IRM des valvulopathies

J.P. LAISSY
CHU Bichat, PARIS.

Les affections valvulaires sont idéalement examinées avec l'imagerie par résonance magnétique (IRM).

Le cinéIRM est utilisé pour imager les valves en dynamique dans des orientations multiples et à différentes phases du cycle cardiaque. Le flux sanguin en aval des sténoses et le flux régurgitant se manifestent comme des régions sombres, par déphasage du signal IRM en raison du flux turbulent. La vitesse exacte et le flux à travers la valve pathologique peuvent être évalués quantitativement avec l'imagerie en contraste de phase. Cette technique est analogue à l'écho-Doppler et peut être utilisée efficacement pour suivre la progression des lésions au cours du temps.

Les techniques de sang noir peuvent être utilisées pour apprécier la morphologie de valve. Ces dernières techniques sont particulièrement utiles pour confirmer ou infirmer la présence de végétations ou de tumeurs.

Enfin, l'angiographie par résonance magnétique (ARM) est utile pour analyser les gros vaisseaux de la base et peut démontrer des anomalies associées.

Les valvulopathies ont été successivement explorées indirectement en angiocardiographie, puis depuis plus de 20 ans directement par échocardiographie-Doppler. Plus récemment, la TDM et l'IRM ont été utilisées dans ces pathologies et ont montré leurs capacités à évaluer l'anatomie valvulaire [1].

La TDM repose sur l'injection de produit de contraste et l'analyse des flux n'est donc pas accessible. L'imagerie par résonance magnétique (IRM) peut, à l'inverse, fournir ces informations fonctionnelles aussi bien devant les sténoses valvulaires que les régurgitations, et permet l'évaluation précise de la fonction ventriculaire et de l'anatomie cardiaque et vasculaire. Elle est donc utile à la fois pour le diagnostic, en complément de l'échocardiographie-Doppler, mais également pour suivre la progression de la maladie et aider à déterminer le moment optimal pour l'intervention chirurgicale.

REGURGITATION VALVULAIRE

L'IRM peut visualiser le flux régurgitant dans n'importe quel plan. En outre, l'IRM peut mesurer le volume régurgitant, soit en valeur absolue, soit en fraction régurgitante. Cette quantification non invasive du degré de régurgitation valvulaire est associée aux informations sur la fonction ventriculaire, ce qui est capital pour déterminer le moment idéal du remplacement valvulaire. Cette évaluation de la sévérité de la régurgitation valvulaire peut être faite en employant les techniques suivantes : évaluation qualitative de la perte de signal sur le cinéIRM, évaluation quantitative de la mesure des volumes ventriculaires et de la fraction régurgitante sur le contraste de phase.

Avec l'utilisation croissante du cinéIRM utilisant des séquences appelées "b-SSFP" en IRM cardiovasculaire, l'évaluation qualitative de la perte de signal est devenue moins utile. Bien que les séquences b-SSFP soient beaucoup plus rapides à acquérir, avec une meilleure définition endocardiaque/cavités que l'imagerie conventionnelle en écho de gradient [2], la séquence est relativement peu sensible aux turbulences du sang qui

donnent un signal noir par rapport au sang circulant normalement qui apparaît en blanc. Cela a comme conséquence la visualisation réduite des perturbations d'écoulement secondaires à la régurgitation valvulaire, en particulier quand la régurgitation est modérée.

En ce qui concerne la vélocimétrie, c'est l'information de phase et non l'information de grandeur qui est recherchée. L'application de gradients magnétiques de courte durée permet en n'importe quel point de l'image d'être codé avec un déphasage qui est directement proportionnel à la vitesse en ce point. Puisque les déphasages peuvent résulter d'autres facteurs, une deuxième image de phase compensée en vitesse est acquise, et la soustraction des deux fournit le rapport réel de phase des protons. Le codage de vitesse peut être appliqué dans n'importe quelle direction, cependant, pour une quantification correcte on emploie cette technique dans le plan de la valve en adaptant la fenêtre de compensation en vitesse. Le sang stationnaire est représenté comme gris alors que des vitesses croissantes dans l'une ou l'autre direction sont montrées dans les catégories croissantes de noir ou du blanc [3]. La mesure de la vitesse moyenne spatiale pour tous les pixels dans une région d'intérêt connue permet le calcul du volume instantané du flux à n'importe quel moment du cycle cardiaque. La quantification du débit cardiaque ventriculaire droit et gauche peut être comparée à celui de l'aorte ascendante proximale et du tronc de l'artère pulmonaire (rapport 1/1 chez les individus normaux), permettant de ce fait la quantification des shunts entre la circulation pulmonaire et systémique.

RETRECISSEMENT VALVULAIRE

Comme pour l'évaluation qualitative de la régurgitation valvulaire, la perte de signal est peu marquée en cinéIRM utilisant les séquences b-SSFP, en raison de la conception de cette séquence par rapport aux séquences classiques d'écho de gradient. La surface valvulaire peut également être mesurée sur les images de cinéIRM, et cette mesure est parfaitement corrélée à celle de l'échocardiographie-Doppler et du cathétérisme [4].

L'évaluation quantitative par mesure directe de la cartographie de vitesse en contraste de phase permet la mesure de la vitesse maximale à travers la valve, et l'application de l'équation de Bernoulli modifiée $\Delta P = 4\ V^2$ [où P = chute de pression à travers la sténose (mmHg) et V = vitesse (m/s)] permet une évaluation du gradient à travers la valve. L'avantage principal de cette technique sur l'échocardiographie est que le jet peut être facilement aligné dans n'importe quelle direction sans limitation des fenêtres acoustiques.

PARTICULARITES LIEES A LA VALVE AORTIQUE

1. – Régurgitation aortique

Le flux régurgitant est mieux visualisé dans le plan coronal ou oblique. L'évaluation du vide de signal est possible, mais il faut s'assurer que tout l'ensemble du flux turbulent a été visualisé (***fig. 1***). La méthode la plus précise pour mesurer la fraction régurgitante est le codage de vitesse en contraste de phase.

Une bonne corrélation a été démontrée entre les mesures ventriculaires de volume et les courbes de vitesse dans l'aorte ascendante pour le calcul des fractions régurgitantes aortiques [5]. La reproductibilité interobservateur est élevée et la technique est ainsi idéale pour le suivi patient à long terme [6]. Les mesures les plus précises sont obtenues entre l'ostia coronaire et la valve aortique.

2. – Rétrécissement aortique

La sténose aortique peut être divisée en sténose sous-valvulaire, sténose valvulaire et sténose supra-valvulaire. La conséquence hémodynamique de toutes les formes de sténose aortique est l'hypertrophie ventriculaire gauche concentrique. Une bonne corrélation a été démontrée in vivo pour un éventail de gradients de pression à travers la valve aortique (3-148 mmHg) entre le codage de vitesse en IRM, l'échocardiographie Doppler et l'angiocardiographie par rayons X [7]. La surface valvulaire peut également être évaluée, soit en utilisant la visualisation directe de la surface en cinéIRM [3], soit en appliquant l'équation de continuité aux données IRM [8].

L'évaluation de la sténose aortique doit inclure la mesure de la masse ventriculaire gauche et les dimensions de la racine de l'aorte. La masse ventriculaire gauche est augmentée dans la sténose aortique, et diminue habituellement après remplacement de valve aortique. La racine de l'aorte peut être dilatée à cause de la sténose, en particulier dans les bicuspidies. Lorsque la sténose aortique se manifeste par de l'angor, il est indispensable d'avoir une imagerie des artères coronaires, ce qui est encore une limite de l'IRM à l'heure actuelle.

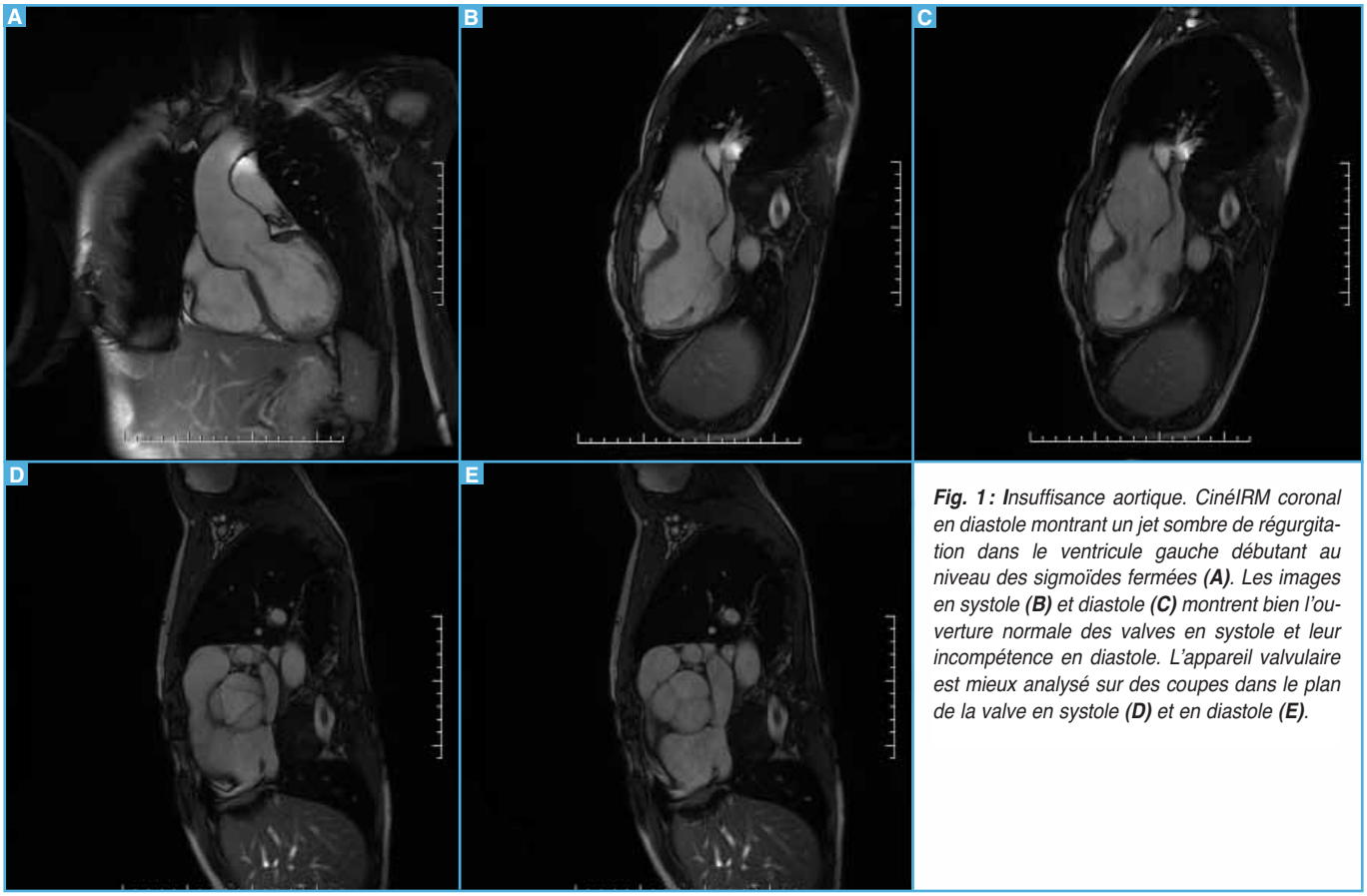

Fig. 1 : *Insuffisance aortique. CinéIRM coronal en diastole montrant un jet sombre de régurgitation dans le ventricule gauche débutant au niveau des sigmoïdes fermées* ***(A)****. Les images en systole* ***(B)*** *et diastole* ***(C)*** *montrent bien l'ouverture normale des valves en systole et leur incompétence en diastole. L'appareil valvulaire est mieux analysé sur des coupes dans le plan de la valve en systole* ***(D)*** *et en diastole* ***(E)****.*

PARTICULARITES LIEES A LA VALVE MITRALE

1. – Régurgitation mitrale

Il existe une bonne corrélation entre la perte de signal provoquée par la régurgitation mitrale en IRM avec le Doppler et l'angiocardiographie de cinématographie [9]. Le flux régurgitant est facilement mis en évidence en IRM, contrairement à l'échocardiographie-Doppler chez les sujets avec de mauvaises fenêtres acoustiques.

Dans la régurgitation mitrale isolée, la différence des volumes d'éjection ventriculaires gauche et droit mesurés en IRM sont suffisants [10].

Quand une autre maladie valvulaire est présente, le volume régurgitant mitral peut être calculé à partir de la différence entre volume d'éjection ventriculaire gauche et des mesures de flux en contraste de phase dans l'aorte ascendante [6, 11]. Simultanément, il est important de visualiser l'oreillette gauche afin d'évaluer sa taille et d'exclure la présence de thrombus.

2. – Sténose mitrale

La sténose mitrale est en général secondaire à la maladie rhumatismale. L'augmentation de la résistance à l'éjection atriale gauche se produit pour une surface valvulaire mitrale inférieure à 2,5 cm^2. Cela entraîne une augmentation du gradient transmitral diastolique, qui peut être évalué en mesurant la vitesse maximale à travers la valve mitrale. Les mesures IRM sont bien corrélées aux mesures d'échocardiographie Doppler [12]. La surface valvulaire peut également être mesurée. La cartographie en contraste de phase montre une altération des pics E et A, avec des vitesses élevées dans toute la diastole.

PARTICULARITES LIEES A LA VALVE PULMONAIRE

Les difficultés en échocardiographie-Doppler pour aligner la fenêtre acoustique donnent un net avantage à l'IRM dans l'évaluation de la valve pulmonaire et des artères pulmo-

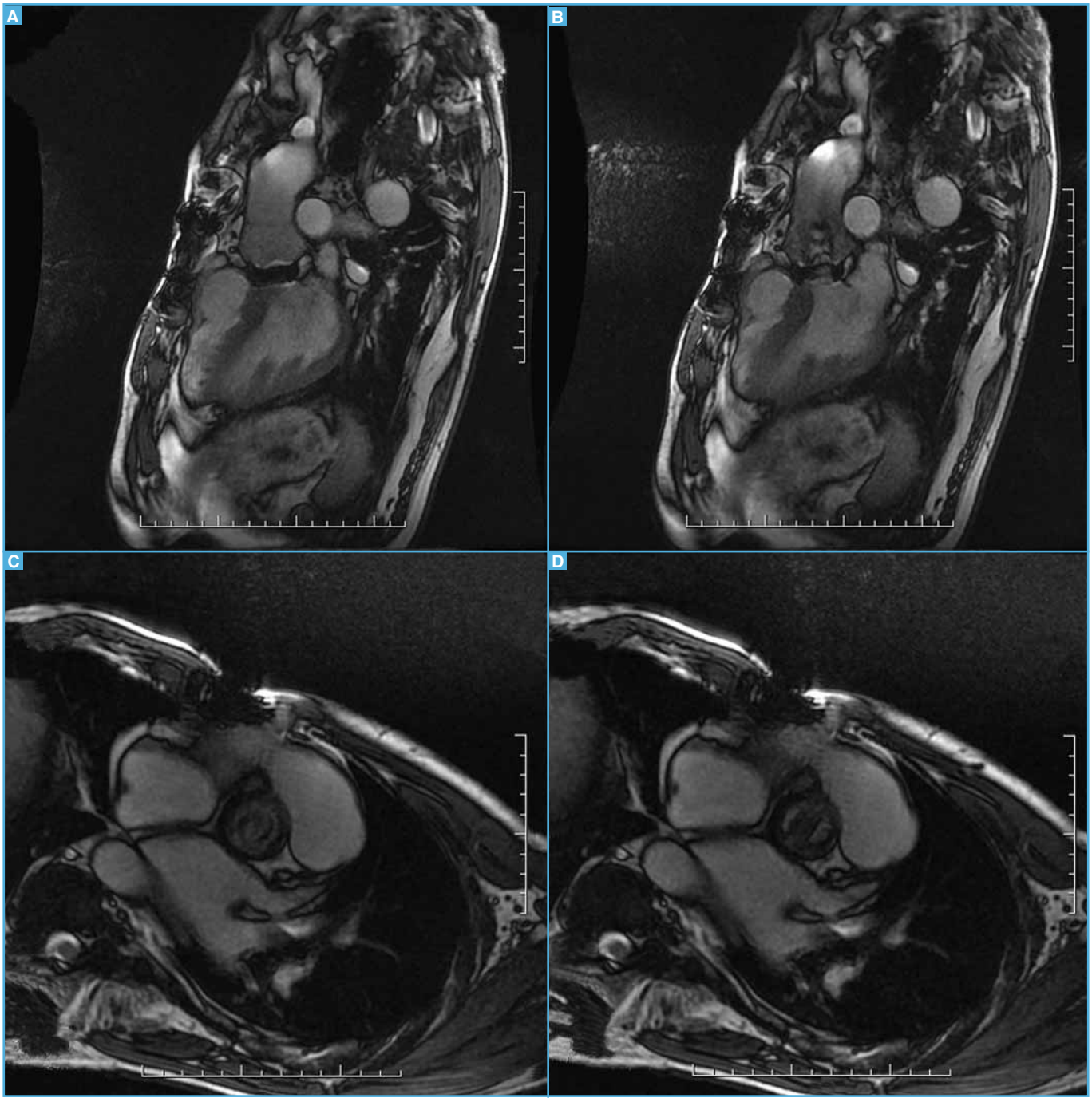

Fig. 2 : *Prothèse mécanique aortique. Sur une coupe de cinéIRM sagittale perpendiculaire à la prothèse, celle-ci apparaît en hyposignal en diastole* ***(A)*** *et en systole* ***(B)****, n'empêchant pas la visualisation de turbulences sombres dans l'aorte en sang noir* ***(B)****. La prothèse valvulaire est mieux analysée sur des coupes dans le plan de la valve en diastole* ***(C)*** *et en systole* ***(D)****.*

naires. Les protocoles d'imagerie sont identiques à ceux employés pour la sténose et la régurgitation aortique [3].

La régurgitation pulmonaire est une séquelle de la réparation chirurgicale de certaines cardiopathies congénitales, en particulier après réparation complète pour tétralogie de Fallot. L'IRM est utile pour mesurer l'augmentation des volumes télédiastoliques et télésystoliques du ventricule droit associé à une diminution de la fraction d'éjection en cas de régurgitation pulmonaire grave [13]. La surcharge chronique de

Fig. 3 : *Prothèse mécanique mitrale. La coupe de cinéIRM en long axe sur les cavités gauches en systole montre l'artefact de prothèse et la dilatation de l'atrium gauche.*

volume du ventricule droit a été longtemps considérée comme une conséquence plutôt bénigne de la régurgitation pulmonaire dans ce contexte. Cependant, il est actuellement reconnu que la fonction ventriculaire droite peut être irréversiblement compromise par ces altérations fonctionnelles au long cours [14].

Les informations indispensables à obtenir sont :

Description anatomique valvulaire :
Valves mitrale et tricuspide :
– feuillets : nombre, épaisseur, calcifications,
– cordages,
– muscle papillaire.
Valves aortique et pulmonaire :
– cuspides : nombre, épaisseur, calcifications,
– diamètre de l'anneau.

Description semi-quantitative des mouvements valvulaires : ouverture/fermeture.

Description de la fonction valvulaire : fuite, restriction.

Description du retentissement sur les cavités cardiaques (évaluation de la fraction d'éjection et des volumes ventriculaires).

Description des complications d'endocardite : abcès, végétations.

Etat des coronaires.

Recherche de malformations vasculaires associées (aorte/AP).

POINTS FORTS

- **Le cinéIRM est la technique de choix pour évaluer les maladies valvulaires ; elle est capable de visualiser la sténose ou la régurgitation dans de multiples orientations.**
- **Le contraste de phase est analogue à l'écho-Doppler pour quantifier la vitesse et le flux à travers la valve anormale. Cette séquence est indispensable dans le suivi pour évaluer la progression de maladie.**
- **Les séquences en sang noir sont utilisées pour analyser la morphologie de valve en détail et visualiser des lésions comme des végétations ou des tumeurs.**
- **L'angiographie par résonance magnétique (ARM) procure simultanément une cartographie vasculaire et est particulièrement utile pour détecter des anomalies associées comme une coarctation.**

PARTICULARITES LIEES A LA VALVE TRICUSPIDE

L'examen de la valve tricuspide est identique à celui de la valve mitrale. La cartographie en contraste de phase dans la veine cave supérieure peut montrer la régurgitation tricuspide. La régurgitation est le plus souvent secondaire à la dilatation du ventricule droit, liée ou non à une pathologie mitrale et/ou une hypertension pulmonaire [6]. Une cause importante de régurgitation tricuspide qui doit être reconnue devant un épaississement des feuillets valvulaires est le syndrome carcinoïde.

Rappelons qu'une régurgitation tricuspide minime est habituelle chez les sujets normaux. Comme avec l'échocardiographie, la quantification de la régurgitation tricuspide est possible en mesurant la vitesse maximale du flux régurgitant.

PROTHESES VALVULAIRES *(fig. 2 et 3)*

Les valves prothétiques ferro-magnétiques induisent des courants de Foucault qui entraînent une distorsion de l'image entre la prothèse et le tissu. Il existe donc une perte de signal autour de la prothèse. Les turbulences peuvent être moins bien visibles, mais les mesures de vitesses en aval de l'artefact de prothèse peuvent néanmoins être correctement effectuées. Les homogreffes, autogreffes et valves porcines "stentless" ne causent pas, quant à elles, d'artefacts. Toutes les prothèses valvulaires peuvent sans risque passer en IRM, excepté les valves mitrales de la série pre-6000 de Starr-Edwards [15]. L'IRM est une méthode idéale pour le suivi non invasif des patients après chirurgie valvulaire [11].

Bibliographie

1. Vogel-Claussen J, Pannu H, Spevak PJ, Fishman EK, Bluemke DA. Cardiac valve assessment with MR imaging and 64-section multi-detector row CT. *Radiographics,* 2006 ; 26 : 1 769-84.

2. Barkhausen J, Ruehm SG, Goyen M, Buck T, Laub G, Debatin JF. MR evaluation of ventricular function : True fast imaging with steady-state precession versus fast low-angle shot cine MR imaging : Feasibility study. *Radiology*, 2001 ; 219 : 264-9.

3. Bogaert J, Taylor AM, Van Kerkhove F, Dymarkowski S. Use of Inversion recovery contrast-enhanced MRI for cardiac imaging : spectrum of applications. *AJR Am J Roentgenol,* 2004 ; 182 : 609-15.

4. Friedrich MG, Schulz-Menger J, Poetsch T, Pilz B, Uhlich F, Dietz R. Quantification of valvular aortic stenosis by magnetic resonance imaging. *Am Heart J*, 2002 ; 144 : 329-34.

5. Sondergaard L, Lindvig K, Hildebrandt P, Thomsen C, Stahlberg F, Joen T, Henriksen O. Quantification of aortic regurgitation by magnetic resonance velocity mapping. *Am Heart J*, 1993 ; 125 : 1 081-90.

6. Dulce MC, Mostbeck GH, O'Sullivan M, Cheitlin M, Caputo GR, Higgins CB. Severity of aortic regurgitation : interstudy reproducibility of measurements with velocity-encoded cine MRI. *Radiology*, 1992 ; 185 : 235-40.

7. Eichenberger AC, Jenni R, von Schulthess GK. Aortic valve pressure gradients in patients with aortic valve stenosis : quantification with velocity-encoded cine MR imaging. *AJR*, 1993 ; 160 : 971-7.

8. Caruthers SD, Jiuan Lin S, Brown P *et al*. Practical value of cardiac magnetic resonance imaging for clinical quantification of aortic valve stenosis. Comparison with echocardiography. *Circulation*, 2003 ; 108 : 2 236-43.

9. Aurigemma G, Reichek N, Schiebler M, Axel L. Evaluation of mitral regurgitation by cine MRI. *Am J Cardiol*, 1990 ; 66 : 621-5.

10. Hundley WG, Li HF, Willard JE *et al*. Magnetic resonance imaging assessment of the severity of mitral regurgitation. *Circulation*, 1995 ; 92 : 1 151-8.

11. Fujita N, Chazouilleres AF, Hartiala JJ *et al*. Quantification of mitral regurgitation by velocity encoded cine nuclear magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol*, 1994 ; 23 : 951-8.

12. Heidenreich PA, Steffens JC, Fujita N, O'Sullivan M, Caputo GR, Foster E, Higgins CB. The evaluation of mitral stenosis with velocity-encoded cine MRI. *Am J Cardiol*, 1995 ; 75 : 365-9.

13. Tulevski II, Hirsch A, Dodge-Khatami A, Stoker J, van der Wall EE, Mulder BJM. Effect of pulmonary valve regurgitation on right ventricular function in patients with chronic right ventricular pressure overload. *Am J Cardiol*, 2003 ; 92 : 113-6.

14. Therrien J, Siu SC, McLaughlin PR, Liu PP, Williams WG, Webb GD. Pulmonary valve replacement in adult late after repair of Tetralogy of Fallot : Are we operating too late ? *J Am Coll Cardiol,* 2000 ; 36 : 1 670-5.

15. Shellock FG, Morisoli S, Kanal E. MR procedures and biomedical implants, materials and devices : 1993 update. *Radiology,* 1993 ; 189 : 587-99.