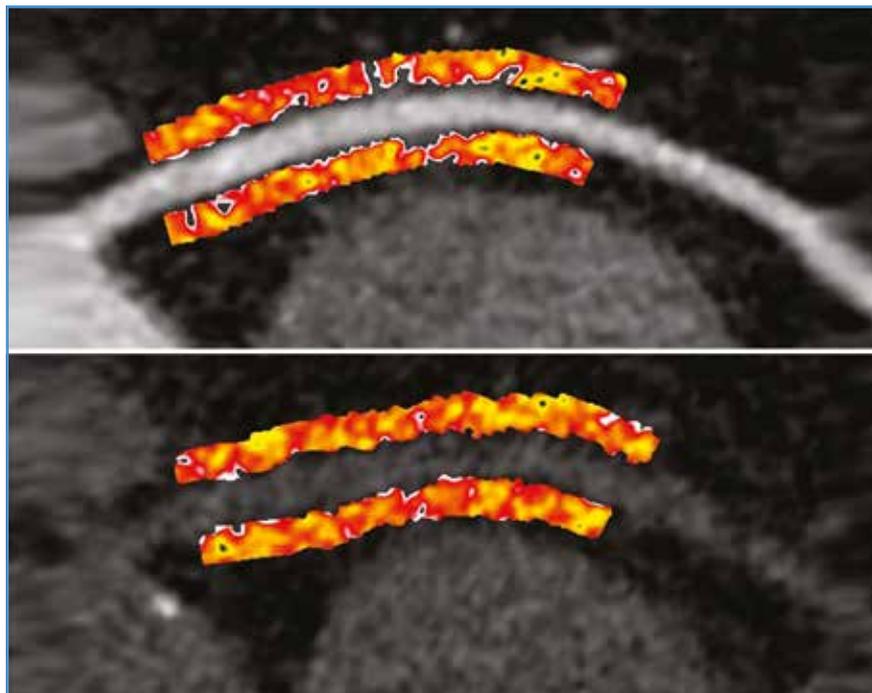


Fig. 6 : Quantification de la graisse péri-coronaire à partir d'un scanner cardiaque avec (en haut) et sans injection de produit de contraste (en bas) (d'après [15]).

non injectée a montré que l'évaluation de la graisse péri-coronaire pouvait également être mesurée de manière fiable et robuste, à partir d'images scanner non injectées (**fig. 6**) [15]. Ces résultats récents et nombreux, issus de différentes équipes internationales, montrent que la coronaire n'est pas le seul élément donnant une information importante au scanner mais que la région qui entoure la coronaire est également importante à évaluer. Ainsi, au-delà d'autres biomarqueurs de l'inflammation déjà utilisés en routine comme la CRP ultrasensible, cette analyse de la graisse péri-coronaire disponible sur toutes les acquisitions de scanner cardiaque, avec ou sans injection, s'avère très intéressante.

2. Nouvelles données dans le scanner pré-TAVI des patients avec bicuspidie aortique

Tout patient chez lequel un TAVI doit être réalisé doit avoir un scanner pré-TAVI dédié permettant l'évaluation de la faisabilité du geste ainsi que le choix

de la prothèse. L'une des entités les plus importantes à mesurer lors de la réalisation du scanner pré-TAVI sont incontestablement celles réalisées au niveau de l'anneau aortique, afin de choisir la taille optimale de la prothèse à mettre en place. En effet, une prothèse trop petite ou trop grande exposerait aux principales complications du TAVI. Chez un patient avec une valve aortique tricuspide, les données de la littérature sont plutôt claires et c'est la mesure de l'anneau aortique qui

permet de choisir la taille optimale de la prothèse. Cependant, chez le patient avec bicuspidie aortique, il est fréquent d'ajouter la mesure de l'anneau supra-aortique afin de s'assurer de la bonne taille de la prothèse choisie.

Dans une étude récemment publiée, l'équipe du Pr Leipsic de l'Université de Vancouver a étudié 44 patients adressés pour un TAVI avec une bicuspidie aortique [16]. Les auteurs ont mesuré à la fois l'anneau aortique et l'anneau supra-valvulaire aortique, correspondant à la surface située au niveau de la mesure de la distance inter-commissurale (**fig. 7**). Cette étude rapporte que la mesure de la surface supra-annulaire était significativement moins reproductible que la surface de l'anneau aortique. De plus, il n'y avait pas de différence dans les taux de complications procédurales chez les patients chez lesquels le dimensionnement supra-annulaire aurait modifié la taille du dispositif utilisé. Ces résultats ne suggèrent donc aucun rôle pour le dimensionnement supra-annulaire chez les patients avec bicuspidie aortique dans la pratique clinique actuelle. Bien évidemment, ces résultats intéressants devront être confirmés sur d'autres séries de patients.

3. Évaluation du strain du ventricule gauche maintenant disponible à partir d'un scanner cardiaque

Le *strain* longitudinal global du ventricule gauche est devenu un outil dia-

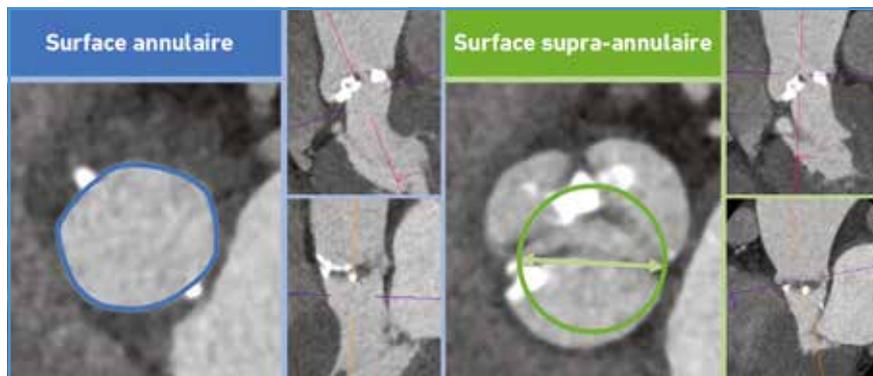


Fig. 7 : Mesure de la surface annulaire et de la surface supra-annulaire sur un scanner pré-TAVI d'un patient avec bicuspidie aortique (d'après [16]).

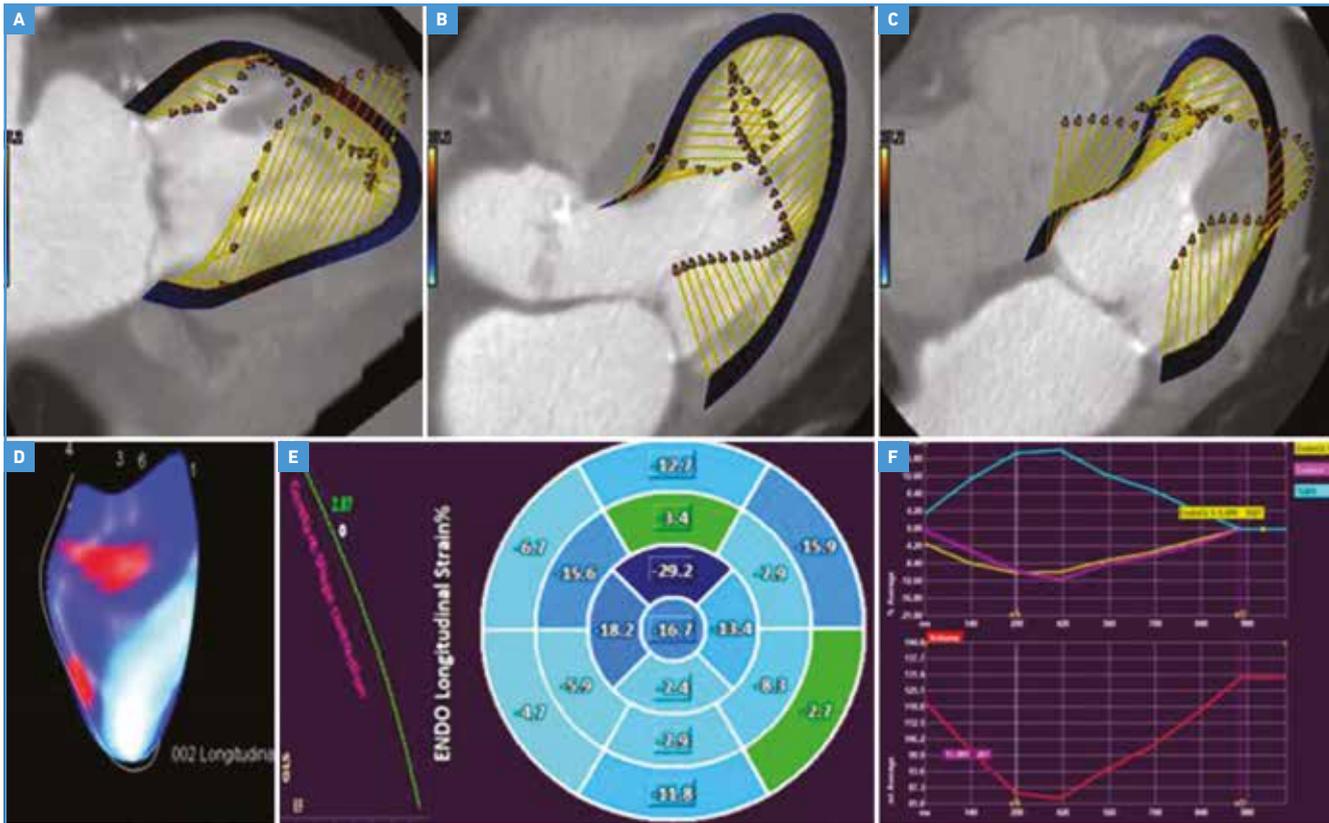


Fig. 8 : Mesure du *strain* ventriculaire gauche par *feature tracking* à partir d'un examen de scanner cardiaque standard (d'après [17]).

gnostique et pronostique intéressant dans certaines situations cliniques du quotidien comme, par exemple, dans le bilan de cardiomyopathie hypertrophique ou dans un contexte de cardiotoxicité des chimiothérapies. Son évaluation, longtemps réalisée à partir d'échocardiographie ou d'IRM cardiaque, est aujourd'hui disponible en post-traitement à partir d'acquisitions de coroscanner par *feature tracking* (fig. 8) [17].

La grande force du scanner est de présenter la meilleure résolution spatiale possible en imagerie mais avec en général une résolution temporelle limitée. C'est ce qui a longtemps expliqué l'absence de développement de cette technique sur le scanner. Cependant, les scanners de dernière génération (équivalent de 320 barrettes) ont permis d'augmenter de façon spectaculaire la résolution temporelle avec l'acqui-

sition de l'ensemble du volume cardiaque sur un seul battement ! Ainsi, des études récentes ont montré la bonne faisabilité et la performance diagnostique de la réalisation du *strain* longitudinal global du VG à l'aide d'images de coroscanner [17].

Rappelons malgré tout que le scanner est irradiant (même si les doses ont drastiquement diminué), comparé à l'échographie et à l'IRM cardiaque qui ne le sont pas du tout. Connaissant le développement des algorithmes d'intelligence artificielle complètement automatiques, le coroscanner de demain, au-delà de fournir l'évaluation de la présence d'une maladie coronaire obstructive et de la charge adénomateuse du patient, apportera également une mesure précise de la fonction myocardique globale à travers une valeur de *strain*, marqueur pronostique fort et précoce du risque d'événements cardiovasculaires.

Conclusion

Quel bonheur ! Nous sommes en train de vivre une période de progrès absolument sans précédent dans le monde de l'imagerie cardiovasculaire multimodale. IRM et scanner cardiaques deviennent des outils indispensables au quotidien pour la prise en charge des patients avec une évaluation non invasive de plus en plus performante. À l'instar des études mentionnées montrant l'utilisation du T1-mapping pour distinguer des épanchements transsudatifs d'épanchements exsudatifs, ou encore du degré d'atténuation de la graisse péricoronaire comme biomarqueur du risque cardiovasculaire du patient, l'imagerie cardiovasculaire multimodale nous permet une caractérisation du patient toujours plus précise, tout en diminuant la nécessité d'explorations invasives.

Alors oui, l'accès à l'IRM cardiaque reste encore trop limité aujourd'hui à l'échelle

L'année cardiologique

nationale. Mais incités année après année par de plus en plus d'*evidence-based medicine*, les pouvoirs publics finiront progressivement par faciliter le développement de ces techniques devenues absolument indispensables à la prise en charge de nos patients.

BIBLIOGRAPHIE

- OCHS MM, KAJZAR I, SALATZKI J *et al.* Hyperventilation/Breath-Hold Maneuver to Detect Myocardial Ischemia by *Strain*-Encoded CMR: Diagnostic Accuracy of a Needle-Free Stress Protocol. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2021;S1936-878X(21)00204-7.
- NAZARIAN S, HANSFORD R, RAHSEPAR AA *et al.* Safety of Magnetic Resonance Imaging in Patients with Cardiac Devices. *N Engl J Med*, 2017;377:2555-2564.
- SHINBANE JS, COLLETTI PM, SHELLOCK FG. MR imaging in patients with pacemakers and other devices: engineering the future. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2012;5:332-333.
- PEZEL T, LACOTTE J, TOUPIN S *et al.* Diagnostic Accuracy of Stress Perfusion CMR for Risk Stratification in Patients With MR-Conditional Pacemakers. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2021;S1936-878X(21)00504-0.
- ANKER SD, BUTLER J, FILIPPATOS G *et al.* Empagliflozin in Heart Failure with a Preserved Ejection Fraction. *N Engl J Med*, 2021. Online ahead of print.
- MCDONAGH TA, METRA M, ADAMO M *et al.* 2021 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure. *Eur Heart J*, 2021;ehab368.
- PEZEL T, VIALLOM M, CROISILLE P *et al.* Imaging Interstitial Fibrosis, Left Ventricular Remodeling, and Function in Stage A and B Heart Failure. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2021;14:1038-1052.
- PEZEL T, HOVASSE T, SANGUINETI F *et al.* Long-Term Prognostic Value of Stress CMR in Patients With Heart Failure and Preserved Ejection Fraction. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2021;S1936-878X(21)00270-9.
- EMRICH T, BORDONARO V, SCHOEPEF UJ *et al.* Right/Left Ventricular Blood Pool T2 Ratio as an Innovative Cardiac MRI Screening Tool for the Identification of Left-to-Right Shunts in Patients With Right Ventricular Disease. *J Magn Reson Imaging*, 2021. Online ahead of print.
- ROSMINI S, SERAPHIM A, KNOTT K *et al.* Non-invasive characterization of pleural and pericardial effusions using T1 mapping by magnetic resonance imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 2021;jeab128. Online ahead of print.
- PEZEL T, VENKATESH BA, DE VASCONCELLOS HD *et al.* Left Atrioventricular Coupling Index as a Prognostic Marker of Cardiovascular Events: The MESA Study. Hypertension 2021; HYPERTENSIONAHA12117339.
- PEZEL T, AMBALE VENKATESH B, KATO Y *et al.* Left Atrioventricular Coupling Index to Predict Incident Heart Failure: The Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis (MESA). *Front Cardiovasc Med*, 2021;in press.
- PEZEL T, AMBALE VENKATESH B, QUINAGLIA T *et al.* Change in Left Atrioventricular Coupling Index on Cardiac MRI to Predict Incident Atrial Fibrillation: The Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis (MESA). *Eur Heart J-Cardiovasc Imaging*, 2021;22:jeab090.080.
- HOSHINO M, ZHANG J, SUGIYAMA T *et al.* Prognostic value of pericoronary inflammation and unsupervised machine-learning-defined phenotypic clustering of CT angiographic findings. *Int J Cardiol*, 2021;333:226-232.
- ALMEIDA S, PELTER M, SHAIKH K *et al.* Feasibility of measuring pericoronary fat from precontrast scans: Effect of iodinated contrast on pericoronary fat attenuation. *J Cardiovasc Comput Tomogr*, 2020;14:490-494.
- WEIR-McCALL JR, ATTINGER-TOLLER A, BLANKE P *et al.* Annular versus supra-annular sizing for transcatheter aortic valve replacement in bicuspid aortic valve disease. *J Cardiovasc Comput Tomogr*, 2020;14:407-413.
- GEGENAVA T, BIJL P VAN DER, HIRASAWA K *et al.* Feature tracking computed tomography-derived left ventricular global longitudinal *strain* in patients with aortic stenosis: a comparative analysis with echocardiographic measurements. *J Cardiovasc Comput Tomogr*, 2020;14:240-245.

Les auteurs ont déclaré ne pas avoir de conflits d'intérêts concernant les données publiées dans cet article.