



# IRM cardiaque dans le suivi des cardiopathies congénitales à l'âge adulte

Rev Med Suisse 2011 ; 7 : 1194-9

P. Monney  
N. Stalder  
M. Clair  
P. Vogt  
J. Schwitter  
E. J. Meijboom  
J. Bouchardy

## Role of cardiac magnetic resonance in the follow-up of grown-up congenital heart patients

Magnetic resonance imaging is a rapidly developing modality in cardiology. It offers an excellent image definition and a large field of view, allowing a more accurate morphological assessment of cardiac malformations. Due to its unique versatility and its ability to provide myocardial tissue characterization, cardiac magnetic resonance (CMR) is now recognized as a central imaging modality for a wide range of congenital heart diseases, including assessment of post-surgical cardiac anatomy, quantification of valvular disease and detection of myocardial ischemia. CMR provides useful diagnostic information without any radiation exposure, and improves the global management of patients with congenital heart disease.

L'imagerie par résonance magnétique (IRM) est un procédé d'imagerie non invasive qui connaît un essor rapide en cardiologie. Elle offre une définition et un champ d'imagerie supérieurs à ceux des autres modalités à disposition pour l'évaluation morphologique des malformations cardiaques. De par sa polyvalence et sa capacité unique de caractérisation du tissu myocardique avec ou sans recours au produit de contraste, cette technique d'imagerie a prouvé son utilité clinique dans l'évaluation d'une large palette de cardiopathies congénitales, allant des atteintes anatomiques postchirurgicales aux atteintes ischémiques, en passant par les pathologies valvulaires. L'IRM cardiaque fournit des éléments diagnostiques positifs sans exposer le patient aux radiations, et résulte en une meilleure prise en charge diagnostique et thérapeutique.

## PARTICULARITÉ DES CARDIOPATHIES CONGÉNITALES À L'ÂGE ADULTE

Les cardiopathies congénitales à l'âge adulte représentent un groupe hétérogène d'affections cardiaques, de par leur diversité, leur complexité et leur sévérité. Elles concernent quatre à dix cas pour mille nouveau-nés vivants et la plupart des anomalies significatives sont détectées – au besoin opérées –

dans l'enfance. Suite aux progrès spectaculaires de la chirurgie cardiaque au cours du siècle dernier, on assiste à une augmentation de l'espérance de vie des patients porteurs de cardiopathies congénitales complexes, qui atteignent actuellement le plus souvent l'âge adulte.<sup>1</sup>

Le suivi clinique cardiologique de ces patients est indispensable tant pour ceux porteurs d'une cardiopathie congénitale simple non opérée (sténose aortique modérée congénitale, communication interventriculaire restrictive) que pour ceux qui ont bénéficié d'une réparation chirurgicale complète (tétralogie de Fallot opérée) ou d'une palliation chirurgicale (*switch atrial* pour transposition des gros vaisseaux, circulation univentriculaire de Fontan pour atrésie tricuspideenne) d'une cardiopathie complexe. L'imagerie cardiaque occupe une place centrale dans le suivi de ces patients.

## IRM, COMPLÉMENTAIRE À L'ÉCHOCARDIOGRAPHIE

L'échocardiographie reste le moyen d'imagerie de première intention mais elle présente des limitations évidentes dans l'estimation du volume et de la fonction systolique du ventricule droit, la visualisation des artères et veines pulmonaires et de l'arc aortique. L'échocardiographie est performante dans l'évaluation des valves atrioventriculaires et des sténoses pulmonaires ou aortiques; toutefois, l'évaluation de la sévérité d'une insuffisance de ces valves n'est que semi-quantitative.

L'IRM cardiaque permet une imagerie précise, et dans tous les plans, des anatomies cardiaques les plus complexes et de la relation du cœur aux autres structures intrathoraciques. Elle est dépourvue de radiations, permettant des acquisitions



répétées nécessaires au suivi de jeunes patients et offre une grande diversité d'analyse en un seul et même examen.

## ÉTAT DES RECOMMANDATIONS

L'IRM cardiaque est reconnue comme une imagerie appropriée dans l'évaluation morphologique des cardiopathies congénitales.<sup>2</sup> Au vu de ses avantages et de sa polyvalence, l'IRM cardiaque a été décrite, dans les très récents guides européens pour la prise en charge des cardiopathies congénitales à l'âge adulte, *comme la méthode de choix pour l'évaluation du volume et de la fonction du ventricule droit, de l'insuffisance pulmonaire, de la forme et la pulsativité des artères pulmonaires, de l'aorte ascendante et de la position des gros vaisseaux ou conduits chirurgicaux en relation avec le sternum.*<sup>3</sup> Compte tenu de l'hétérogénéité de la population des personnes porteuses de cardiopathie congénitale, le protocole d'IRM doit être individualisé à chaque patient en fonction de sa cardiopathie de base, des corrections chirurgicales qu'il a subies et de la présentation clinique actuelle. Des recommandations conjointes issues de la Société européenne d'IRM et de la Société européenne pour la prise en charge des cardiopathies congénitales à l'âge adulte ont été récemment émises, décrivant avec précision, sous forme de modules, les séquences indispensables (de même que des séquences optionnelles) à l'évaluation complète d'une anomalie donnée.<sup>4</sup> Ces examens doivent s'effectuer dans un centre spécialisé ayant l'expérience des cardiopathies congénitales et une connaissance approfondie de ces protocoles.

L'IRM cardiaque est contre-indiquée pour les patients porteurs de matériel ferro-magnétique mais la majorité des valves et conduits prothétiques sont IRM-compatibles. Soulignons qu'il existe actuellement des boîtiers et sondes de pacemaker compatibles avec le champ magnétique de l'IRM.<sup>5</sup> Il est néanmoins indispensable de contrôler la compatibilité de tout matériel étranger avant de considérer une IRM cardiaque. Des ressources continuellement remises à jour sont disponibles sur internet.<sup>6</sup>

## SÉQUENCES IRM ET APPORTS DANS LES CARDIOPATHIES CONGÉNITALES

### Images ciné en écho de gradient (*Balanced steady state free precession – b-SSFP*)

Imagerie d'acquisition très rapide, elle est caractérisée par un contraste élevé entre la cavité sanguine (intense) et le myocarde (moins intense), et une faible susceptibilité aux artefacts de flux, garantissant une excellente définition de l'endocarde (séquence en *sang clair*). L'image est répétée jusqu'à trente fois durant un cycle cardiaque pour produire une image dynamique de la contraction et de la relaxation myocardiques. Cette séquence est très utilisée tant pour l'évaluation *anatomique* que *fonctionnelle*. C'est sur la base d'une série de coupes ciné en court axe couvrant le myocarde de la base à l'apex que l'on mesure les volumes et fractions d'éjections des ventricules gauche et droit.<sup>7</sup> Cette séquence s'utilise également pour l'imagerie de l'arche aortique et des artères pulmonaires, pour préciser la morphologie des chambres de chasse gauche et droite, et des valves aortique et pulmonaire.

## Acquisition en encodage de phase

En tirant parti du décalage de la phase du signal engendré par le déplacement des protons dans le champ magnétique, l'IRM cardiaque peut mesurer la vitesse du sang dans les gros vaisseaux et en calculer le débit. Par comparaison des débits à travers l'aorte ascendante (Qs) et à travers l'artère pulmonaire (Qp), l'IRM détecte et évalue la sévérité des shunts intracardiaques. Un rapport  $Qp : Qs > 1,5$  représente un shunt gauche-droit significatif, le plus souvent à travers une communication interauriculaire ou interventriculaire, tandis qu'un rapport  $< 1$  indique le plus souvent un shunt droit-gauche. Cette séquence est aussi utilisée pour quantifier la sévérité d'une insuffisance aortique ou pulmonaire par mesure du débit antérograde et du débit régurgitant à travers la valve, permettant de calculer avec précision la fraction de régurgitation.<sup>8,9</sup> Elle trouve des applications dans l'estimation de la sévérité d'une coarctation aortique par mesure du flux des collatérales et dans l'évaluation de la sévérité de sténoses des artères pulmonaires. Notons que si la mesure des vitesses en IRM est optimale pour des flux laminaires, elle est imprécise pour les flux turbulents; l'échocardiographie reste préférable pour la mesure des gradients maximaux à travers une sténose valvulaire.

## Angiographie de contraste

Angiographie tridimensionnelle après injection d'un bolus intraveineux de gadolinium. Selon le délai entre l'injection et l'acquisition, on obtient une anatomie de l'arbre artériel pulmonaire, du retour veineux pulmonaire et de l'oreillette gauche, ou de l'arc aortique. Cette imagerie est très utile pour évaluer la morphologie et la disposition des gros vaisseaux, pour détecter la présence de collatérales anormales et pour confirmer la perméabilité des shunts chirurgicaux palliatifs.

## Imagerie des artères coronaires

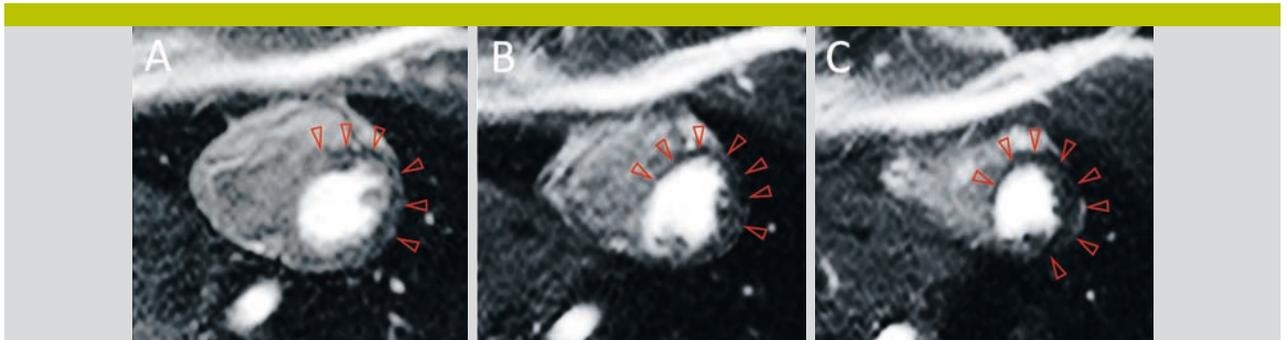
Imagerie 3D haute définition des artères coronaires proximales. De résolution actuellement insuffisante pour détecter ou quantifier une sténose, cette séquence est utile pour dépister les anomalies congénitales du trajet des artères coronaires.<sup>10</sup>

## Rehaussement tardif après injection de gadolinium

Séquence bien connue dans l'évaluation de la cardiopathie ischémique, elle détecte la présence de fibrose myocardique chez les patients porteurs de cardiopathie congénitale. La présence de fibrose a été corrélée à un pronostic à long terme moins favorable, notamment dans le suivi des tétralogies de Fallot.<sup>11</sup>

## Imagerie de perfusion

Par l'analyse du premier passage intramyocardique d'un bolus de gadolinium au cours d'une épreuve d'hyperémie provoquée par perfusion d'adénosine, cette séquence permet de dépister les anomalies de perfusion liées à un obstacle au flux coronaire. Cette séquence est utilisée dans les cas d'anomalies du trajet des artères coronaires, dans le suivi de la maladie de Kawasaki, ou suite à une opération impliquant une réimplantation des artères coronaires.<sup>12</sup>



**Figure 1.** Imagerie de perfusion sous stress d'adénosine chez une patiente connue pour un syndrome de Bland-White-Garland

Coupes en court axe, basale (A), médio-ventriculaire (B) et apicale (C). On observe un retard de perfusion étendu antérieur et septal basal et moyen, ainsi que de tout l'apex du ventricule gauche.

Nous souhaitons illustrer l'utilité de l'IRM à travers quatre cas issus de la consultation des cardiopathies congénitales à l'âge adulte de la Polyclinique de Lausanne.

### CAS CLINIQUE N° 1

Patiente de 18 ans, suivie pour une anomalie des artères coronaires (syndrome de Bland-White-Garland) diagnostiquée à l'âge d'un mois suite à une décompensation cardiaque. L'artère coronaire gauche prend son origine du tronc pulmonaire, la perfusion myocardique s'effectue par la coronaire droite et la perfusion du réseau gauche dépend de la présence de collatérales septales. En raison d'une ischémie étendue, elle bénéficie d'une ligature du tronc commun pour interrompre le phénomène de vol dans l'artère pulmonaire. L'évolution est par la suite favorable avec une croissance normale, une fonction systolique normale à l'échocardiographie et l'absence de signes d'ischémie à l'ergométrie.

Actuellement, elle mentionne une oppression thoracique à l'effort ou au stress. Il n'y a pas de signe d'insuffisance cardiaque et l'ECG de repos est normal. L'échocardiographie confirme la persistance d'une fonction systolique normale. Une IRM de stress à l'adénosine montre un défaut de perfusion extensif des territoires antéro-septo-apical (figure 1). La comparaison des débits aortique et pulmonaire ne suggère aucun shunt résiduel à travers le réseau coronarien.

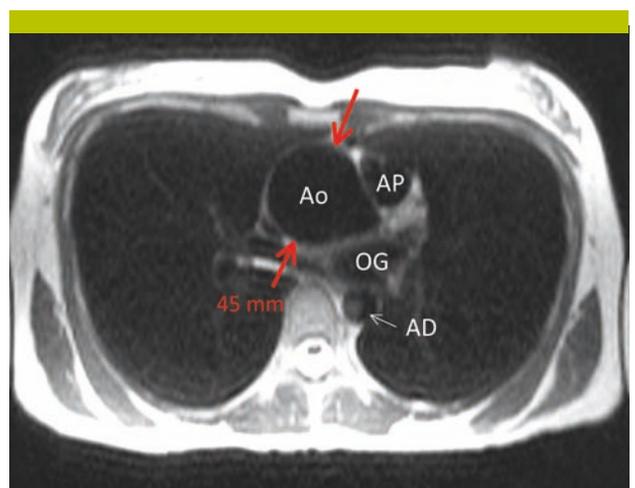
Dans ce cas, l'IRM cardiaque permet d'évaluer la morphologie et la fonction des ventricules, de démontrer l'absence de shunt significatif, d'exclure la présence d'un ancien infarctus et de mettre en évidence une hypoperfusion myocardique inductible étendue, non détectée lors des précédents tests d'efforts. Cet examen est déterminant dans la décision d'entreprendre une revascularisation chirurgicale chez cette jeune patiente.

### CAS CLINIQUE N° 2

Patiente de 23 ans se présentant dans le contexte d'une aortopathie familiale avec décès de sa mère à l'âge de

45 ans d'une rupture d'anévrisme de l'aorte ascendante. Le bilan génétique pose le diagnostic de syndrome de Loeys-Dietz, aortopathie familiale agressive à transmission autosomique dominante.<sup>13</sup> La patiente est mise sous traitement bêtabloquant.

Lors des contrôles échocardiographiques, la racine aortique est dilatée avec un diamètre maximal de 38 mm (23,8 mm/m<sup>2</sup>), la crosse aortique est de calibre normal et l'aorte ascendante est mal visualisée. Une IRM est effectuée afin d'évaluer l'entier de l'aorte thoracique. Les séquences morphologiques en écho de spin confirment une dilatation de la racine aortique avec un diamètre maximal de 41 mm lors du premier examen et une progression à 45 mm sur l'IRM effectuée deux ans plus tard (figure 2). L'angiographie-IRM (figure 3) confirme une dilatation maximale aux sinus de Valsalva avec une légère extension vers la partie tubulaire de l'aorte ascendante ; la crosse et l'aorte descendante sont de calibre normal.



**Figure 2.** Image morphologique d'une patiente connue pour un syndrome de Loeys-Dietz (aortopathie familiale)

Coupe transverse à la hauteur du croisement entre l'aorte ascendante (Ao) et le tronc pulmonaire (AP), montrant une dilatation anévrismale de la racine aortique.  
OG: oreillette gauche; AD: aorte descendante.



**Figure 3. Angiographie-IRM de l'aorte chez la même patiente**

**A.** Image en projection d'intensité maximale. **B.** Image en rendu tridimensionnel. Cette séquence confirme l'absence de dilatation de la crosse aortique et de l'aorte descendante.

Le diamètre aortique mesuré de même que la vitesse de progression de l'anévrisme posent l'indication à un remplacement aortique prophylactique.

### CAS CLINIQUE N° 3

Patient de 52 ans, adressé à notre consultation pour suivi d'une tétralogie de Fallot opérée à l'âge de sept ans. Il décrit actuellement une dyspnée d'effort et des palpitations. L'ECG montre un bloc de branche droit avec un QRS élargi à 200 ms. L'échocardiographie montre une

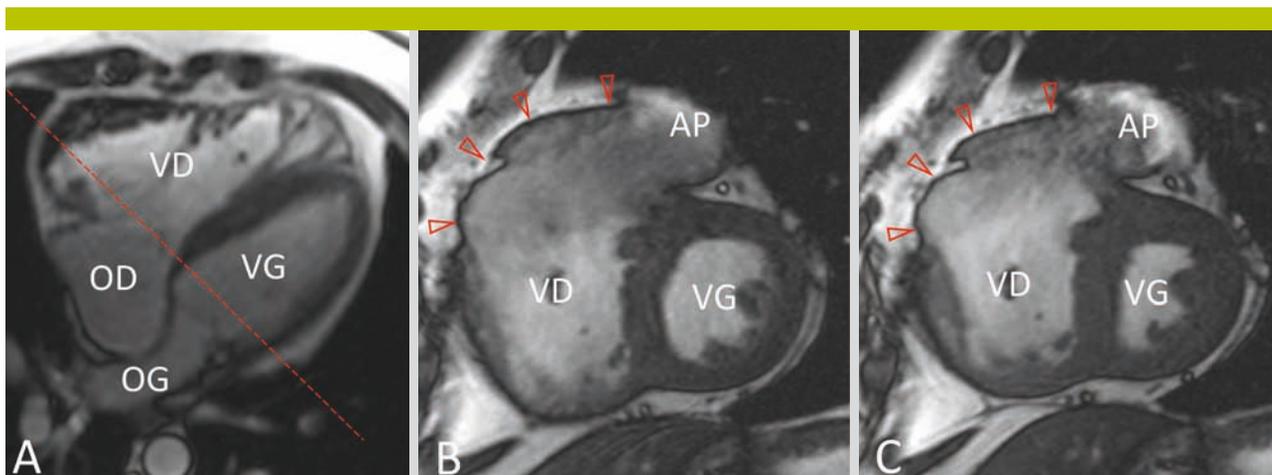
dilatation sévère des cavités droites avec une régurgitation libre au niveau de la valve pulmonaire.

Ce cas illustre une complication à long terme de la correction de tétralogie de Fallot: l'insuffisance pulmonaire significative qui conduit à une dilatation et à une dysfonction progressives du ventricule droit (VD). Outre les répercussions sur la capacité fonctionnelle du patient, l'insuffisance pulmonaire sévère, le volume du VD et la largeur du QRS ont été corrélés au risque d'arythmie ventriculaire et à la mort subite chez ces patients.<sup>14</sup> De plus, il a été démontré que lorsque l'on mesurait un volume supérieur à 170 ml/m<sup>2</sup>, le VD récupérait moins bien après remplacement valvulaire pulmonaire.<sup>15</sup> Une évaluation précise et reproductible du volume VD, de même qu'une quantification du degré d'insuffisance pulmonaire sont donc essentielles dans le suivi afin de décider du *timing* du remplacement valvulaire. Vu les limitations de l'échocardiographie dans l'évaluation du VD et de la valve pulmonaire, une IRM cardiaque est effectuée.

L'examen montre un ventricule droit très dilaté à 198 ml/m<sup>2</sup> avec un anévrisme de l'infundibulum pulmonaire au niveau du patch d'élargissement de la chambre de chasse droite (figure 4). La fraction d'éjection du VD est de 32%. Le débit transpulmonaire mesure une insuffisance pulmonaire très sévère avec fraction de régurgitation de 68% (sévère si > 40%) (figure 5). En présence d'arythmies ventriculaires fréquentes à l'enregistrement Holter de 24 heures, et au vu de la dilatation et de la dysfonction VD, nous retenons l'indication à un remplacement valvulaire pulmonaire.

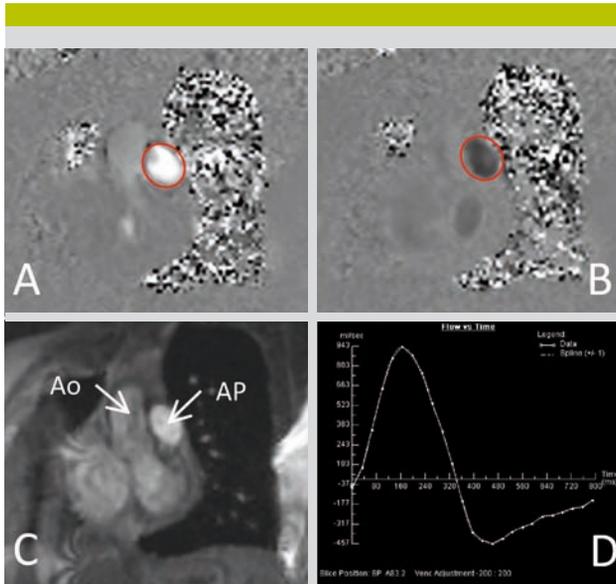
### CAS CLINIQUE N° 4

Patient de 29 ans, suivi pour une transposition des gros vaisseaux avec atrioseptostomie au ballonnet en période néonatale suivie d'un shunt palliatif, puis correction



**Figure 4. Tétralogie de Fallot opérée**

Sur la coupe en quatre cavités (**A**), on note une dilatation marquée du ventricule droit (VD) par rapport au ventricule gauche (VG). La ligne traitillée montre le niveau de la coupe court axe représentée sur les images **B** (diastole) et **C** (systole). On remarque une contraction normale du VG, mais une dysfonction marquée du VD avec un large anévrisme de la chambre de chasse droite (flèches rouges). OG: oreillette gauche; OD: oreillette droite; AP: artère pulmonaire.



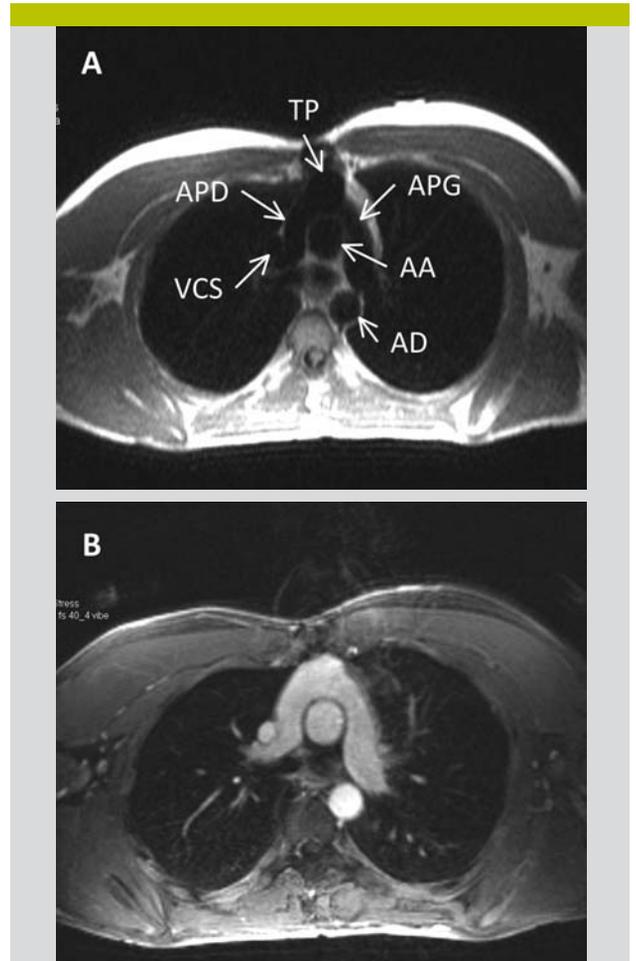
**Figure 5. Evaluation de l'insuffisance pulmonaire par séquences en encodage de phase**

En systole (**A**), le flux antérograde est codé en blanc. L'intégration des vitesses sur la surface de l'artère pulmonaire (délimitée par le cercle rouge) permet de calculer le volume d'éjection antérograde. A l'inverse, en diastole, le flux régurgitant est codé en noir (**B**). Le rapport du volume rétrograde et du volume antérograde correspond à la fraction de régurgitation (FR), un indice de sévérité d'une insuffisance pulmonaire. Chez ce patient, la FR est mesurée à 68% (**D**) correspondant à une insuffisance sévère. L'image **C** représente la coupe anatomique correspondant au plan de mesure des flux, perpendiculaire à l'axe de l'artère pulmonaire (AP). Ao : aorte ascendante.

complète par *switch* artériel et réimplantation des artères coronaires à l'âge de quatre ans (opération de Jatene).

Actuellement, le patient ne rapporte aucune plainte et son examen clinique est normal. L'échocardiographie détecte une légère dysfonction systolique ventriculaire gauche et une insuffisance valvulaire aortique très excentrique. Le gradient à travers la valve pulmonaire est dans la norme mais les artères pulmonaires sont difficilement visualisées.

L'IRM cardiaque est demandée afin de visualiser l'origine des gros vaisseaux, site fréquent de distorsions et de sténoses au cours de la croissance. L'opération de Jatene comporte un risque de coudure du tronc pulmonaire, de sténoses des artères pulmonaires, ou d'une compression de la racine aortique. Les complications coronariennes au site de réimplantation sont bien décrites, justifiant une évaluation de la perfusion myocardique sous stress à l'adénosine. Enfin, l'insuffisance valvulaire aortique excentrique, de sévérité difficile à quantifier en échocardiographie, doit être réévaluée. L'examen montre une racine aortique de calibre normal et l'absence de sténose des artères pulmonaires (figure 6). L'IRM de perfusion ne met pas en évidence de déficit sous stress d'adénosine, et l'imagerie du réhaussement tardif ne détecte aucune zone de fibrose myocardique. Par imagerie en encodage de phase, l'insuffisance aortique est jugée modérée avec une fraction de régurgitation de 36%.



**Figure 6. Transposition des gros vaisseaux avec correction par switch artériel selon Jatene**

On reconnaît l'anatomie typique de ces patients avec un tronc pulmonaire en position antérieure (TP), bifurquant en deux artères pulmonaires (APD et APG) de part et d'autre d'une aorte ascendante en position postérieure (AA). Il est important d'exclure une coudure des artères pulmonaires à cet endroit.

**A.** Image en écho de spin (sang noir). **B.** Image en écho de gradient (Balanced steady state free precession – b-SSFP, sang clair). VCS : veine cave supérieure; AD : aorte descendante.

## CONCLUSION

L'IRM cardiaque est un procédé d'imagerie complémentaire à l'échocardiographie, indispensable pour le suivi des cardiopathies congénitales à l'âge adulte. Contrairement à l'échocardiographie, l'évaluation morphologique n'est pas limitée par l'interposition de tissu pulmonaire et la relation du cœur avec les autres organes intrathoraciques est superbement démontrée. La polyvalence de cette imagerie, regroupant en un seul examen l'évaluation morphologique et fonctionnelle du cœur et des gros vaisseaux, les mesures de débits, la recherche d'ischémie et la caractérisation du tissu myocardique, est un atout déterminant de l'IRM. L'absence d'exposition aux radiations est une qualité essentielle pour évaluer une population jeune et en âge de procréer.<sup>16</sup> Pour ces raisons, l'IRM est reconnue comme une imagerie de choix pour le suivi des cardiopathies congénitales dans les recommandations les plus récentes.<sup>3,4,7</sup>



Il s'agit d'un procédé d'imagerie central pour le suivi de ce type de patients dans un centre spécialisé, et il est primordial que les cliniciens, chirurgiens ou électrophysiologues impliqués dans le traitement des cardiopathies congénitales soient familiers avec ce type d'imagerie. ■

### Implications pratiques

- > L'IRM cardiaque est un procédé d'imagerie complet, à la fois morphologique et fonctionnel, complémentaire à l'échocardiographie dans le suivi des cardiopathies congénitales
- > L'absence d'exposition aux radiations fait de l'IRM un moyen d'imagerie de choix pour le suivi de patients jeunes, nécessitant des examens répétés au cours de leur vie
- > Les protocoles d'IRM pour les cardiopathies congénitales sont complexes et il est recommandé que ces patients soient adressés à un centre d'imagerie ayant une expérience spécifique dans la prise en charge des cardiopathies congénitales

### Adresse

Drs Pierre Monney, Nicolas Stalder, Mathieu Clair  
et Judith Bouchardy  
Prs Pierre Vogt et Juerg Schwitter  
Service de cardiologie  
Département de médecine interne  
Pr Erik J. Meijboom  
Service de pédiatrie  
CHUV, 1011 Lausanne  
pierre.monney@chuv.ch  
nicolas.stalder@chuv.ch  
mathieu.clair@chuv.ch  
judith.bouchardy@chuv.ch  
pierre.vogt@chuv.ch  
juerg.schwitter@chuv.ch  
erik.meijboom@chuv.ch

### Bibliographie

- 1 Bedard E, Shore DF, Gatzoulis MA. Adult congenital heart disease: A 2008 overview. *Br Med Bulletin* 2008;85:151-80.
- 2 Hendel RC, Patel MR, Cramer CM, et al. 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. *J Am Coll Cardiol* 2006;48:1475-97.
- 3 \* Baumgartner H, Bonhoeffer P, De Groot NM, et al. ESC guidelines for the management of grown-up congenital heart disease (new version 2010). The task force on the management of grown-up congenital heart disease of the European society of cardiology (ESC) endorsed by the Association for European paediatric cardiology (AEPC). Texte complet disponible sur <http://escardio.org/guidelines-surveys/esc-guidelines/GuidelinesDocuments/guidelines-GUCH-FT.pdf>
- 4 \*\* Kilner PJ, Geva T, Kaemmerer H, et al. Recommendations for cardiovascular magnetic resonance in adults with congenital heart disease from the respective working groups of the European society of cardiology. *Eur Heart J* 2010;31:794-805.
- 5 Wilkoff BL, Bello D, Taborsky M, et al. Magnetic resonance imaging in patients with a pacemaker system designed for the magnetic resonance environment. *Heart Rhythm* 2011;8:65-73.
- 6 \* [www.mrisafety.com/list.asp](http://www.mrisafety.com/list.asp)
- 7 \*\* Schwitter J, Buser P. Volumes and function: Left and right ventricles and atria. In: *CMR-Update*, 1st ed. Zurich: J. Schwitter, 2008;6-15. [www.herz-mri.ch](http://www.herz-mri.ch)
- 8 \* Devos DGH, Kilner PJ. Calculations of cardiovascular shunts and regurgitation using magnetic resonance ventricular volume and aortic and pulmonary flow measurements. *Eur Radiol* 2010;20:410-21.
- 9 Kozerke S, Schwitter J, Pedersen EM, et al. Aortic and mitral regurgitation: Quantification using moving slice velocity mapping. *J Magn Reson Imaging* 2001;14:106-12.
- 10 Jahnke C, Paetsch I, Nehrke K, et al. Rapid and complete coronary arterial tree visualization with magnetic resonance imaging: Feasibility and diagnostic performance. *Eur Heart J* 2005;26:2313-9.
- 11 Babu-Narayan S, Kilner PJ, Li W, et al. Ventricular fibrosis suggested by cardiovascular magnetic resonance in adults with repaired tetralogy of Fallot and its relationship to adverse markers of clinical outcome. *Circulation* 2006;113:405-13.
- 12 Valsangiacomo Buechel ER, Balmer C, Bauersfeld U, et al. Feasibility of perfusion cardiovascular magnetic resonance in paediatric patients. *J Cardiovasc Magn Reson* 2009;11:51.
- 13 Van Hemelrijk C, Renard M, Loeys B. The Loeys-Dietz syndrome: An update for the clinician. *Curr Opin Cardiol* 2010;25:546-51.
- 14 Chaturvedi RR, Redington AN. Pulmonary regurgitation in congenital heart disease. *Heart* 2007;93:880-9.
- 15 Therrien J, Provost Y, Merchant N, et al. Optimal timing for pulmonary valve replacement in adults after tetralogy of Fallot repair. *Am J Cardiol* 2005;95:779-82.
- 16 Biological effects of ionizing radiation (BEIR) reports VII-Phase 2. National Research Council. [www.nap.edu/catalog/11340.html](http://www.nap.edu/catalog/11340.html)

\* à lire  
\*\* à lire absolument