



P. ACAR
Unité de Cardiologie Pédiatrique,
Hôpital des Enfants, TOULOUSE.

Les nouvelles techniques applicables à l'enfant sont :

>>> L'échocardiographie 3D décrit parfaitement le mécanisme des lésions valvulaires de l'enfant. C'est un outil fiable et rapide de quantification des volumes et de la fonction des ventricules gauche et droit.

>>> Le Doppler tissulaire myocardique et ses dérivés (*strain* et *strain rate*) permettent de détecter des lésions infracliniques du myocarde des ventricules.

>>> Le *Speckle Tracking Imaging* est une nouvelle technique d'échographie 2D qui permet de quantifier le déplacement des parois myocardiques sans les aléas des mesures Doppler. Cette technique pourrait se révéler très utilisée dans l'analyse de la cinétique segmentaire du ventricule gauche.

>>> L'échodobutamine étudie la réserve myocardique et peut dépister la maladie du greffon après transplantation cardiaque chez l'enfant ou révéler des anomalies de la cinétique segmentaire non visibles au repos après chimiothérapie aux anthracyclines.

Les nouvelles méthodes d'échographie s'appliquent-elles à l'enfant ?

La révolution de l'imagerie cardiaque date des années 1980 qui a vu apparaître l'échographie bidimensionnelle (2D). Si celle-ci a permis de poser des diagnostics, c'est le Doppler qui a profondément changé l'analyse de l'hémodynamique accessible désormais de façon non invasive. Le rôle du cathétérisme cardiaque s'est déplacé du diagnostic vers la thérapeutique. L'imagerie ultrasonore est en évolution constante et de nombreuses techniques sont apparues s'appliquant dans les pathologies cardiaques de l'adulte. Sont-elles applicables chez l'enfant ?

Plutôt qu'une énumération exhaustive de ces techniques, nous les regrouperons autour de deux fonctions majeures de l'échocardiographie : voir (ou décrire le plus précisément possible l'anatomie cardiaque) et comprendre (ou étudier les fonctions multiples du muscle cardiaque).

■ L'ANATOMIE CARDIAQUE

Le cœur est une structure complexe, tridimensionnelle, mouvant dans la cage thoracique et battante avec un cycle cardiaque.

L'échocardiographie tridimensionnelle (3D) est une nouvelle imagerie qui ne visualise plus les structures selon des coupes comme le fait l'échographie 2D, mais avec des vues intracardiaques semblables à celles du chirurgien. L'échographie cardiaque 3D, apparue dans les années 1990, est entrée dans la réalité pratique grâce à l'avènement des nouvelles sondes matricielles permettant une acquisition volumique en temps réel. L'année 2007 a été marquée par l'apparition d'une sonde pédiatrique 3D dont la haute fréquence est adaptée à l'enfant [1].

■ LES PRINCIPALES APPLICATIONS DE L'IMAGERIE 3D

1. – Les pathologies valvulaires (*fig. 1*)

Les malformations congénitales de la valve sont sténosante et/ou fuyante, voire les deux. Elles peuvent toucher les 4 valves du cœur. L'échographie 3D a pour but de



Fig. 1 : Echo 3D d'une fente mitrale à partir du ventricule gauche. Le feuillet antérieur est divisé en 2 par une fente (flèche). La valve postérieure est située entre les deux commissures.

décrire les lésions valvulaires afin d'optimiser la réparation, qu'elle soit par chirurgie ou cathétérisme interventionnel. Sa supériorité par rapport au 2D a été démontrée dans les pathologies congénitales suivantes : sténoses valvulaires aortiques, fuites valvulaires mitrales ou malformations d'Ebstein [2, 3].

2. – Les défauts septaux (fig. 2)

Les communications interauriculaires (CIA) *ostium secundum* peuvent être fermées par voie percutanée dans la mesure où l'anatomie du défaut septal s'y prête (CIA centrale avec des berges solides). L'échocardiographie 3D permet de visualiser la CIA dans sa totalité grâce à des vues de l'oreillette semblables à celles obtenues par le chirurgien [4]. Les communications interventriculaires (CIV) et leur potentialité de fermeture spontanée sont aussi décrites par échocardiographie 3D qui visualise les rapports anatomiques du défaut septal avec la valve tricuspide (CIV périmembraneuses) et les trabéculations du ventricule droit (CIV musculaires) [5].

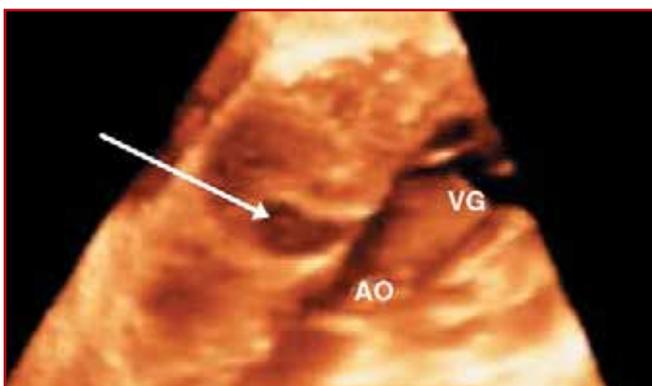


Fig. 2 : Echo 3D d'une communication interventriculaire périmembraneuse. Le défaut septal est vu du ventricule droit (flèche). Noter sa proximité avec la valve aortique. AO : aorte ; VG : ventricule gauche.

■ LA FONCTION MYOCARDIQUE

La dysfonction myocardique responsable d'insuffisance cardiaque est une cause majeure de mortalité chez l'adulte, et ce en raison de la fréquence de la pathologie coronarienne. Afin d'établir des facteurs pronostiques avant revascularisation ou transplantation et d'indiquer des thérapeutiques récentes telles que la resynchronisation, de nombreux développements dans l'analyse de la fonction myocardique ont vu le jour. Si la pathologie coronaire est rare chez l'enfant, les questions sur la fonction myocardique sont nombreuses dans les suites de chirurgie cardiaque congénitale. Ces nouvelles techniques peuvent utiliser le mode Doppler ou échographique.

1. – Le Doppler tissulaire myocardique (fig. 3)

Le Doppler tissulaire permet une analyse de la fonction régionale du muscle cardiaque en mesurant les vitesses myocardiques [6]. Le profil des vitesses myocardiques radiales ou

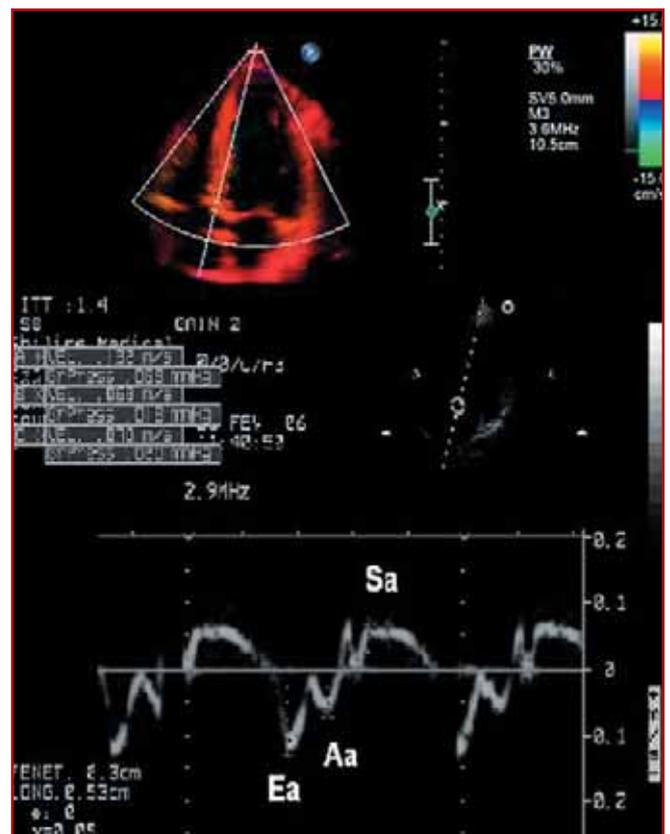


Fig. 3 : Doppler tissulaire myocardique chez un enfant normal. Le Doppler couleur code les vitesses myocardiques (image supérieure). L'échantillon a été placé en coupe apicale 4 cavités à la base du septum interventriculaire. L'onde Ea est mesurée au pic protodiastolique, l'onde Aa au pic télédiastolique, l'onde Sa au pic systolique.

- L'échocardiographie 3D décrit parfaitement le mécanisme des lésions valvulaires de l'enfant. Elle est un moyen de sélection fiable avant fermeture percutanée des communications interauriculaires.
- Le Doppler tissulaire myocardique et ses dérivés (*strain* et *strain rate*) permettent de détecter des lésions infracliniques du myocarde du ventricule gauche (myocardiopathie) et droit (surcharge volémique).
- Le *Speckle Tracking Imaging* est une nouvelle technique d'échographie 2D qui permet de quantifier le déplacement des parois myocardiques sans les aléas des mesures Doppler. Les études chez l'enfant sont encore très rares.
- L'échographie 3D est un outil fiable et rapide de quantification des volumes et de la fonction ventriculaires.
- L'échodopamine recherche des anomalies de la cinétique segmentaire du ventricule gauche à l'accélération de la fréquence cardiaque. Elle permet de dépister la maladie du greffon après transplantation cardiaque chez l'enfant.

longitudinales peut être obtenu en mode Doppler pulsé. L'étude consiste en une mesure Doppler pulsé tissulaire en coupe apicale 4 cavités, l'échantillon étant placé sur la portion basale de la paroi latérale du ventricule gauche et du septum interventriculaire à l'anneau mitral et sur la portion basale de la paroi latérale du ventricule droit à l'anneau tricuspide. Cette technique est faisable chez l'enfant dans 90 % des cas (en cas de tachycardie, les ondes E et A fusionnent).

Les études sont peu nombreuses dans les cardiopathies de l'enfant, Eiden *et al.* ont montré une diminution des valeurs des ondes S et Ea en cas d'augmentation chronique de la post-charge dans les sténoses aortiques et pour les myocardiopathies dilatées, alors que les valeurs restent comparables aux sujets sains en cas d'augmentation chronique de la précharge dans les communications interventriculaires [7]. Le Doppler tissulaire est utile dans la surveillance des enfants ayant reçu une chimiothérapie cardiotoxique à la recherche de signes précoces d'atteinte de la fonction diastolique ventricule gauche.

2. – Le strain and strain rate

Dérivé du Doppler tissulaire, le *strain* (déformation) et *strain rate* (gradient) mesurent la capacité de déformation radiale et longitudinale d'un segment myocardique. Cette technique a été appliquée chez l'enfant dans la quantification de la fonction du ventricule droit systémique après intervention de Senning [8]. Knirsch *et al.* ont étudié la déformation segmentaire des ventricules gauche droit dans une population de

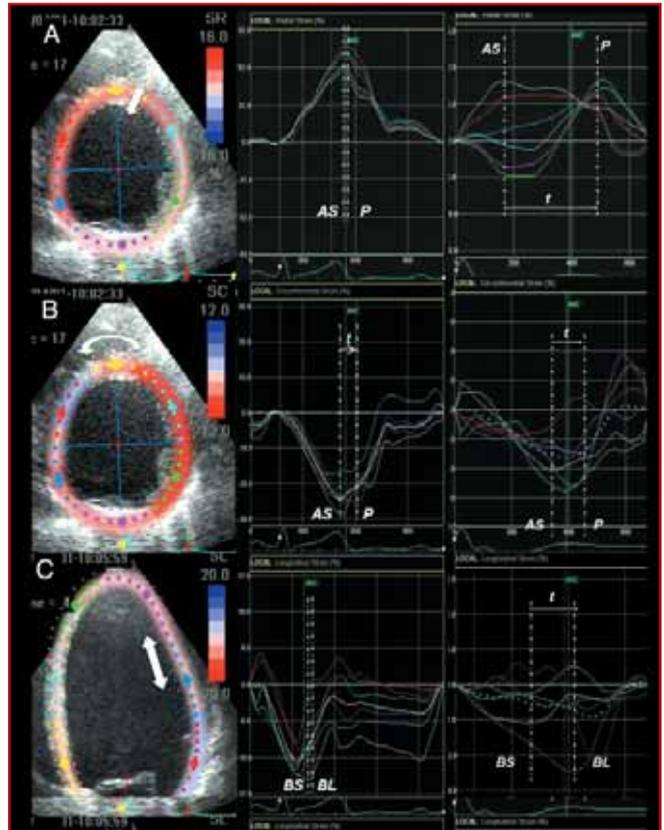


Fig. 4 : *Speckle Tracking Imaging*. Cette très récente méthode d'imagerie d'échographie 2D permet de quantifier le degré de rotation et de torsion du ventricule gauche. Contrairement au Doppler tissulaire, ses mesures sont indépendantes de l'angle entre la capteur et le mouvement de la paroi myocardique.

16 enfants avec fuite pulmonaire sévère après correction de Fallot avant et après revalvulation pulmonaire [9].

Si la déformation longitudinale et radiale du ventricule gauche altéré avant revalvulation s'améliore après la chirurgie, la déformation longitudinale du ventricule droit diminue après chirurgie, expliquée par la brusque diminution du volume d'éjection et la suppression de la fuite pulmonaire. Mertens *et al.* ont utilisé le *strain rate* à la recherche d'anomalie infraclinique du myocarde ventriculaire gauche dans la myopathie de Duchenne [10].

3. – Le *Speckle Tracking Imaging* (STI) (fig. 4)

Le STI est une nouvelle méthode d'imagerie d'échographie 2D qui permet de quantifier le degré de rotation et de torsion du ventricule gauche [11, 12]. Jin *et al.* ont étudié par STI une population de 10 enfants avec myocardiopathie dilatée d'âge médian de 6 ans et ont montré une diminution de la torsion globale du ventricule gauche (0,3 vs 10 % dans une population témoin).

L'avantage majeur du STI sur le Doppler tissulaire est d'être indépendant de l'angle entre le capteur et la déformation myocardique. L'imagerie d'harmonique et la résolution temporelle actuelle de l'imagerie 2D ont considérablement amélioré la capacité de détection des parois myocardiques et les logiciels permettent une analyse instantanée des données. Le STI par sa facilité d'utilisation est une technique d'avenir dans l'analyse de la fonction myocardique.

4. – L'échographie 3D (fig. 5 et 6)

L'échographie 3D n'est pas seulement un outil d'imagerie, mais c'est aussi un outil de quantification. Les mesures standard (échographie TM et 2D) ne donnent qu'une idée très imparfaite de la taille des cavités cardiaques, car elles ne les mesurent que dans une dimension (valeur en millimètres). L'échographie 3D permet une mesure des volumes cardiaques (oreillettes et ventricules). Des logiciels automatisés calculent de façon fiable et rapide les volumes ventriculaires et analysent la fonction globale et régionale du muscle cardiaque.

De nombreux paramètres peuvent être mesurés tels que le volume et la fraction d'éjection ainsi que le débit cardiaque. Soriano *et al.* ont calculé les volumes et la fonction du ventricule unique chez 29 nourrissons (âge médian de 7 mois) par échographie 3D et IRM [13]. La corrélation entre les deux méthodes était excellente avec le grand avantage pour la première de ne pas demander d'anesthésie générale. Un nouveau logiciel est en développement sur l'analyse de la fonction du ventricule droit.

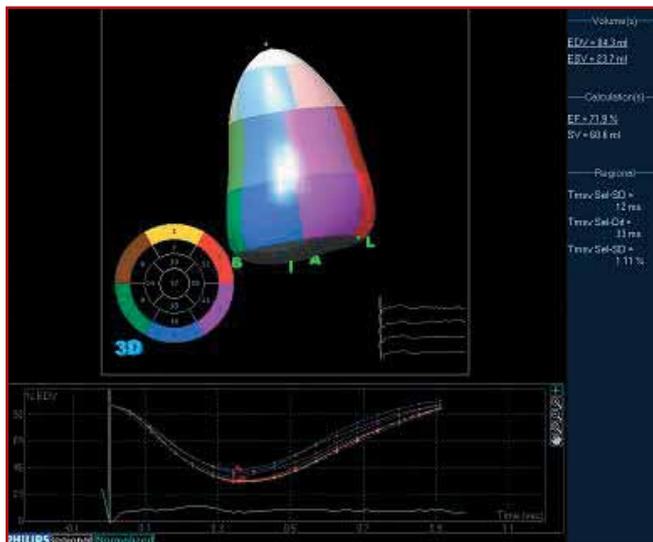


Fig. 5: Quantification du ventricule gauche par échographie 3D. Après une acquisition volumique du ventricule gauche, le logiciel calcule automatiquement les volumes ventriculaires et permet une analyse globale (volume et fraction d'éjection) et régionale (cinétique des 16 segments) du myocarde ventriculaire gauche.

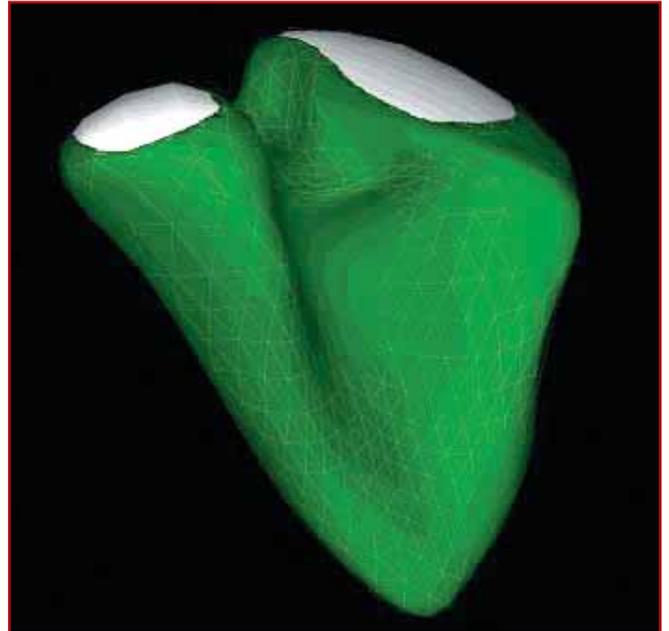


Fig. 6: Reconstruction 3D d'un ventricule droit. La mesure des volumes du ventricule droit est un challenge en raison de sa forme excentrique et triangulaire. De récents logiciels en traçant la surface de l'endocarde permettent un calcul fiable des volumes ventriculaires droits. Ces mesures sont à comparer à celles obtenues par résonance magnétique nucléaire.

5. – L'échographie de stress

L'échographie de stress étudie la réserve myocardique, certaines anomalies segmentaires n'apparaissant que lors de l'accélération de la fréquence cardiaque. Celle-ci peut être obtenue soit lors d'une épreuve d'effort (mais avec la difficulté de réaliser une échographie en cours d'effort), soit en utilisant de la dobutamine. Les paramètres échographiques Doppler habituels sont mesurés au repos et sous dobutamine à dose progressivement croissante 5 à 30 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{min}$. Hamada *et al.* ont étudié une population 26 enfants traités pour cancer par anthracycline [14]. Si les paramètres échographiques étaient superposables au repos, seuls les patients ayant reçu une dose d'anthracycline > 400 mg/m^2 avaient une diminution de l'épaississement de la paroi postérieure du ventricule gauche sous forte dose de dobutamine. Dipchand *et al.* ont rapporté leur expérience de l'écho-dobu dans le suivi de 102 enfants transplantés cardiaques. Une anomalie échographique est fortement corrélée à une maladie du greffon indiquant une angiographie, les paramètres échographiques étant liés à la sévérité des sténoses coronaires post-transplantation [15].

6. – L'échographie de contraste

Elle n'a pas d'indication en pédiatrie. ■

Bibliographie

1. ACAR P, ABADIR S, PARANON S, LATCU G, GROSJEAN J, DULAC Y. Live 3D echocardiography with the pediatric cardiac matrix probe. *Echocardiography*, 2007; 24: 750-5.
2. ABADIR S, DULAC Y, TAKTAK A, ACAR P. Cleft mitral valve assessed by transthoracic real-time 3D echocardiography. *Heart*, 2005; 91: 1632.
3. PARANON S, ABADIR S, ACAR P. New insight into the tricuspid valve in Ebstein anomaly using three-dimensional echocardiography. *Heart*, 2006; 92: 1627.
4. ACAR P, SALIBA Z, BONHOEFFER P, AGGOUN Y, BONNET D, SIDI D, KACHANER J. Influence of atrial septal defect anatomy in patient selection and assessment of closure by the Cardioseal device: a three-dimensional transthoracic echocardiography study. *Eur Heart J*, 2000; 21: 573-81.
5. ACAR P, ABADIR S, AGGOUN Y. Transcatheter closure of perimembranous ventricular septal defects with amplatzer occluder assessed by real-time 3D echocardiography. *Eur J Echocardiography*, 2006; 8: 110-5.
6. RUMEAU P, ACAR P, PARANON S, BASSIL R, COURNOT M, DULAC Y, GUITTON J, LATCU G. Evaluation de la fonction diastolique par Doppler tissulaire chez l'enfant. *Arch Mal Cœur*, 2007; 100: 405-10.
7. EIDEM BW, MCMAHON CJ, AYRES NA. Impact of chronic left ventricular preload and afterload on Doppler tissue imaging velocities: a study in congenital heart disease. *J Am Soc Echocardiogr*, 2005; 18: 830-8.
8. EYSKENS B, WEIDEMANN F, KOWALSKI M, BOGAERT J, DYMARKOWSKI S, BIJNENS B, GEWILLIG M, SUTHERLAND G, MERTENS L. Regional right and left ventricular function after the Senning operation: an ultrasonic study of strain rate and strain. *Cardiol Young*, 2004; 14: 255-64.
9. KNIRSCH W, DODGE-KHATAMI A, KADNER A, KRETSCHMAR O, STEINER J, BOTTLER P, KECECIOGLU D, HARPES P, VALSANGIACOMO BUECHEL ER. Assessment of myocardial function in pediatric patients with operated tetralogy of Fallot: preliminary results with 2D Strain echocardiography. *Pediatr Cardiol*, 2008; 29: 718-25.
10. MERTENS L, GANAME J, CLAUS P, GOEMANS N, THUIS D, EYSKENS B, VAN LAERE D, BIJNENS B, D'HOOGHE J, SUTHERLAND GR, BUYSE G. Early regional myocardial dysfunction in young patients with Duchenne muscular dystrophy. *J Am Soc Echocardiogr*, 2008; 21: 1049-54.
11. DELGADO V, YPENBURG C, VAN BOMMEL RJ, TOPS LF, MOLLEMA SA, MARSAN NA, BLEEKER GB, SCHALIJ MJ, BAX JJ. Assessment of left ventricular dyssynchrony by speckle tracking strain imaging comparison between longitudinal, circumferential, and radial strain in cardiac resynchronization therapy. *J Am Coll Cardiol*, 2008; 51: 1944-52.
12. JIN SM, NOH CI, BAE EJ, CHOI JY, YUN YS. Decreased left ventricular torsion and untwisting in children with dilated cardiomyopathy. *J Korean Med Sci*, 2007; 22: 633-40.
13. SORIANO BD, HOCH M, ITHURALDE A, GEVA T, POWELL AJ, KUSSMAN BD, GRAHAM DA, TWORETZKY W, MARX GR. Matrix-array 3-dimensional echocardiographic assessment of volumes, mass, and ejection fraction in young pediatric patients with a functional single ventricle: a comparison study with cardiac magnetic resonance. *Circulation*, 2008; 117: 1842-8.
14. HAMADA H, OHKUBO T, MAEDA M, OGAWA S. Evaluation of cardiac reserved function by high-dose dobutamine-stress echocardiography in asymptomatic anthracycline-treated survivors of childhood cancer. *Pediatr Int*, 2006; 48: 313-20.
15. DIPCHAND AI, BHARAT W, MANLHIOT C, SAFI M, LOBACH NE, MCCRINDLE BW. A prospective study of dobutamine stress echocardiography for the assessment of cardiac allograft vasculopathy in pediatric heart transplant recipients. *Pediatr Transplant*, 2008; 12: 570-6..