

L'IMAGERIE CARDIOVASCULAIRE MULTIMODALITÉS AVANT L'IMPLANTATION D'UNE PROTHÈSE VALVULAIRE AORTIQUE PAR VOIE PERCUTANÉE

L. DAVIN (1), P.J. BRUYÈRE (2), P. LANCELLOTTI (3), L. PIÉRARD (4), V. LEGRAND (5)

RÉSUMÉ : Le rétrécissement valvulaire aortique (RAo) dégénératif est la valvulopathie la plus fréquente dans les pays industrialisés, avec un pronostic extrêmement sombre lorsqu'il devient symptomatique. Cependant, on constate que certains de ces patients ne sont pas opérés. Les raisons principales sont un âge avancé, des co-morbidités importantes et un risque chirurgical élevé. Il est désormais possible de proposer l'implantation percutanée d'une bio-prothèse valvulaire aortique. Après sélection du candidat, on évalue la faisabilité de l'intervention. La taille de la prothèse aortique doit être choisie en fonction de l'anatomie cardiaque. Plusieurs modalités d'imagerie (échocardiographie, CT scanner et RMN cardiaque) peuvent être utilisées pour identifier les situations inappropriées. Des calcifications ou des tortuosités importantes peuvent constituer un obstacle à l'abord fémoral. La voie sous-clavière (pour la prothèse CoreValve) et l'approche trans-apicale (pour la valve d'Edwards) représentent des alternatives intéressantes.

MOTS-CLÉS : Sténose valvulaire aortique - Prothèse par voie percutanée

MULTIMODAL CARDIOVASCULAR IMAGING BEFORE AORTIC VALVE TRANSCATHETER REPLACEMENT

SUMMARY : Calcified aortic valve stenosis is the most frequent valvular heart disease in developed countries with a very poor outcome when symptoms develop. However, several of these patients are denied for surgery. The main reasons are their advanced age (elderly patient), co-morbidities, technical limitations and a very high surgical risk. It is currently possible to propose a Transcatheter Aortic Valve Implantation (TAVI). After selection of candidates, the feasibility of the intervention is analysed. The size of the aortic bioprosthesis must be selected according to the cardiac anatomy. Several cardiac imaging modalities (echocardiography, computed tomography and cardiac MRI) can be used to identify unsuitable situations. Heavy calcifications or tortuosity can thwart the retrograde approach use. The sub-clavian arteries (for the CoreValve) and trans-apical approach (for the Edwards-Sapien) constitute alternatives ways.

KEYWORDS : Aortic valve stenosis - Transcatheter aortic valve implantation

L'implantation d'une prothèse valvulaire aortique par voie percutanée «Transcatheter Aortic Valve Implantation» (TAVI) s'est développée aux cours des dernières années. Cette modalité thérapeutique est actuellement proposée pour le traitement des patients atteints de sténose aortique sévère symptomatique à risque chirurgical élevé ou en présence de contre-indications chirurgicales (1-3).

Malgré des avancées techniques significatives, la sélection appropriée des patients demeure un point déterminant pour le succès de la procédure. Une équipe multidisciplinaire (Heart team) comprenant des cardiologues, chirurgiens, radiologues et anesthésistes constitue un prérequis à la sélection des candidats à cette intervention. Une évaluation complète

(sévérité de la sténose, symptômes, espérance de vie, analyse précise de la valvule et des structures adjacentes, accès artériel percutané,...) permet d'inclure ou de récuser le patient, aide à la planification de la procédure et détermine la taille de la prothèse valvulaire à planter.

Le cathétérisme cardiaque demeure l'investigation principale dans l'évaluation de ces patients, le plus souvent âgés et présentant de multiples co-morbidités. Cet examen est nécessaire avant toute décision thérapeutique. Plusieurs modalités d'imagerie comprenant l'échocardiographie, le CT scanner multibarrettes (MSCT) et la résonance magnétique nucléaire (RMN) sont également nécessaires pour apporter les informations requises pour l'intervention.

Cet article fournit une revue du rôle de ces différentes techniques d'imagerie dans l'évaluation des patients porteurs d'une sténose aortique sévère avant l'implantation d'une prothèse aortique par voie percutanée (tableau I).

CATHÉTÉRISME ET ANGIOGRAPHIE

L'évaluation hémodynamique invasive de la valvulopathie est indispensable et s'effectue

(1) Cardiologue, Service de Cardiologie-Imagerie cardio-vasculaire, Service de Cardiologie, CHU de Liège.

(4) Chef de Service, (5) Chef de Service adjoint, Service de Cardiologie, CHU de Liège.

(2) Radiologue, Département de Physique Médicale, Service d'Imagerie thoracique et cardio-vasculaire, CHU de Liège.

(3) Professeur d'Imagerie Fonctionnelle en Echocardiographie, Directeur du GIGA Cardiovascular Sciences, Heart Valve Clinic, Université de Liège, Responsable du Service des Soins intensifs cardiologiques, Service de Cardiologie, CHU Liège.

conjointement à l'examen angiographique du ventricule, des artères coronaires et de l'aorte. Il s'agit d'un cathétérisme effectué le plus souvent par voie fémorale qui nécessite une brève hospitalisation et l'administration de 100 à 200 ml de produit de contraste.

La mesure des pressions pulmonaires par sonde de Swan-Ganz, la détermination du débit cardiaque et la mesure des pressions intraventriculaire gauche et aortique permettent de quantifier la sévérité de la sténose et ses répercussions hémodynamiques au niveau pulmonaire. Ces paramètres sont également utiles pour prédire le risque opératoire. Ils sont confrontés aux mesures obtenues par échographie avant toute décision opératoire. Seule, l'angiographie coronaire sélective permet actuellement une évaluation précise de l'anatomie coronarienne et d'exclure l'existence d'une athérosclérose obstructive justifiant une revascularisation. Lorsque celle-ci est nécessaire, elle s'effectue par angioplastie, le plus souvent lors du cathétérisme d'investigation.

Si l'état hémodynamique et rénal du patient le permet, cet examen est complété par la réalisation d'une ventriculographie, d'une aortographie et d'une angiographie ilio-fémorale à l'aide d'un cathéter muni de marqueurs centimétriques. Grâce à cette calibration, il est possible de mesurer le diamètre de l'anneau valvulaire aortique et des artères ilio-fémorales. Ces mesures sont confrontées à celles obtenues par les méthodes d'imagerie non invasive.

ECHOCARDIOGRAPHIE

Le diagnostic et l'évaluation de la sténose aortique relèvent essentiellement de l'échocardiographie. En effet, en plus d'une estimation précise de la sévérité de la sténose et de sa morphologie, l'échographie permet l'évaluation de la fonction ventriculaire et la quantification d'une éventuelle régurgitation aortique ou d'une pathologie mitrale concomitante (4).

MORPHOLOGIE DE LA VALVULE AORTIQUE

L'échocardiographie transthoracique peut préciser l'anatomie valvulaire, l'importance et la localisation des calcifications.

La valvule bicuspidie représente actuellement une contre-indication relative au TAVI en raison du risque de déploiement non circulaire de la prothèse. La bicuspidie aortique peut être confirmée par échographie trans-oesophagienne si la fenêtre échographique transthoracique ne permet pas de distinguer une fusion commissurale sévèrement calcifiée (fig. 1).

La sévérité et la distribution des calcifications déterminent le succès de la procédure. En effet, un mauvais déploiement ou une apposition imparfaite de la prothèse peuvent mener à de sérieuses complications comme l'occlusion des ostia coronaires (5). Les calcifications seront néanmoins analysées de manière plus complète par MSCT, modalité de choix dans ce contexte.

SÉVÉRITÉ DE LA STÉNOSE

L'estimation de la sévérité de la sténose aortique par échocardiographie débute par l'alignement du faisceau ultrasonore dans la direction du flux à travers l'orifice sténosé. Pour calculer la surface valvulaire, l'utilisation de l'équation de continuité requiert la mesure de la surface de la chambre de chasse, la vitesse mesurée en Doppler continu à travers la sténose et la vitesse mesurée en Doppler pulsé au niveau de la chambre de chasse (fig. 2) (6).

DIMENSIONS DE L'ANNEAU VALVULAIRE

En vue de limiter de sérieuses complications comme la migration de prothèse, et pour minimiser le risque d'une régurgitation paraprothétique importante, l'évaluation précise des dimensions de l'anneau valvulaire est essentielle. La vue parasternale grand-axe en échographie transthoracique ou la vue grand-axe ventriculaire gauche (120°) en échographie transoesophagienne sont les vues préférées pour la mesure de la taille de l'anneau, permettant de sélectionner la taille de la prothèse (fig. 3) (7).

Des études récentes ont démontré une fiabilité accrue de l'échocardiographie 3D en temps réel pour évaluer la sévérité de la sténose aortique (fig. 4). En effet, l'anneau aortique est plus souvent elliptique que circulaire et la surface de la chambre de chasse, parfois, elle aussi, plus elliptique surtout en présence d'une hypertrophie septale, situation pouvant alors mener à une estimation erronée de la sévérité de la sténose aortique, le plus souvent une sous-estimation de la surface d'ouverture (8).

Il existe deux types de valves aortiques percutanées commercialisées actuellement : la prothèse déployée par ballon (Edwards-SAPIEN valve; Edwards Lifescience Inc., Irvine, CA) dans les tailles 23 et 26 mm et la prothèse auto-expansible (CoreValve Revalving System; CoreValve Inc., Irvine, CA) dans les tailles 26, 29 et 31 mm (9).



Figure 1. Image échocardiographique parasternale petit-axe montrant une bicuspidie aortique. Abréviations: VD, ventricule droit; OD, oreillette droite; OG, oreillette gauche.

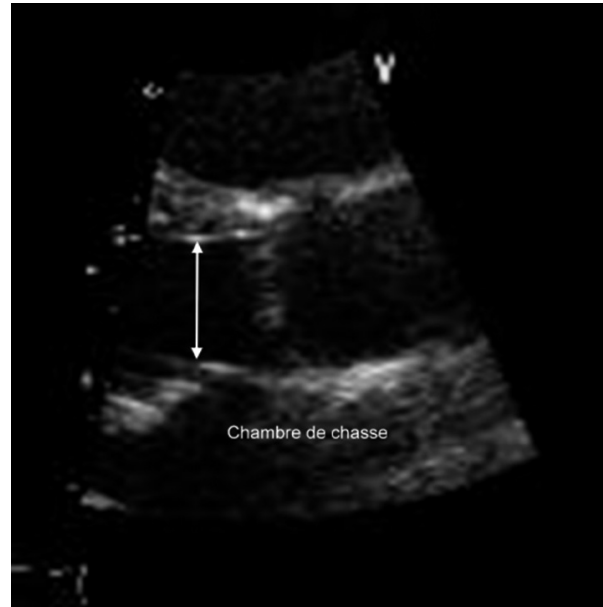


Figure 3. Surface de la chambre de chasse du VG calculée à partir de son diamètre en vue parasternale grand-axe en échographie transthoracique ou grand-axe VG 120° en échographie transoesophagienne.

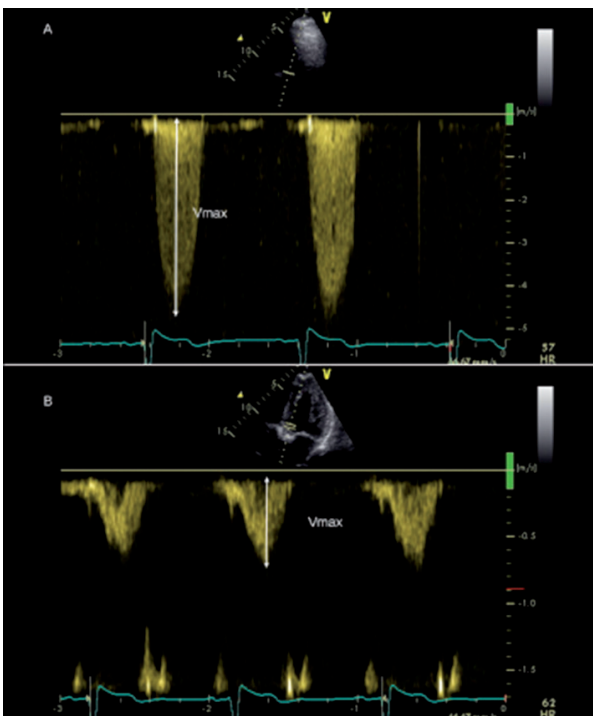


Figure 2. Estimation de la sévérité de la sténose aortique par échocardiographie Doppler.
 A : Vitesse à travers la sténose obtenue par Doppler continu; B : Vitesse au niveau de la chambre de chasse du VG mesurée en Doppler pulsé.
 $\Delta P_{max} = 4V_{max}^2$
 L'équation de continuité : $SA = (\text{diam ch chasse VG} \times V \text{ ch chasse VG}) / V_{max SA}$
 Abréviations : SA, surface valvulaire aortique; VG, ventricule gauche.

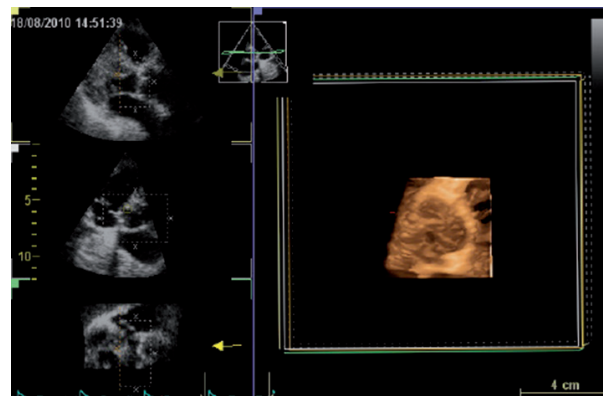


Figure 4. Évaluation de la valve aortique par échocardiographie 3D.

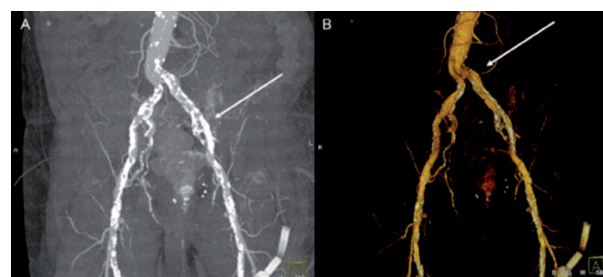


Figure 5. Évaluation des artères périphériques et de l'aorte par MSCT. L'étendue des calcifications et les diamètres vasculaires peuvent être quantifiés. La présence de calcifications sévères (flèche A) ou des tortuosités importantes (flèche B) peuvent être mises en évidence.

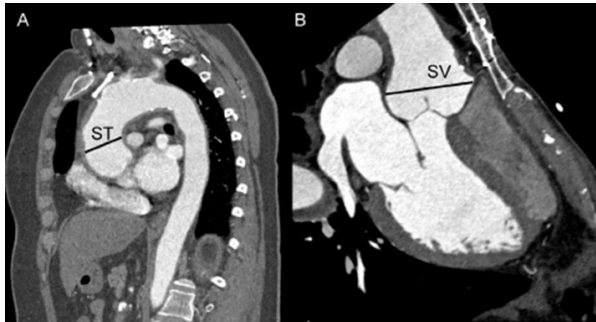


Figure 6. L'évaluation des dimensions de l'aorte par MSCT. Les dimensions des sinus de Valsalva (SV) et de la jonction sino-tubulaire (ST) peuvent être mesurées, soit par la vue sagittale (figure A) ou par la vue double-oblique (figure B). Une dilatation significative des sinus de Valsalva contre-indique l'implantation de prothèse.



Figure 7. Images tridimensionnelles de l'appareil aortique en CT scanner.

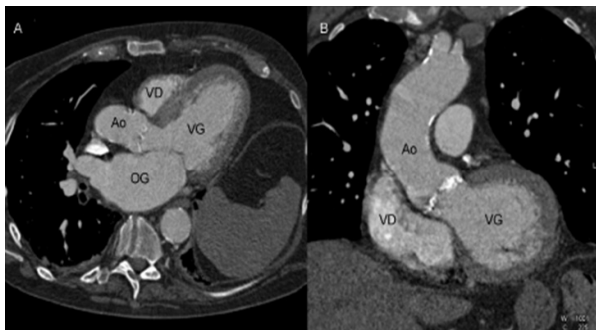


Figure 8. Evaluation par MSCT de l'anneau aortique. La vue sagittale (A), qui correspond à la vue parasternale grand-axe de l'échographie, mesure un diamètre de l'anneau aortique plus petit que la vue coronale (B), soulignant la forme elliptique de l'anneau valvulaire.
Abréviations : Ao, aorte; OG, oreillette gauche; VG, ventricule gauche; VD, ventricule droit.

DIMENSIONS ET FONCTION VENTRICULAIRE GAUCHE

Une fraction d'éjection ventriculaire gauche altérée (< 30%) augmente le risque opératoire, mais, chez les patients non opérés, détermine aussi un pronostic défavorable. La technique d'échocardiographie bidimensionnelle est la méthode la plus communément utilisée pour mesurer les dimensions ventriculaires gauches et la fraction d'éjection chez les patients avec géométrie anormale du ventricule, situation régulièrement retrouvée dans la sténose aor-

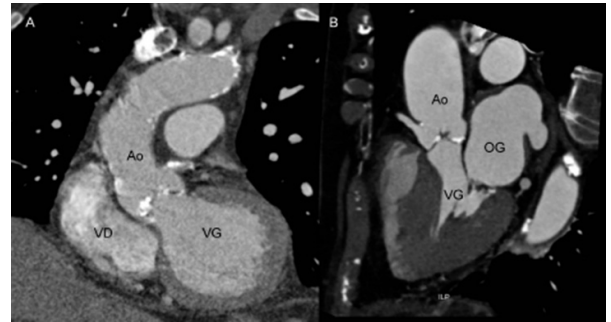


Figure 9. Evaluation de la position relative des ostia coronaires par rapport à l'anneau aortique. La situation de l'ostium coronaire gauche (A) et de l'ostium de l'artère coronaire droite (B) peut être importante à analyser pour évaluer le risque potentiel d'occlusion d'un de ces ostia par une des cuspidés natives lors du déploiement de la prothèse (de type Edwards-Sapien essentiellement).

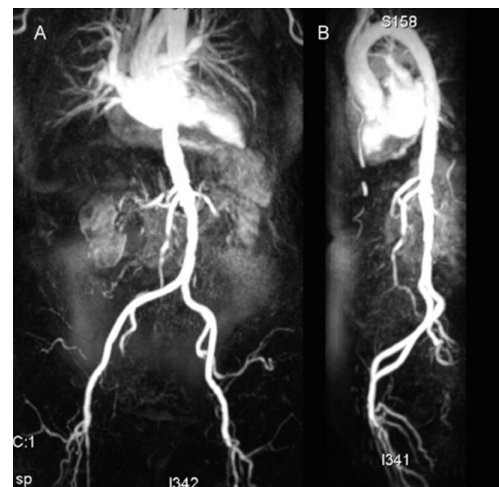


Figure 10. Evaluation de l'aorte et des artères périphériques par angiographie IRM et rehaussement vasculaire par un produit de contraste (gadolinium).

tique sévère (10). L'échocardiographie, comme les autres techniques d'imagerie, permet d'identifier des particularités anatomiques comme la présence d'un thrombus ou d'une hypertrophie septale obstructive qui représentent des contre-indications à l'intervention.

CT SCANNER MULTIBARRETTES (MSCT)

Cette technique d'imagerie tridimensionnelle fournit des informations précises sur les aspects anatomiques de la valvule aortique, la racine aortique et les structures adjacentes comme les artères coronaires par exemple (11). L'aorte et les artères périphériques peuvent également être analysées de façon détaillée.

EVALUATION DES ARTÈRES PÉRIPHÉRIQUES ET DE L'AORTE

La faisabilité d'une intervention d'implantation de valve aortique par voie percutanée, spécialement par accès fémoral, dépend étroit-



Figure 11. Mesure de la surface valvulaire aortique par planimétrie.

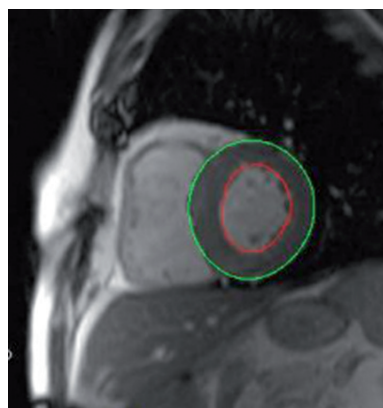


Figure 13. Calcul de la fonction et de la masse ventriculaire gauche. Détection semi-automatique de l'endocarde (rouge) et de l'épicarde (vert).

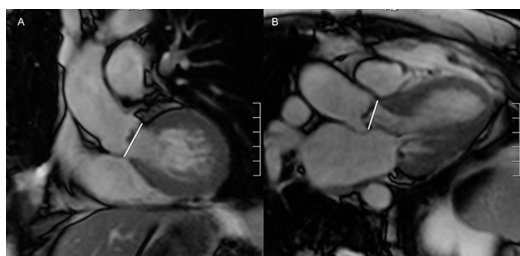


Figure 12. Evaluation de la taille de l'anneau aortique en vue para-sagittale (figure A) et double oblique (figure B) par IRM.

tement de la taille, du degré de calcification et des tortuosités de l'aorte et de l'axe ilio-fémoral. Bien que l'angiographie conventionnelle soit encore la technique de référence, l'imagerie MSCT fournit des valeurs précises des diamètres vasculaires mesurés en coupe axiale, une analyse de l'étendue des calcifications et de l'importance des tortuosités vasculaires (fig. 5). La voie sous-clavière, ou des approches chirurgicales trans-apicale et parasternale, représentent une alternative à l'abord fémoral si ce dernier ne peut être retenu. Les dimensions de l'aorte thoracique sont également déterminantes, car une dilatation importante de l'aorte au niveau de la jonction sino-tubulaire (> 45 mm) représente également une contre-indication pour l'implantation de certaines prothèses valvulaires (fig. 6) (4).

ANATOMIE, MORPHOLOGIE ET SÉVÉRITÉ DE LA STÉNOSE VALVULAIRE AORTIQUE

Les dernières générations de scanners 64-320 barrettes ont permis une amélioration considérable de l'imagerie tridimensionnelle pour des durées d'acquisition plus courtes.

Une description précise de l'aorte, de l'anatomie et de la morphologie valvulaire aortique peut être obtenue par cette technique qui constitue une alternative à l'échocardiographie transoesophagienne (modalité semi-invasive) (fig. 7).

Une apnée d'environ 10 secondes suffit pour l'acquisition des données. Une synchronisation au rythme cardiaque et l'injection intraveineuse de 60 à 120 ml de produit de contraste iodé sont nécessaires à la réalisation de l'examen. Une reconstruction rétrospective des données est réalisée tous les 10% de l'intervalle R-R ou à 30% et à 75% après l'onde R (phase systolique et diastolique, respectivement) avec une épaisseur de coupe de 0,5 mm et un intervalle de reconstruction de 0,3 mm (12). L'analyse des images et le «post processing» commencent par la reconstruction d'une vue coronale et d'une vue en simple oblique sagittale à travers la valve aortique (fig. 8). L'importance et la localisation de calcifications étendues permettent d'anticiper une résistance au déploiement parfait de la prothèse pouvant entraîner une apposition non circulaire de la valve, voire une occlusion coronaire, complication plus rare, mais potentiellement mortelle (fig. 9). En outre, une bonne corrélation de la surface aortique mesurée par planimétrie au CT scanner a été retrouvée en comparaison avec les mesures obtenues en échocardiographie transoesophagienne et RMN (11, 13).

TAILLE DE L'ANNEAU AORTIQUE

Une mesure précise de l'anneau aortique est essentielle. En effet, une prothèse sous-dimensionnée pourrait s'implanter incomplètement, être à l'origine d'une régurgitation sévère ou

migrer. A l'opposé, une taille surdimensionnée de la valve prothétique pourrait l'empêcher de traverser l'anneau ou de se déployer correctement.

Le MSCT permet une visualisation précise de la forme et de la taille de l'anneau. Sur les vues doubles obliques, l'anneau aortique apparaît plus souvent elliptique que circulaire, et le diamètre obtenu à partir de la vue coronale est habituellement plus large que le diamètre mesuré en vue sagittale (fig. 8) (12). La coupe sagittale en MSCT correspondrait à la vue parasternale grand-axe en échocardiographie. Comme précédemment décrit, il n'existe pas de différences significatives pour la mesure de ce diamètre par les deux techniques (14). Cependant, le diamètre, plus grand, obtenu en coupe coronale ne peut être analysé sur une vue similaire en échocardiographie bidimensionnelle transthoracique. La taille de la prothèse devrait être la plus large possible et son choix devrait se baser sur le plus grand diamètre mesuré. Dès lors, l'échocardiographie transthoracique conventionnelle peut se révéler moins précise en comparaison avec le MSCT pour le choix de la taille de la prothèse. Par contre, l'échocardiographie 3D par voie transthoracique ou transoesophagienne permet d'obtenir une visualisation plus précise de l'anneau aortique.

DIMENSIONS DE LA RACINE AORTIQUE ET SES RELATIONS AVEC LES ARTÈRES CORONAIRES

Les dimensions des sinus de Valsalva et de la jonction sino-tubulaire peuvent être obtenues à partir des vues sagittale, coronale et des reconstructions en double oblique (fig. 8).

Une valeur supérieure à 45 mm pour la jonction sino-tubulaire est considérée comme une contre-indication dans le cas d'une prothèse auto-expansive (4).

La position de l'origine des ostia coronaires par rapport à l'anneau valvulaire et à la longueur des feuillets doit être systématiquement analysée (fig. 9). Une distance variable entre l'anneau aortique et les ostia coronaires a été décrite précédemment, avec une distance de 14,4 mm pour l'ostium coronaire gauche et de 17,2 mm pour l'ostium de l'artère coronaire droite (12). La hauteur de la valve prothétique d'Edwards-SAPIEN est de 14,5 mm : elle devrait être implantée sous le niveau des ostia coronaires. La prothèse auto-expansible (Core-Valve Revalving System) a une hauteur de 50 mm, mais sa conception géométrique rend la probabilité d'occlusion des ostia coronaires très faible.

DIMENSIONS ET FONCTION VENTRICULAIRES GAUCHES

La fonction ventriculaire peut être précisément calculée à partir des données de l'acquisition volumétrique du MSCT. Des algorithmes automatiques permettent de délimiter le bord endocardique en fin de diastole et fin de systole avec calcul des volumes et de la fraction d'éjection dont les valeurs sont comparables à celles obtenues par d'autres techniques d'imagerie (échocardiographie, RMN) (15).

IMAGERIE PAR IRM

L'IRM cardiaque, imagerie tridimensionnelle, s'est considérablement développée ces dernières années avec une disponibilité accrue. Sa résolution spatiale élevée et l'absence d'irradiation ionisante lui confèrent un intérêt particulier.

EVALUATION DE L'AOORTE ET DES ARTÈRES PÉRIPHÉRIQUES

Bien que l'angiographie invasive soit la méthode de référence pour évaluer la taille et les tortuosités des artères périphériques, l'angio-IRM au Gadolinium, constitue une alternative non invasive qui évalue de manière précise la sévérité des sténoses d'artères iliaques ou fémorales (16). Le diamètre des artères iliaques ou la présence d'un anévrisme aortique avec thrombus mural influenceront la voie d'approche (fig. 10). Le diamètre des artères iliaques détermine la voie d'approche pour la procédure; les voies sous-clavière ou trans-apicale sont préférables si le diamètre est inférieur à 6 mm. Contrairement au MSCT, l'importance et la localisation des calcifications ne peuvent être évaluées par IRM.

ANATOMIE ET SURFACE VALVULAIRE

La quantification de la sévérité de la sténose aortique peut être réalisée par l'IRM. Soit directement par la planimétrie de l'orifice sténosé ou par des techniques de quantification de flux qui mesurent la vitesse maximale du flux trans-sténotique (17).

Plusieurs études ont démontré la fiabilité de l'IRM pour estimer la surface valvulaire par planimétrie, avec une excellente corrélation comparée à l'échocardiographie transoesophagienne ou le MSCT (fig. 11) (18). Cependant, cette mesure ne reflète pas la charge du ventricule gauche, plus en relation avec la surface effective de l'orifice, habituellement plus petit que la surface anatomique. Dès lors, la mesure des vitesses par la technique d'encodage de phase pourrait permettre une évaluation de

l'aire valvulaire effective de manière comparable à celle obtenue par l'échocardiographie Doppler. Néanmoins, cette technique souffre d'une limitation considérable, car elle peut sous-estimer la sévérité de la sténose aortique lorsque l'intégrale vélocité-temps est supérieure à 0,8m (17).

TAILLE DE L'ANNEAU AORTIQUE

La taille exacte de l'anneau aortique est une des pierres angulaires pour le succès de la procédure. Comme le MSCT, la RMN est une imagerie en 3D qui fournit une description exacte de la géométrie et de la taille de l'anneau. Récemment, Burman et al ont démontré, sur une cohorte de 120 patients, que la géométrie elliptique de l'anneau aortique était liée à la combinaison de composants musculaires et fibreux, sans une réelle structure annulaire (19). L'anneau aortique est significativement plus petit en coupe sagittale ($22,2 \pm 2,4$ mm pour les hommes et $19,9 \pm 1,9$ mm pour les femmes) que dans le plan coronal ($26,2 \pm 2,3$ mm et $23,0 \pm 2,1$ pour les hommes et les femmes respectivement).

Ces données confortent la place prédominante des techniques d'imagerie 3D, comme la RMN ou le MSCT, dans l'évaluation de la taille de l'anneau avec un impact considérable sur la précision du choix de la taille de la prothèse (fig. 12).

EVALUATION DE LA RACINE AORTIQUE ET DES ARTÈRES CORONAIRES

De nombreuses séries ont évalué les dimensions de l'aorte par IRM permettant une standardisation des mesures. Comme rapporté plus haut, un diamètre supérieur à 45 mm au niveau de la jonction sino-tubulaire contre-indique l'implantation d'une prothèse auto-expansible. Bien que la faisabilité pour l'angiographie par IRM ait été démontrée, la précision de l'IRM pour détecter les sténoses coronariennes est nettement inférieure à celle du MSCT (20).

DIMENSIONS ET FONCTION VENTRICULAIRES GAUCHES

L'IRM est considérée comme la méthode de référence pour l'évaluation des dimensions, de la fonction et de la masse ventriculaire gauche. A partir des coupes couvrant l'entièreté du ventricule gauche en petit axe, différents logiciels automatiques pour la détection de l'endocarde ont démontré une bonne précision pour les calculs de dimensions, fonction et masse myocardique (fig. 13) (21). Les séquences

ciné acquises avec les derniers progrès technologiques ont vu leur résolution améliorée. De manière similaire au MSCT, la géométrie ventriculaire et l'hypertrophie éventuelle de la partie basale du septum peuvent être analysées.

Notons que plusieurs contre-indications, comme les implants métalliques, pacemakers, ou la claustrophobie peuvent limiter son utilisation.

CONCLUSION

L'implantation de valve aortique par voie percutanée est devenue depuis quelques années une alternative à l'intervention chirurgicale classique de remplacement valvulaire pour les patients réfutés en raison d'un risque de morbi-mortalité élevé lié à ce geste chirurgical.

Depuis la première implantation chez l'homme en 2000, les avancées technologiques ont été considérables en termes de profil des cathéters utilisés, mais aussi en ce qui concerne la valve prothétique elle-même. La voie rétrograde est maintenant préférée à la voie antégrade, initialement utilisée avec nécessité de ponction transeptale et, dès lors, jugée plus invasive. La sélection adéquate des candidats potentiels reste une étape cruciale pour la réussite de la procédure. A côté de la mise au point invasive par cathétérisme cardiaque, l'imagerie cardiaque joue un rôle déterminant dans cette sélection des patients. L'échocardiographie, modalité la plus accessible et la moins invasive, constitue l'examen de choix pour le diagnostic et l'évaluation de la sévérité de la sténose aortique. Le CT scanner et l'IRM sont des techniques d'imagerie tridimensionnelles qui fournissent des informations multiples sur l'anatomie et la fonction de la valvule aortique, sur la taille précise de l'anneau, de même qu'une analyse fine de l'aorte et de ses relations avec les structures adjacentes, comme les artères coronaires.

Finalement, ces examens sont également capables d'évaluer l'aorte thoracique, abdominale et les artères périphériques. En conclusion, une approche combinée de ces différentes modalités en imagerie cardiaque permettra une prise en charge optimale des patients porteurs d'une sténose aortique sévère, candidats à l'implantation percutanée d'une prothèse.

BIBLIOGRAPHIE

1. Cribier A, Eltchaninoff H, Tron C, et al.— Early experience with percutaneous transcatheter implantation of heart valve prosthesis for the treatment of end-stage inoperable patients with calcific aortic stenosis. *J Am Coll Cardiol*, 2004, **43**, 698-703.

2. Grube E, Schuler G, Buellesfeld L, et al.— Percutaneous aortic valve replacement for severe aortic stenosis in high-risk patients using the second- and current third-generation self-expanding CoreValve prosthesis: device success and 30-day clinical outcome. *J Am Coll Cardiol*, 2007, **50**, 69-76.
3. Webb JG, Pasupati S, Humphries K, et al.— Percutaneous transarterial aortic valve replacement in selected high-risk patients with aortic stenosis. *Circulation*, 2007, **116**, 755-763.
4. Vahanian A, Alfieri O, Al-Attar N, et al.— Transcatheter valve implantation for patients with aortic stenosis: a position statement from the European Association of Cardio-Thoracic Surgery (EACTS) and the European Society of Cardiology (ESC), in collaboration with the European Association of Percutaneous Cardiovascular Interventions (EAPCI). *Eur Heart J*, 2008, **29**, 1463-1470.
5. Webb JG, Chandavimol M, Thompson CR, et al.— Percutaneous aortic valve implantation retrograde from the femoral artery. *Circulation*, 2006, **113**, 842-850.
6. Otto CM.— Valvular aortic stenosis: disease severity and timing of intervention. *J Am Coll Cardiol*, 2006, **47**, 2141-2151.
7. Moss RR, Ivens E, Pasupati S, et al. — Role of echocardiography in percutaneous aortic valve implantation. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2008, **1**, 15-24
8. Gutierrez-Chico JL, Zamorano JL, Prieto-Moriche E, et al. — Real-time three-dimensional echocardiography in aortic stenosis: a novel, simple, and reliable method to improve accuracy in area calculation. *Eur Heart J*, 2008, **29**, 1296-1306
9. Grube E, Buellesfeld L, Mueller R, et al.— Progress and current status of percutaneous aortic valve replacement: results of three device generations of the Core-Valve Revalving system. *Circ Cardiovasc Interv*, 2008, **1**, 167-175.
10. Lang RM, Bierig M, Devereux RB, et al.— Recommendations for chamber quantification: a report from the American Society of Echocardiography's Guidelines and Standards Committee and the Chamber Quantification Writing Group, developed in conjunction with the European Association of Echocardiography, a branch of the European Society of Cardiology. *J Am Soc Echocardiogr*, 2005, **18**, 1440-1463.
11. Pouleur AC, le Polain de Waroux JB, Pasquet A, et al.— Aortic valve area assessment: multidetector CT compared with cine MR imaging and transthoracic and transesophageal echocardiography. *Radiology*, 2007, **244**, 745-754.
12. Tops LF, Wood DA, Delgado V, et al.— Noninvasive evaluation of the aortic root with multislice computed tomography implications for transcatheter aortic valve replacement. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2008, **1**, 321-330.
13. Reant P, Lederlin M, Lafitte S, et al.— Absolute assessment of aortic valve stenosis by planimetry using cardiovascular magnetic resonance imaging: comparison with transesophageal echocardiography, transthoracic echocardiography, and cardiac catheterisation. *Eur J Radiol*, 2006, **59**, 276-283.
14. Doddamani S, Grushko MJ, Makaryus AN, et al.— Demonstration of left ventricular outflow tract eccentricity by 64-slice multi-detector CT. *Int J Cardiovasc Imaging*, 2009, **25**, 175-181.
15. Henneman MM, Schuijf JD, Jukema JW, et al.— Assessment of global and regional left ventricular function and volumes with 64-slice MSCT : a comparison with 2D echocardiography. *J Nucl Cardiol*, 2006, **13**, 480-487.
16. Auerbach EG, Martin ET.— Magnetic resonance imaging of the peripheral vasculature. *Am Heart J*, 2004, **148**, 755-763.
17. Caruthers SD, Lin SJ, Brown P, et al.— Practical value of cardiac magnetic resonance imaging for clinical quantification of aortic valve stenosis: comparison with echocardiography. *Circulation*, 2003, **108**, 2236-2243.
18. Pouleur AC, le Polain de Waroux JB, Pasquet A, et al.— Planimetric and continuity equation assessment of aortic valve area: Head to head comparison between cardiac magnetic resonance and echocardiography. *J Magn Reson Imaging*, 2007, **26**, 1436-1443.
19. Burman ED, Keegan J, Kilner PJ.— Aortic root measurement by cardiovascular magnetic resonance: specification of planes and lines of measurement and corresponding normal values. *Circ Cardiovasc Imaging*, 2008, **1**, 104-113.
20. Schuijf JD, Bax JJ, Shaw LJ, et al.— Meta-analysis of comparative diagnostic performance of magnetic resonance imaging and multislice computed tomography for noninvasive coronary angiography. *Am Heart J*, 2006, **151**, 404-411.
21. Constantine G, Shan K, Flamm SD, et al.— Role of MRI in clinical cardiology. *Lancet*, 2004, **363**, 2162-2171.

Les demandes de tirés à part sont à adresser au Dr L. Davin, Service de Cardiologie, CHU de Liège, 4000 Liège, Belgique.
E-mail : laurentdavin@yahoo.fr