

Comparaison des méthodes 2D et 3D dans l'évaluation des fonctions ventriculaires globales en scanner multi-détecteurs

D Mandry (1, 2, 3), PA Ganne (2, 3), S Tissier (3), C Baumann (4, 5), V Laurent (1, 2, 3) et D Régent (1, 2, 3)

Abstract

Comparison of 2D and 3D techniques in the evaluation of global ventricular function on multidetector-row CT

J Radiol 2008;89:1935-40

Purpose. To compare two methods of post processing cardiac CT data to measure global ventricular function.

Materials and methods. Retrospective study where three readers measured the end-diastolic volume (EDV), end-systolic volume (ESV) and ejection fraction (EF) of the right (n=22) and left (n=44) ventricles, using a 2D method (extrapolated volumetric method, EVM) and a 3D method (direct volumetric method, DVM) after cardiac CT with retrospective ECG gating. Inter- and intraobserver agreement were calculated based on the intraclass correlation coefficient (ICC) with 95% confidence interval (CI_{95%}), and results obtained with each method were compared using the student t test for paired samples.

Results. Inter- and intraobserver reproducibility were very good for both methods, with ICC ranging between 0.694 and 0.992, without significant difference. For the left ventricle, EDV, ESV and EF were 166±53ml, 83±51ml and 54±15% for DVM et de 203±61ml, 115±58ml and 46±13% for EVM respectively. Right ventricular values were 152±47ml, 75±34ml, 50±13% and 172±53ml, 99±40ml, 43±9% (p<0,0001).

Conclusion. The very good inter- and intraobserver reproducibility for both methods validate their use in clinical practice. Volume measurements with DVM are always inferior to volumes with EDM, with inverse relationship for EF measurements.

Key words: X-ray computed tomography scanner. Multidetector computed tomography. Heart-ventricular function. Heart-volumes.

Résumé

Objectifs. Évaluer comparativement deux méthodes de post-traitement en scanner cardiaque de mesures de la fonction ventriculaire globale.

Matériels et méthodes. Dans cette étude rétrospective, trois opérateurs ont mesuré les volumes télédiastolique (VTD) et télésystolique (VTS), et la fraction d'éjection (FE) des ventricules droits (n = 22) et gauches (n = 44), avec une méthode 2D (méthode volumique extrapolée, MVE) et une 3D (méthode volumique directe, MVD), chez des patients ayant eu un scanner cardiaque avec synchronisation rétrospective à l'ECG. L'évaluation des reproductibilités inter et intra-observateurs a été fondée sur le coefficient de corrélation intraclasse (CCIC) et son intervalle de confiance à 95 % (IC_{95%}), et les résultats obtenus par les deux méthodes ont été comparés par le test t de Student sur séries appariées.

Résultats. Les reproductibilités inter et intra-observateurs étaient très bonnes pour les deux méthodes, avec des CCIC variant de 0,694 à 0,992, sans différence significative. Pour le ventricule gauche, les VTD, VTS et FE étaient respectivement de 166 ± 53 ml, 83 ± 51 ml et 54 ± 15 % par MVD et de 203 ± 61 ml, 115 ± 58 ml et 46 ± 13 % par MVE. Ils étaient de 152 ± 47 ml, 75 ± 34 ml, 50 ± 13 % et de 172 ± 53 ml, 99 ± 40 ml, 43 ± 9 % pour le ventricule droit (p < 0,0001).

Conclusion. Les très bonnes reproductibilités inter et intra-observateur des deux méthodes testées valident leur utilisation en clinique. Les volumes mesurés en MVD sont toujours inférieurs à ceux en MVE, avec une différence inverse en terme de FE.

Mots-clés : Scanner X. Scanner multidétecteurs. Fonction ventriculaire. Cœur, volumes ventriculaires.

Le scanner multidétecteurs a désormais atteint les résolutions spatiale et temporelle suffisantes permettant d'explorer le cœur et ses artères. En plus de la classique étude des pontages, les applications principales du scanner cardiaque sont l'étude des coronaires et l'analyse de la plaque athéromateuse (1). Grâce au mode de synchronisation rétrospective à l'électrocardiogramme (ECG), il est possible d'obtenir des ima-

ges à différents moments du cycle cardiaque (phases), notamment en télédiastole et télésystole. Ainsi les volumes télédiastolique (VTD) et télésystolique (VTS) du ventricule gauche (VG) et du ventricule droit (VD) peuvent être mesurés et les fractions d'éjections (FE) calculées (2). Le scanner dans cette indication a déjà fait ses preuves par rapport aux méthodes de référence que sont la ventriculographie conventionnelle, l'échocardiographie, la tomoscintigraphie synchronisée et la ventriculographie isotopique, et à l'IRM (3-8). Pour ces mesures, il existe plusieurs procédés dont deux sont applicables au scanner : la méthode volumique directe et l'extrapolée. Le but de cette étude est de comparer les reproductibilités inter et intra-opérateurs de ces deux techniques.

Matériels et méthodes

Population

Il s'agit d'une étude rétrospective dans laquelle 44 patients ont été inclus (58 ± 16,5 ans), après tirage au sort parmi les scanners cardiaques réalisés dans le service en 2006, techniquement corrects et pour lesquels 10 phases couvrant le cycle cardiaque étaient disponibles. La population de ces patients était hétérogène, en particulier en ce qui concerne le sujet de cette étude à savoir la fonction ventriculaire globale. En effet, certains venaient pour le bilan de douleurs thoraciques atypiques, d'autres pour le bilan d'une cardiomyopathie non obstructive ou encore pour le contrôle de la perméabilité de pontages aorto-coronariens. La

(1) INSERM, ERI13 IADI, 54000 Nancy. (2) (Nancy-Université, 54000 Nancy. (3) Département de Radiologie de Brabois adultes, CHU Nancy, Allée du Morvan, 54500 Vandœuvre-lès-Nancy. (4) INSERM, CIC-EC CIE6/EA 4003, 54000 Nancy. (5) Service d'Epidémiologie et d'évaluation cliniques, CHU Nancy, Allée du Morvan, 54500 Vandœuvre-lès-Nancy.
Correspondance : D Mandry
E-mail : d.mandry@chu-nancy.fr

consultation des dossiers des patients en radiologie a été autorisée pour cette étude rétrospective par le Collège d'Information Médicale du CHU de Nancy.

Acquisition

Tous les examens de cette étude ont été réalisés sur un scanner 64 détecteurs (Lightspeed VCT, General Electric Healthcare), en synchronisation rétrospective à l'électrocardiogramme (ECG), en utilisant le mode de segmentation adapté à la fréquence cardiaque (FC) du patient. Une acquisition après injection dans une veine d'un membre supérieur d'un bolus de 90 ml produit de contraste iodé à 4-5 ml/s suivie d'un bolus de 40 ml de sérum physiologique au même débit était réalisée avec les paramètres suivants : collimation 0,625 mm, temps de rotation du tube 0,35 s, pitch aux alentours de 0,2 et adapté à la FC, champ de vue d'acquisition 50 cm, tension du tube (100 ou 120 kV) et intensité du courant adaptées à la morphologie du patient, déclenchement manuel de l'acquisition lors du franchissement du seuil de 150 unités Hounsfield au sein d'une région d'intérêt placée dans l'aorte ascendante. Les images ont été reconstruites en coupes jointives, avec un champ de vue centré de 25 cm, avec 10 phases couvrant l'ensemble du cycle RR.

Analyse des images

Elle a été réalisée sur une console de post-traitement Advantage Workstation (General Electric Healthcare ; version logicielle 4.1 pour la méthode volumique extrapolée et 4.3 pour la méthode volumique directe). Pour les deux méthodes utilisées, le choix des phases télédiastolique et téléstolique a été effectué par l'opérateur en observant l'ensemble des images disponibles, en petit axe et/ou grand axe. Ces deux méthodes ont également en commun de nécessiter une correction par l'opérateur après la détermination automatique des contours du ventricule gauche, et d'être entièrement manuelles pour le ventricule droit. Il a été décidé de prendre en compte la chambre de chasse aortique dans les volumes ventriculaires.

Méthode volumique extrapolée (MVE)

Il s'agit de la méthode utilisée habituellement en IRM, qui se fonde sur des coupes petit axe. Ces coupes ont été créées par des

MIP de 7 mm jointives couvrant l'ensemble des volumes ventriculaires, et ce pour chacune des dix phases de l'acquisition (fig. 1).

Méthode volumique directe (MVD)

L'opérateur oriente les coupes selon le grand axe et le petit axe du cœur, et détermine le plan mitral pour les phases télédiastolique et téléstolique. Le logiciel extrait ensuite le volume ventriculaire gauche (fig. 2).

Variables analysées

Trois radiologues expérimentés ont participé à cette étude. Ils ont chacun analysé le ventricule gauche avec les deux méthodes, avec un ordre de présentation différent à chaque fois. De surcroît, le lecteur 1 a analysé une deuxième fois tous les examens avec la MVD, alors que le lecteur 2 l'a fait avec la MVE. Enfin, les mesures pour le VD, entièrement manuelles, ont été effectuées sur un sous-groupe de 22 patients, par le lecteur 1 à deux reprises en MVD, par le lecteur 2 à deux reprises en MVE et par le lecteur 3 une fois pour chaque méthode. Les variables qui ont été étudiées étaient : les phases télédiastoli-

ques et téléstoliques choisies, les VTD, VTS et FE, ainsi que la durée du post-traitement entre le début du chargement des coupes et l'obtention des résultats.

Analyse statistique

Les résultats sont exprimés en moyenne $\pm$ écart type sauf mention contraire. Un coefficient de corrélation intraclasse (CCIC) et son intervalle de confiance à 95 % (IC₉₅ %) ont été calculés pour l'étude de la reproductibilité inter et intra-observateur. La comparaison des deux méthodes, MVE et MVD, a été réalisée par un test t de Student sur séries appariées. Pour tous les tests, le risque alpha a été fixé à 5 %. L'analyse statistique a été effectuée à l'aide du logiciel SAS v9.1 (SAS Institute Inc, USA).

Résultats

Choix des phases télédiastolique et téléstolique par les opérateurs

Les phases télédiastolique et téléstolique étaient le plus souvent 0 % et 40 %,

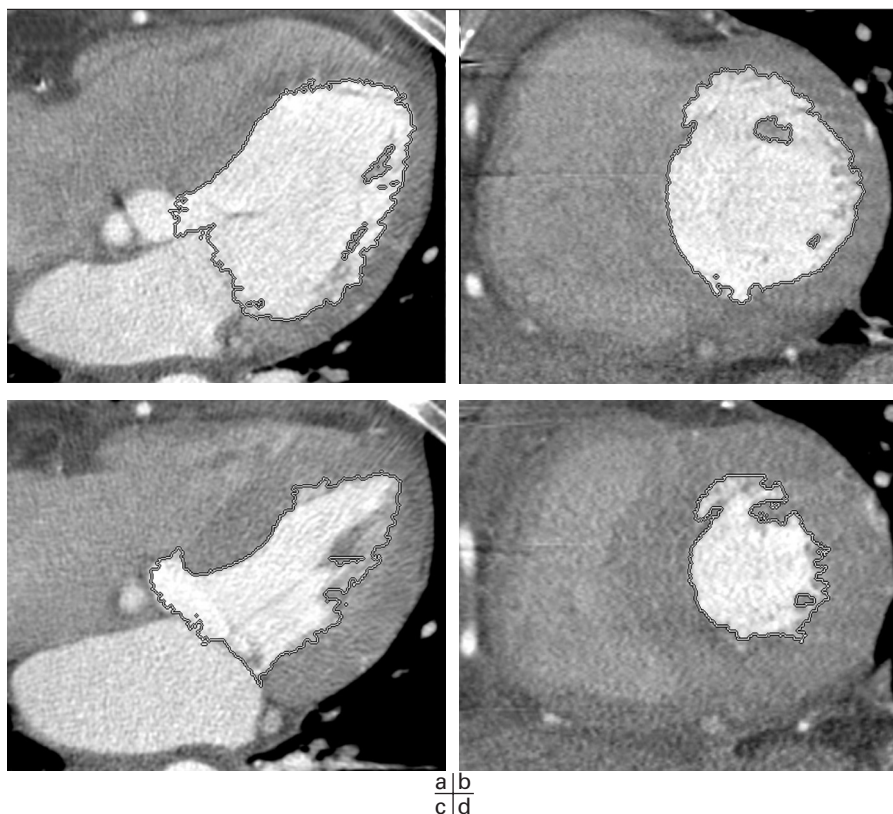


Fig. 1 : Capture d'écran montrant le tracé des contours endocardiques du ventricule gauche en grand-axe horizontal (a, c) et petit axe (b, d) en méthode volumique directe, en télédiastole (a, b) et téléstole (c, d).

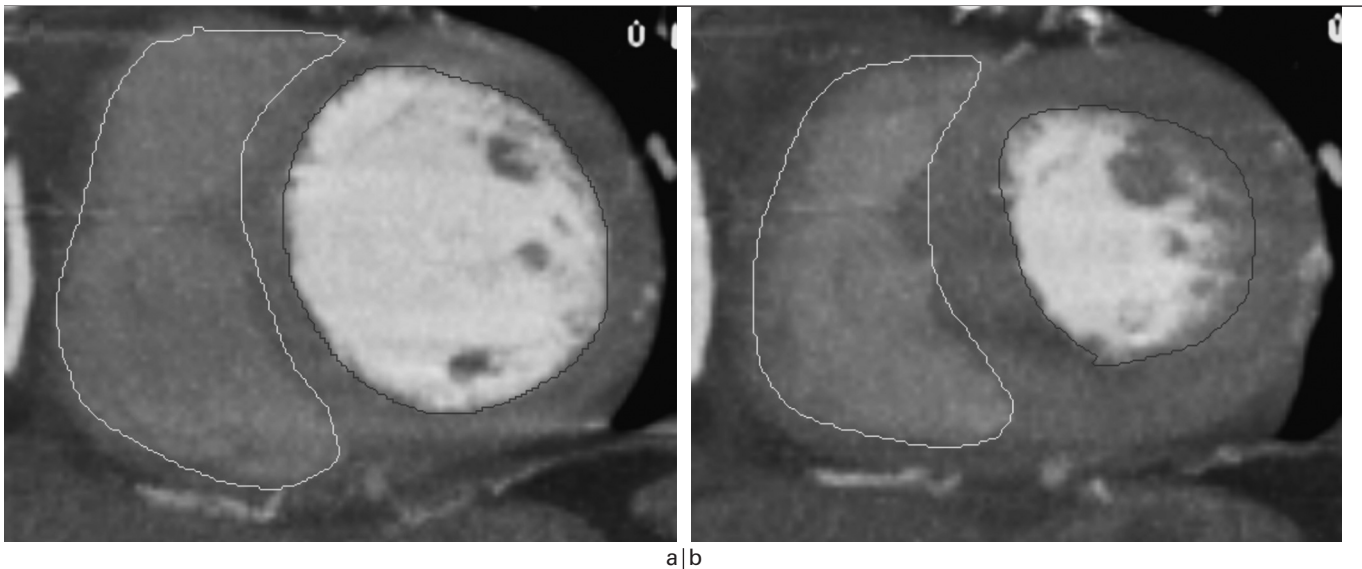


Fig. 2 : Contours endocardiques du ventricule droit et du ventricule gauche sur des coupes reformatées en MIP de 7 mm d'épaisseur en petit axe, en télédiastole (a) et en télésystole (b) en méthode volumique extrapolée.

respectivement. La reproductibilité intra-opérateur du choix de ces phases était bonne à très bonne, allant de 73 à 90 %. La reproductibilité interobservateur était similaire.

Durée du post-traitement pour le ventricule gauche

La durée de post-traitement moyenne était de 295 ± 102 s en MVD et de 214 ± 92 s en MVE, sans que cette différence soit significative.

Reproductibilité interobservateur et intra-observateur pour la mesure des fonctions ventriculaires globales

Le détail des résultats figure dans le *tableau I*, avec une population de 44 sujets pour le VG et de 22 sujets pour le VD. Les

CCIC varient de 0,694 à 0,992 et les $IC_{95\%}$ se chevauchent. Aucune différence significative n'a été observée pour ces paramètres, qu'il s'agisse du VG ou du VD, de la MVD ou de la MVE.

Comparaison des MVE et MVD

Le détail des résultats figure dans le *tableau II*, ainsi que sous forme graphique, *figure 3* pour le VG et *figure 4* pour le VD. Les résultats concernant le VTD et le VTS sont systématiquement inférieurs en MVD par rapport à la MVE, avec des écarts moyens pour le VG de 37 ml en VTD et de 33 ml en VTS, et pour le VD de 21 ml en VTD et de 23 ml en VTS. Ceci se traduit par une majoration de la FE de 8 % pour le VG et de 7 % pour le VD. Toutes ces différences sont significatives, avec $p < 0,0001$.

Discussion

La population de patients inclus dans cette étude représentait ce que l'on rencontre en clinique, avec des fonctions systoliques globales du ventricule gauche et du ventricule droit normales ou altérées, comme l'attestent les valeurs moyennes de FE obtenues. Cette étude montre la très bonne reproductibilité inter et intra-observateur des mesures scanographiques de volume télédiastolique, volume télésystolique et fraction d'éjection ventriculaire, que ce soit avec la méthode volumique extrapolée fondée sur le modèle géométrique de Simpson ou avec la méthode volumique directe 3D. Ces données sont en conformité avec les données déjà publiées (9, 10), et valident l'utilisation de cette méthode en clinique. Il est toutefois possible de dégager une tendance : la reproductibilité

Tableau I
Reproductibilités inter et intra-observateur.

			VG (n = 44)			VD (n = 22)		
			VTD	VTS	FE	VTD	VTS	FE
Reproductibilité interobservateur	MVD	CC	0,975	0,991	0,966	0,921	0,922	0,770
		$IC_{95\%}$	0,960 – 0,986	0,985 – 0,995	0,945 – 0,980	0,821 – 0,967	0,822 – 0,967	0,524 – 0,898
	MVE	CC	0,978	0,983	0,901	0,968	0,948	0,694
		$IC_{95\%}$	0,964 – 0,987	0,972 – 0,990	0,843 – 0,941	0,925 – 0,987	0,880 – 0,978	0,394 – 0,861
Reproductibilité intra-observateur	MVD	CC	0,990	0,992	0,964	0,947	0,876	0,865
		$IC_{95\%}$	0,982 – 0,994	0,985 – 0,995	0,936 – 0,980	0,879 – 0,978	0,724 – 0,946	0,704 – 0,942
	MVE	CC	0,992	0,996	0,968	0,974	0,974	0,816
		$IC_{95\%}$	0,985 – 0,987	0,993 – 0,998	0,942 – 0,982	0,939 – 0,989	0,939 – 0,989	0,608 – 0,919

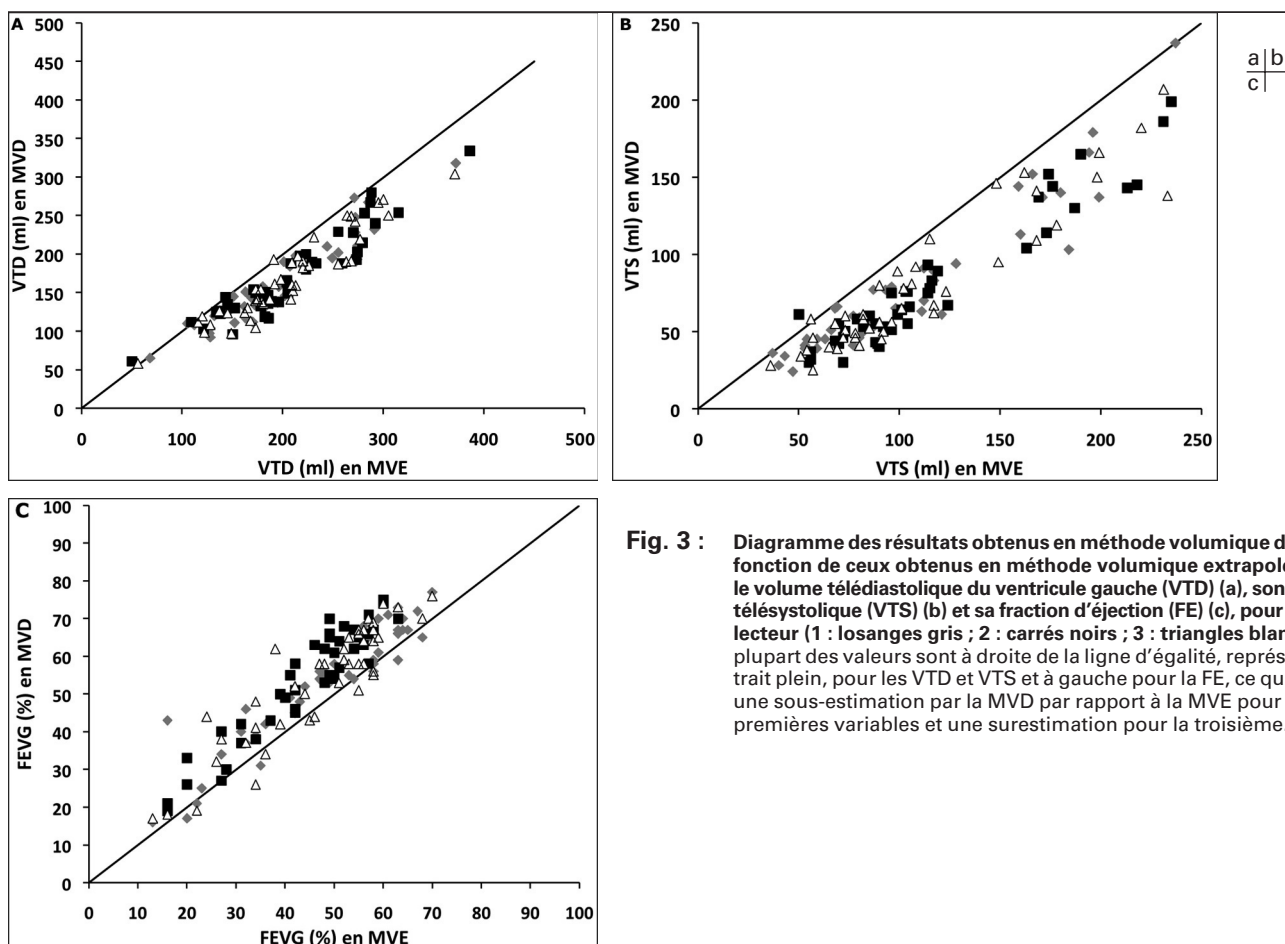
VG : ventricule gauche ; VD : ventricule droit ; MVD : méthode volumique directe (3D) ; MVE : méthode volumique extrapolée (2D) ; VTD : volume télédiastolique ; VTS : volume télésystolique ; FE : fraction d'éjection ; CC : coefficient de corrélation intraclasse ; $IC_{95\%}$: intervalle de confiance à 95 %.

Tableau II

Moyennes et écart-types des volumes télédiastoliques (VTD), volumes téléstistoliques (VTS), et fractions d'éjection mesurées par chaque observateur avec les deux méthodes.

		MVD				MVE			
		O1 L1	O1 L2	O2	O3	O1	O2 L1	O2 L2	O3
VG	VTD (ml)	164 ± 53	164 ± 53	170 ± 55	168 ± 54	197 ± 62	207 ± 63	207 ± 62	203 ± 60
	VTS (ml)	82 ± 52	81 ± 50	84 ± 50	84 ± 51	108 ± 58	120 ± 58	120 ± 58	114 ± 59
	FE (%)	53 ± 16	55 ± 15	54 ± 15	53 ± 15	48 ± 15	44 ± 12	45 ± 13	47 ± 14
VD	VTD (ml)	153 ± 50	153 ± 48	NA	149 ± 46	NA	171 ± 53	179 ± 53	167 ± 55
	VTS (ml)	75 ± 34	75 ± 34	NA	76 ± 36	NA	98 ± 40	98 ± 38	99 ± 43
	FE (%)	49 ± 13	51 ± 14	NA	50 ± 15	NA	44 ± 10	45 ± 8	41 ± 11

VG : ventricule gauche ; VD : ventricule droit ; MVD : méthode volumique directe (3D) ; MVE : méthode volumique extrapolée (2D) ; O : observateur ; L : lecture ; NA : non applicable.

**Fig. 3 :** Diagramme des résultats obtenus en méthode volumique directe en fonction de ceux obtenus en méthode volumique extrapolée, pour le volume télédiastolique du ventricule gauche (VTD) (a), son volume téléstistolique (VTS) (b) et sa fraction d'éjection (FE) (c), pour chaque lecteur (1 : losanges gris ; 2 : carrés noirs ; 3 : triangles blancs). La plupart des valeurs sont à droite de la ligne d'égalité, représentée en trait plein, pour les VTD et VTS et à gauche pour la FE, ce qui indique une sous-estimation par la MVD par rapport à la MVE pour les deux premières variables et une surestimation pour la troisième.

des mesures est meilleure pour le ventricule gauche que pour le ventricule droit, sans que cette différence soit significative. Une explication est la plus grande difficulté à déterminer le plan tricuspide qui sépare l'atrium du ventricule droit que le plan mitral où la distinction des cavités atriale et ventriculaire gauches est rendue aisée par la différence d'épaisseur du myocarde. Cette difficulté était d'autant plus grande que le protocole d'injection

utilisé ne permettait pas de toujours obtenir une opacification homogène des cavités droites.

L'écart entre les mesures des VTD et VTS effectuées par les deux méthodes, avec des résultats inférieurs en MVD par rapport à la MVE, était statistiquement différent. Cette différence se répercute sur le calcul des FE, avec cette fois-ci des résultats supérieurs en MVD, comme illustré dans le *tableau II* et les *figures 3* et

4. Ceci peut s'expliquer par plusieurs raisons : (i) la MVD ne prend en compte que le véritable volume cavitaire, à l'exclusion des muscles papillaires qui ont eux été inclus dans le volume cavitaire par la MVE ; (ii) à l'inverse, la MVD omet parfois du volume cavitaire entre les muscles papillaires, du fait du mode de segmentation par propagation de proche en proche en fonction de l'intensité des voxels ; (iii) la délimitation du plan

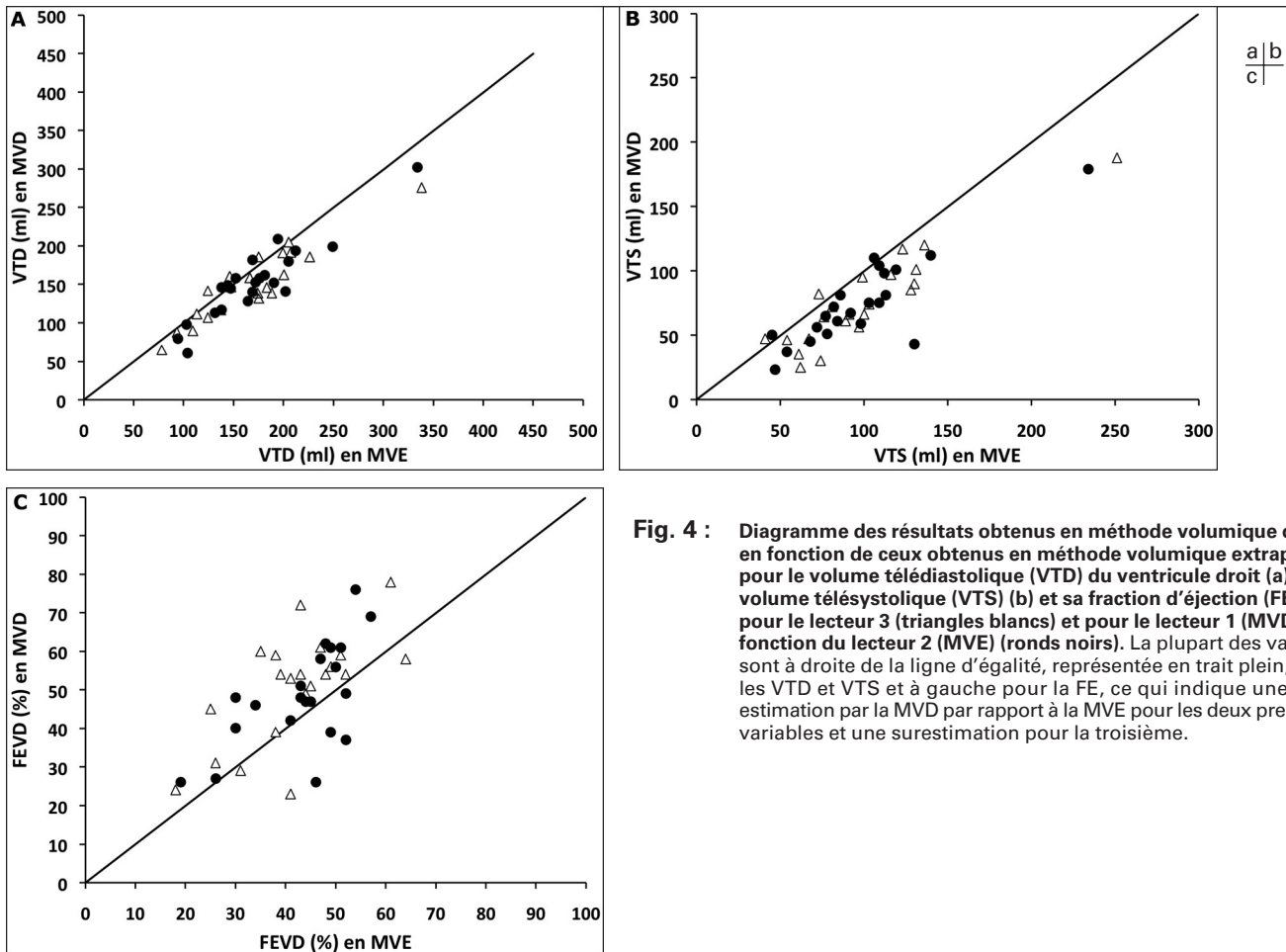


Fig. 4 : Diagramme des résultats obtenus en méthode volumique directe en fonction de ceux obtenus en méthode volumique extrapolée, pour le volume télédiastolique (VTD) du ventricule droit (a), son volume téléstolique (VTS) (b) et sa fraction d'éjection (FE) (c), pour le lecteur 3 (triangles blancs) et pour le lecteur 1 (MVD) en fonction du lecteur 2 (MVE) (ronds noirs). La plupart des valeurs sont à droite de la ligne d'égalité, représentée en trait plein, pour les VTD et VTS et à gauche pour la FE, ce qui indique une sous-estimation par la MVE par rapport à la MVD pour les deux premières variables et une surestimation pour la troisième.

mitral ou tricuspide est plus imprécise en MVE qu'en MVD, puisque dans la première méthode, en raison du mode de présentation en coupes petit axe de 7 mm d'épaisseur en MIP, il peut exister un effet de volume partiel non négligeable. Nos résultats sont concordants avec ceux précédemment publiés (9, 10), bien que les écarts constatés dans notre étude soient plus marqués : Montaudon, *et al.* avaient ainsi déterminé par consensus des deux lecteurs les phases télédiastolique et téléstolique ainsi que le plan mitral ou tricuspide avant de procéder aux analyses, choix que nous n'avons pas fait. Il en a résulté des variations dans les phases retenues pour la télédiastole et la téléstole, aussi bien en intra qu'en interopérateurs, toutefois assez minimes : 30 ou 40 % ont été choisies pour la téléstole et 90 ou 0 % pour la télédiastole, dans 9 cas sur 10. Cette variation traduit la part de subjectivité inhérente à l'intervention humaine, ainsi que probablement l'insuffisance d'échantillonnage du cycle cardiaque en ne reconstruisant que dix phases (11).

Il existe de nombreuses études comparant l'analyse fonctionnelle ventriculaire gauche par scanner aux autres méthodes couramment employées comme l'IRM, l'échocardiographie ou les méthodes isotopiques. La plupart se fondent sur la méthode 2D, ou MVE, et montrent une bonne concordance avec la méthode de référence (3-8, 11-16). En fait, il existe souvent une sous-estimation modérée des volumes mesurés en scanner. Ceci pourrait indiquer que la MVD, qui donne elle-même des volumes inférieurs par rapport à la MVE, serait plus proche des références. Cette hypothèse est étayée par Ehrhard, *et al.* (17). Les résultats sont similaires pour le ventricule droit, et conformes aux données de la littérature (9, 18).

Enfin, la MVE apparaît plus rapide que la MVD, sans toutefois que la différence mise en évidence soit significative ; en effet, les écarts type sont élevés, en raison de la différence d'expérience des opérateurs d'une part mais surtout en raison de la variation de qualité des examens en terme d'opacification des cavités, perturbant de ce fait la segmentation automatique. Ceci

est lié à la différence du volume de données à traiter, avec seulement quelques dizaines d'images en MVE et donc un temps de chargement très court. Mais si l'on prend en considération la durée de chargement de toutes les coupes et celle de la réalisation des coupes petit axe nécessaires à l'utilisation de la MVE, les deux méthodes requièrent exactement le même temps. La facilité d'utilisation de la MVD, qui peut se faire dans le même temps que l'analyse vasculaire, nous fait préférer cette méthode. En raison de l'irradiation induite par une acquisition avec synchronisation rétrospective à l'ECG, le scanner n'est pas indiqué pour une étude fonctionnelle. En revanche, les données nécessaires à cette mesure sont toujours disponibles dans ces examens. Il est donc important de donner ces informations dans le compte rendu.

Conclusion

Les deux méthodes testées présentent des reproductibilités inter et intra-observa-

teur élevées, sans différence significative entre elles. Ces résultats constituent un argument en faveur de leur utilisation en clinique, en complément de l'analyse morphologique des artères coronaires. La différence essentielle est la minoration systématique des volumes télédiastolique et télésystolique, que l'on s'intéresse au ventricule droit ou au gauche, en MVD par rapport à la MVE, qui se retrouve sous la forme d'une légère majoration de la FE.

Références

1. Boussel L, Douek P, Revel D. Scanner cardiaque : quelle place dans la maladie coronaire ? *J Radiol* 2006;87:1637-41.
2. Gilard M, Pennec PY, Cornily JC, Vinsonneau U, Le Gal G, Nonent M, et al. Multi-slice computer tomography of left ventricular function with automated analysis software in comparison with conventional ventriculography. *Eur J Radiol* 2006;59:270-5.
3. Kopp AF, Heuschmid M, Reimann A, Kuettner A, Beck T, Ohmer M, et al. Evaluation of cardiac function and myocardial viability with 16- and 64-slice multidetector computed tomography. *Eur Radiol* 2005;15:D15-20.
4. Heuschmid M, Rothfuss JK, Schroeder S, Fenchel M, Stauder N, Burgstahler C, et al. Assessment of left ventricular myocardial function using 16-slice multidetector-row computed tomography: comparison with magnetic resonance imaging and echocardiography. *Eur Radiol* 2006;16:551-9.
5. Wu YW, Tadamura E, Yamamuro M, Kanao S, Okayama S, Ozasa N, et al. Estimation of global and regional cardiac function using 64-slice computed tomography: A comparison study with echocardiography, gated-SPECT and cardiovascular magnetic resonance. *Int J Cardiol* 2008;128:69-76.
6. Kim IJ, Choo KS, Lee JS, Kim SJ, Kim JH, Kim YK, et al. Comparison of gated blood pool SPECT and multi-detector row computed tomography for measurements of left ventricular volumes and ejection fraction in patients with atypical chest pain: validation with radionuclide ventriculography. *Cardiology* 2007;107:8-16.
7. Salm LP, Schuijff JD, de Roos A, Lamb HJ, Vliegen HW, Jukema JW, et al. Global and regional left ventricular function assessment with 16-detector row CT: comparison with echocardiography and cardiovascular magnetic resonance. *Eur J Echocardiogr* 2006;7:308-14.
8. Yamamuro M, Tadamura E, Kubo S, Toyoda H, Nishina T, Ohba M, et al. Cardiac functional analysis with multi-detector row CT and segmental reconstruction algorithm: comparison with echocardiography, SPECT, and MR imaging. *Radiology* 2005;234:381-90.
9. Montaudon M, Laffon E, Berger P, Cornéloup O, Latrabe V, Laurent F. Measurement of cardiac ventricular volumes using multidetector row computed tomography: comparison of two- and three-dimensional methods. *Eur Radiol* 2006;16:2341-9.
10. Juergens KU, Seifarth H, Range F, Wienbeck S, Wenker M, Heindel W, et al. Automated threshold-based 3D segmentation versus short-axis planimetry for assessment of global left ventricular function with dual-source MDCT. *AJR Am J Roentgenol* 2008;190:308-14.
11. Juergens KU, Maintz D, Grude M, Boese JM, Heimes B, Fallenberg EM, et al. Multi-detector row computed tomography of the heart: does a multi-segment reconstruction algorithm improve left ventricular volume measurements? *Eur Radiol* 2005;15:111-7.
12. Annur BR, Liew CK, Chin SP, Ong TK, Seyfarth MT, Chan WL, et al. Assessment of global and regional left ventricular function using 64-slice multislice computed tomography and 2D echocardiography: a comparison with cardiac magnetic resonance. *Eur J Radiol* 2008;65:112-9.
13. Schuijff JD, Bax JJ, Jukema JW, Lamb HJ, Salm LP, de Roos A, et al. Assessment of left ventricular volumes and ejection fraction with 16-slice multi-slice computed tomography; comparison with 2D-echocardiography. *Int J Cardiol* 2007;116:201-5.
14. Raman SV, Shah M, McCarthy B, Garcia A, Ferketich AK. Multi-detector row cardiac computed tomography accurately quantifies right and left ventricular size and function compared with cardiac magnetic resonance. *Am Heart J* 2006;151:736-44.
15. Juergens KU, Seifarth H, Maintz D, Grude M, Ozgun M, Wichter T, et al. MDCT determination of volume and function of the left ventricle: are short-axis image reformations necessary? *AJR Am J Roentgenol* 2006;186:S371-8.
16. Bastarrika G, Arraiza M, De Cecco CN, Mastrobuoni S, Ubilla M, Rabago G. Quantification of left ventricular function and mass in heart transplant recipients using dual-source CT and MRI: initial clinical experience. *Eur Radiol* 2008;18:936-46.
17. Ehrhard K, Oberholzer K, Gast K, Mildenberger P, Kreitner KF, Thelen M. Multi-slice CT (MSCT) in cardiac function imaging: threshold-value-supported 3D volume reconstructions to determine the left ventricular ejection fraction in comparison to MRI. *Rofo* 2002;174:1566-9.
18. Matsui H, Yasukochi S, Haseyama K, Kaneko S, Satomi G. Quantification of right and left ventricular volumes in children with congenital heart disease by multidetector-row computed tomography. *Pediatr Cardiol* 2007;28:267-71.