

Nouveautés en imagerie cardiovasculaire

Update in cardiovascular imaging

M. Laureys¹, F. Tannouri¹ et C. Neugrosch²

Service d'Imagerie Médicale, Départements ¹d'Imagerie Cardiovasculaire et Interventionnelle et ²de Neuroradiologie, Hôpital Erasme, U.L.B.

RESUME

L'imagerie cardiovasculaire a bénéficié de nombreuses avancées technologiques, rendant les explorations diagnostiques de moins en moins invasives et de plus en plus précises, y compris au niveau cardiaque. Les principaux champs d'application sont passés en revue en précisant les avantages et désavantages de deux techniques complémentaires : le CT-scanner et l'imagerie par résonance magnétique.

Rev Med Brux 2003 ; 4 : A 289-97

ABSTRACT

Many technologic improvements have allowed cardiovascular imaging to be more efficient and less invasive, especially in cardiac imaging. The main application fields are described. Advantages and disadvantages of two complementary imaging techniques are highlighted : CT-scanner and magnetic resonance imaging.

Rev Med Brux 2003 ; 4 : A 289-97

Key words : cardiovascular imaging, CT-scanner, nuclear magnetic resonance imaging

INTRODUCTION

Avec les progrès incessants de l'informatique et des constructeurs, l'imagerie au sens large et l'imagerie cardiovasculaire en particulier, deviennent de plus en plus précises, interactives et de moins en moins invasives¹.

L'artériographie reste la méthode d'imagerie vasculaire par excellence, seule à autoriser une résolution spatiale maximale, une visualisation des lumières vasculaires en temps réel couplée à une analyse des conditions hémodynamiques par la succession rapide des images et par la mesure directe des pressions endoluminales.

Si l'artériographie conserve à titre diagnostique quelques rares indications (évaluation des lits vasculaires distaux, de la vascularisation cérébrale fine (Figures 1a et 1b), de l'état d'une anastomose chirurgicale comme une fistule d'hémodialyse par exemple (Figure 2), de conditions hémodynamiques précises dans le bilan d'une malformation artério-veineuse, etc.), elle est essentiellement utilisée de nos jours de manière couplée à un geste interventionnel.

Les explorations vasculaires et cardiovasculaires ont, ces vingt dernières années, progressivement quitté les salles de cathétérisme vers les salles de CT-scanner

et d'imagerie par résonance magnétique (IRM).

Des récentes avancées (fin des années 90) ont permis de mettre sur le marché des scanners multi-détecteurs, venant multiplier les performances globales des scanners hélicoïdaux (ou "spiralés" apparus vers le début des années 90) par un facteur 4 à 16 actuellement.

L'imagerie vasculaire en échographie a, elle aussi, naturellement rencontré de nombreux progrès (Doppler couleurs et pulsé en temps réel, mode "energy", imagerie par seconde harmonique) visant à une visualisation de plus en plus aisée des structures.

L'article passe en revue les avancées les plus significatives du CT-scanner ainsi que de l'IRM en pathologie vasculaire ainsi que cardiaque.

ANGIO-CT

A l'exception des membres supérieurs et inférieurs, n'importe quel segment de l'aorte ainsi que ses troncs d'émergence peut être exploré en routine de manière précise et reproductible en angio-scanner. Les opérations de post-traitement d'images, visant à manipuler le volume exploré en 3D, auparavant sujettes à de nombreuses critiques² sont, de nos jours, plus rapides et plus fiables³. L'exploration nécessite l'injection



Figure 1a : Vue de profil, angiographie sélective carotidienne externe, temps artériel.



Figure 2 : Angiographie montrant une sténose par hyperplasie dans une prothèse métallique placée dans une veine sous-clavière en aval d'une fistule de dialyse.



Figure 1b : Intérêt de l'apport dynamique de l'artériographie : la malformation artériovoineuse, révélée par la stagnation de contraste en haut de l'image, n'est visible qu'à des temps veineux, beaucoup plus tardifs.

d'un bolus de produit de contraste iodé, par voie intraveineuse. Les produits actuellement utilisés ne provoquent plus que très rarement des effets indésirables, et encore plus rarement des réactions adverses graves. Rappelons qu'il n'existe aucune réaction croisée avec l'allergie aux fruits de mer ou avec l'allergie de contact aux désinfectants iodés. De plus, l'impact de ces nouveaux produits de contraste sur la fonction rénale devient de moins en moins significatif, sans atteindre toutefois la quasi-innocuité du Gadolinium (IRM)⁴.

- L'angio-CT permet, par exemple, le diagnostic
- d'une sténose d'artère rénale (Figure 3) ;
 - d'une dissection aortique ;
 - d'une sténose de tronc coélique (Figure 4) ;
 - d'un pseudo-anévrisme de l'artère splénique ;
 - d'une embolie pulmonaire (Figure 5) ;
 - d'un ulcère pénétrant de l'aorte ;
 - etc.

Les sténoses carotidiennes sont bien objectivées mais souvent au prix de longues manipulations de post-traitement d'images, diminuant fortement le rapport efficacité/coût de la technique.

Les troncs digestifs sont remarquablement objectivés (Figure 6).

Il est également possible de réaliser des angio-CT des vaisseaux intracrâniens (Figure 7).

L'angio-scanographie des membres inférieurs est actuellement théoriquement possible à réaliser⁵, mais son utilisation est grevée d'un taux d'irradiation actuellement encore trop élevé pour être acceptable.

ANGIO-IRM

L'IRM est une technique sans irradiation ionisante.

L'angio-IRM requiert une injection intraveineuse de produit de contraste (à base de chélates de Gadolinium) et permet d'explorer de manière reproductible, avec une définition légèrement inférieure à celle de l'angio-scanner, tous les segments artériels du corps humain (à l'exception de ceux des membres supérieurs qui, pour des raisons techniques, débordent du champ de vision de la machine).

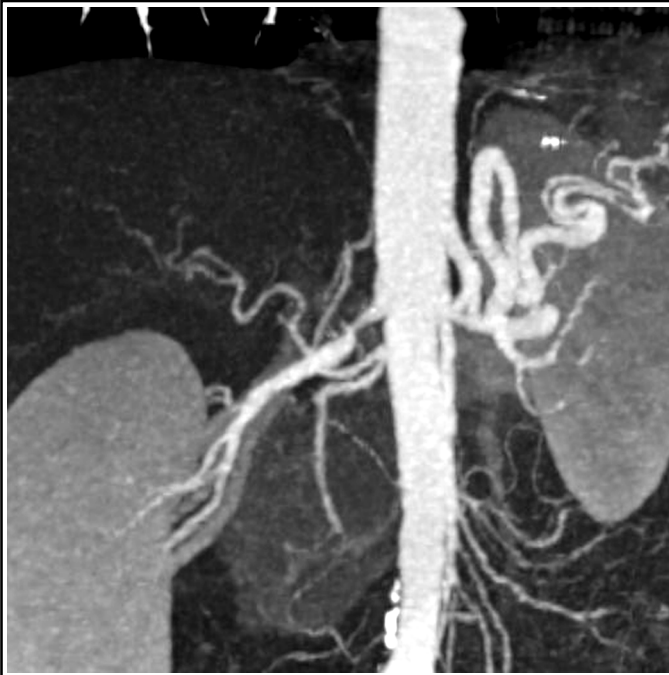


Figure 3 : Angio-CT : deux vues 3D d'une sténose serrée de l'artère rénale droite.



Figure 4 : Angio-CT : vue 3D d'une aorte abdominale très calcifiée, exposant une sténose serrée de l'origine du tronc cœliaque.

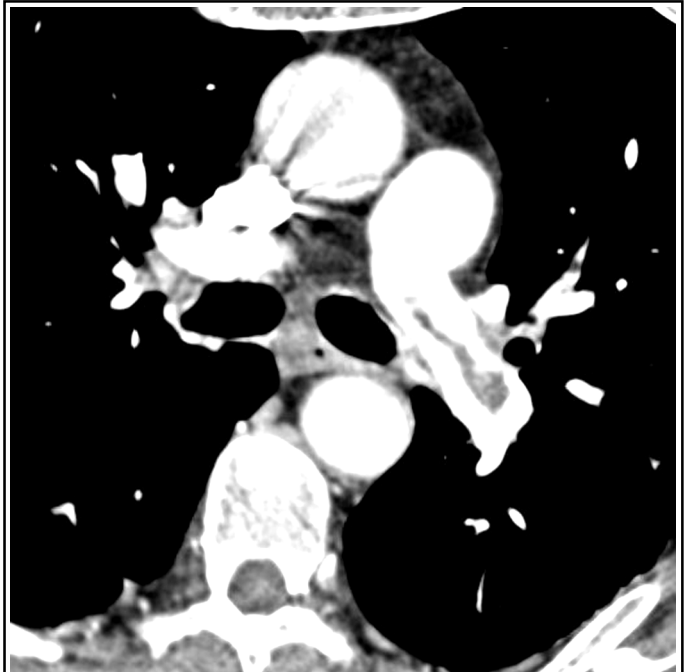


Figure 5 : Angio-CT : embolie pulmonaire dans l'artère pulmonaire gauche (avec l'aimable autorisation de D. Tack, C.H.U. de Charleroi).

L'angio-IRM présente de nombreux avantages par rapport à l'angio-scanner, mis à part une résolution spatiale légèrement inférieure et la survenue de certains artefacts (sténoses de degré surestimé, voire fausses sténoses).

- Outre son caractère non-irradiant, l'angio-IRM
- nécessite l'injection d'un produit de contraste à une concentration beaucoup moins néphrotoxique que les produits de contraste iodés ;
- nécessite moins de manipulations de post-processing : l'acquisition des images s'effectue par des temps

d'écho tellement courts que les structures avoisnantes sont "naturellement" effacées, et seuls "résonnent" les contenus intravasculaires contenant du Gadolinium ;

- permet une visualisation fiable, quoique très limitée, de la vascularisation distale^{6,7} ;
- est applicable aux membres inférieurs en routine⁸ ;
- permet des explorations vasculaires fonctionnelles (acquisitions successives du même volume d'exploration étudiant les cinétiques de rehaussement des parenchymes, tout en permettant l'exploration anatomique vasculaire) ;



Figure 6 : Angio-CT : vue 3D d'une aorte abdominale et des branches principales à destinée digestive (flèches).

- peut être utilement complétée par la réalisation d'acquisitions non angiographiques, apportant une information tissulaire.

Sans oublier les contre-indications classiques absolues ou relatives de l'IRM (pacemaker, électrode de neurostimulation, clips vasculaire anciens, implants cochléaires, femmes enceintes premier trimestre), ses désavantages sont actuellement un seuil de résolution spatiale inférieur par rapport aux possibilités de l'angio-

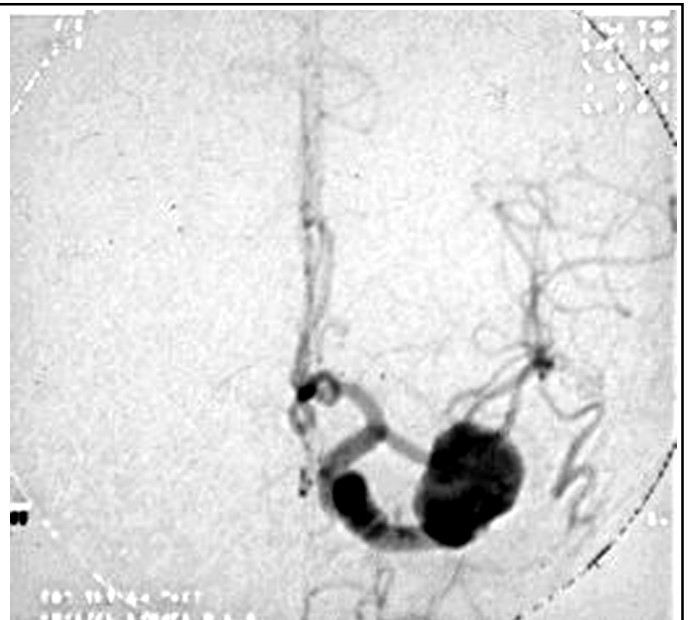
scanner, et l'impossibilité d'explorer un segment vasculaire traité par une prothèse métallique (situation de plus en plus fréquemment rencontrée avec le développement des traitements endovasculaires).

Les principales indications actuelles de l'angio-IRM sont

- la détection de sténoses d'artères rénales (Figure 8) ;
- la détection de sténoses carotidiennes (Figure 9) ;
- les cartographies vasculaires au niveau de l'aorte sous-rénale et des membres inférieurs (Figure 10) ;
- la vérification de la perméabilité de la veine porte (bilan d'extension de néoplasie pancréatique, bilan dans le cadre de greffe hépatique) ;
- le dépistage d'anévrisme intracrânien (histoire familiale) (Figure 11) ;
- la suspicion d'occlusion ou d'envahissement de sinus veineux intracrânien (infection, méningiome) ;
- suivi de traitement de malformations artério-veineuses intracrâniennes (suivi de traitements par gamma-knife et/ou par embolisations) (Figure 12) ;
- suspicion de dissection artérielle (traumatique, iatrogène, Syndrome de Marfan, etc.) périphérique ou cérébrale ;
- la détection de sténoses aortiques (Figure 13).

A LA (RE)CONQUETE DU CŒUR

Depuis quelques années, de nombreux travaux ont mis en évidence l'apport diagnostique de l'IRM au niveau de la sphère cardiaque, plus particulièrement au niveau du péricarde et du myocarde (pathologies infiltratives : lymphomes, sarcoïdose, hémochromatose, amyloïdose, zones de nécroses, etc.).



a
b
c

Figure 7 : Angio-CT : exemples d'anévrismes intracrâniens : 7a : angio-CT d'anévrismes sylvien en miroir, vue de face ; 7b : angio-CT d'un anévrisme sylvien géant ; 7c : même patient, aspect de l'anévrisme retrouvé en angiographie conventionnelle (avec l'aimable autorisation de T. Roger, Clinique du Parc Léopold).

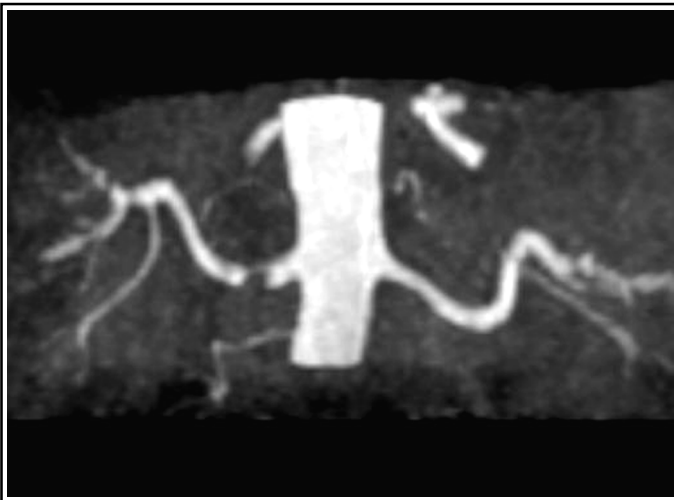


Figure 8 : Angio-IRM : vue de face d'une sténose d'artère rénale droite.



Figure 9 : Angio-IRM des carotides et vertébrales : vue 3D, présence d'une occlusion de la carotide interne gauche (à droite dans l'image).



Figure 11 : Deux vues 3D d'angio-IRM du polygone de Willis, ayant mis en évidence un anévrisme de la carotide interne gauche, et sa corrélation avec l'angiographie classique.



Figure 10 : Angio-IRM des membres inférieurs.

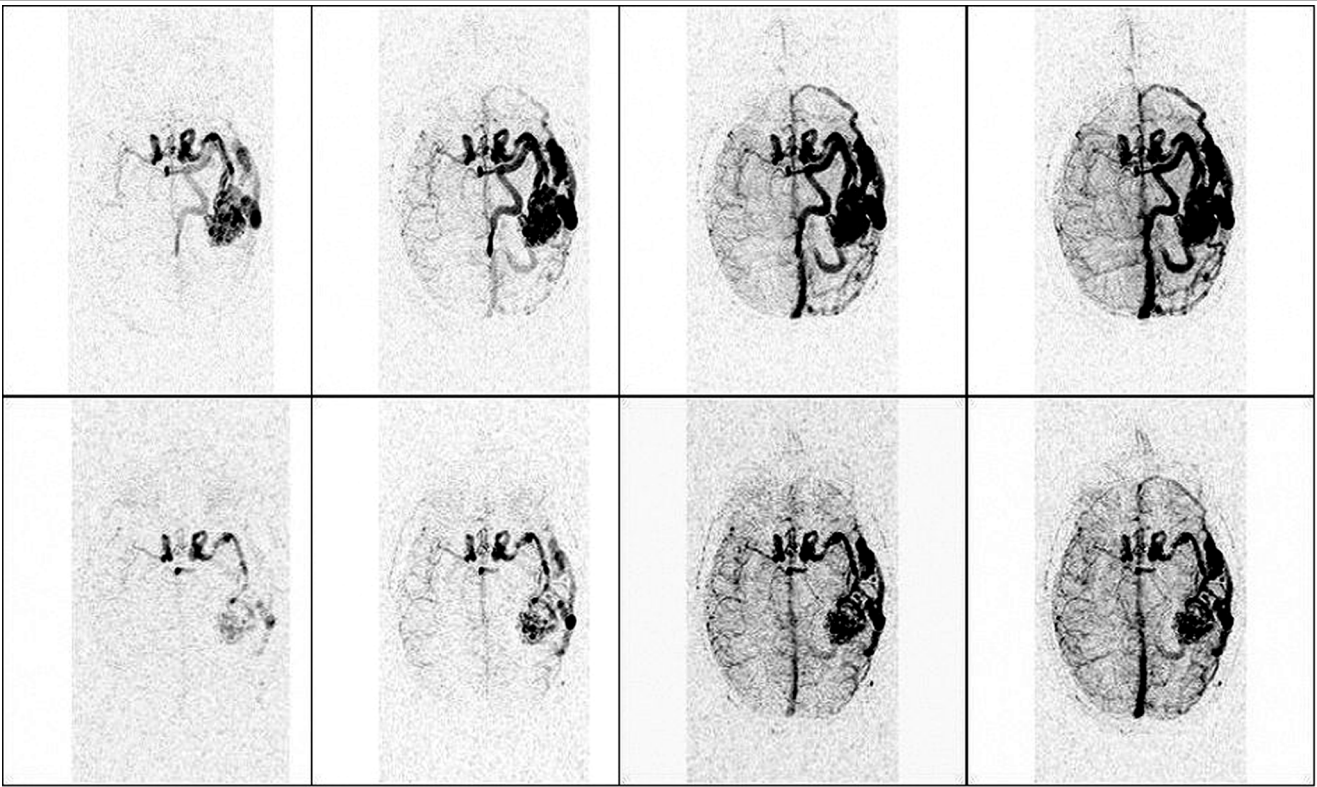


Figure 12 : Projections 3D d'une angiographie par IRM d'une malformation artério-veineuse intracérébrale avant (série du dessus) et après (série du dessous) traitement par Gamma-Knife.

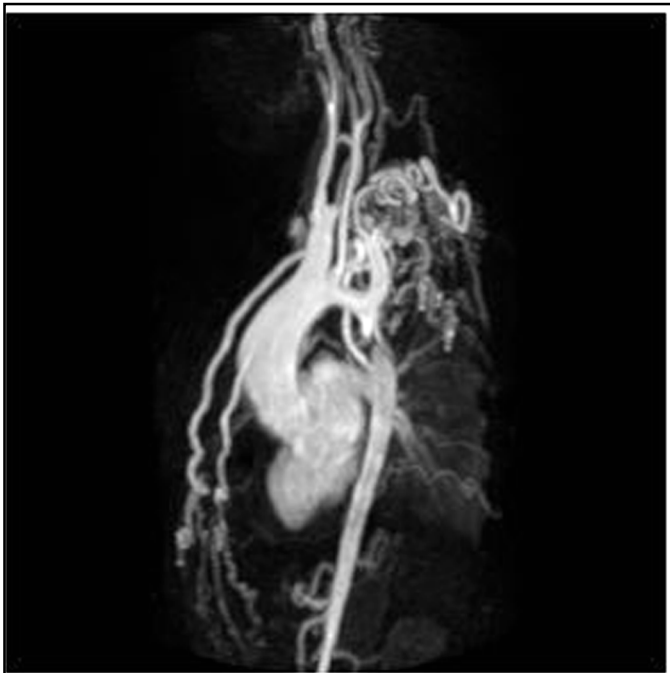


Figure 13 : Reconstruction 3D d'une coarctation de l'aorte thoracique.

La vérification de la viabilité myocardique est de nos jours réalisée par cardio-IRM, de manière plus précise qu'aux isotopes ou en échographie cardiaque (l'IRM a pour avantages une excellente résolution spatiale, une résolution de contraste entre les tissus, et une couverture totale du cœur par le champ de vision de l'IRM).

Cette technique est reconnue comme *gold-standard*

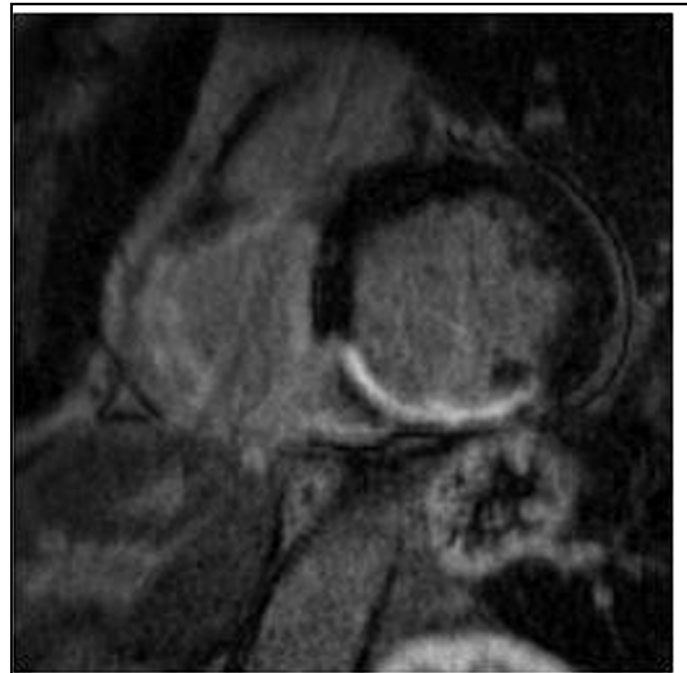


Figure 14 : Cardio-IRM : coupe perpendiculaire à l'axe du ventricule gauche, la zone septo-basale est anormalement rehaussée par rapport au myocarde environnant. Cette zone correspond à un vaste infarctus inférieur.

gold standard pour la détection des zones viables ou non viables au niveau du myocarde^{9,10} (Figure 14).

De plus, l'IRM permet l'acquisition rapide (tous les dixièmes de seconde environ) de nombreuses images à tous les temps du cycle cardiaque. La réalisation de films permet de détecter les zones de dyskinesie ou



d'akinésie, et le calcul de la fraction d'éjection.

Après injection de Gadolinium, l'étude du rehaussement myocardique peut s'opérer de manière dynamique, pour établir des courbes de rehaussement (à l'instar de la scintigraphie de perfusion)¹¹. Une imagerie coronarienne satisfaisante par IRM reste actuellement irréalisable en routine clinique.

La nouvelle génération de CT-scanners (multi-détecteurs, ou "multibarrettes") autorise une synchronisation de l'ECG d'un patient avec des coupes CT réalisées au niveau du cœur. Ceci permet d'isoler les images du patient correspondant à un moment précis de la systole ou de la diastole, "gelant" artificiellement le cœur ainsi que les coronaires, et d'obtenir, outre les images anatomiques classiques du myocarde (Figure 15), des images de coronarographie par CT. Ces images suffisent la plupart du temps à explorer et à vérifier la perméabilité des troncs coronariens princi-

paux (coronaire droite, tronc commun, IVA et circonflexe) (Figure 16)¹².

De manière similaire et sans injection de produit de contraste, il est également possible de procéder à une quantification calcique des parois coronariennes (*calcium scoring*).

Bientôt en routine, des logiciels de traitements d'images permettront le calcul rapide de la fraction d'éjection et l'analyse en ciné-mode des mouvements myocardiques, à la recherche de zones de dyskinésie éventuelle, comme en cardio-IRM.

CONCLUSION

Le scanner et l'IRM, qu'ils soient appliqués à la pathologie vasculaire ou même cardiaque, offrent un champ d'investigation en pleine expansion au gré des progrès incessants des constructeurs et des utilisateurs, ayant permis de substituer à l'angiographie diagnostique la quasi totalité de ses indications classiques. De plus, dans leurs applications cardiaques, ces techniques s'annoncent prochainement incontournables.

Les indications vasculaires respectives d'angio-CT et d'angio-IRM sont pratiquement similaires, et le choix d'une technique ou de l'autre sera fonction essentiellement de l'indication, de l'accessibilité d'une technique par rapport à l'autre, de l'expérience du radiologue en charge, de l'éventuelle tendance à la claustrophobie du patient (défavorisant le recours à l'IRM) et de l'existence potentielle d'une insuffisance rénale significative.

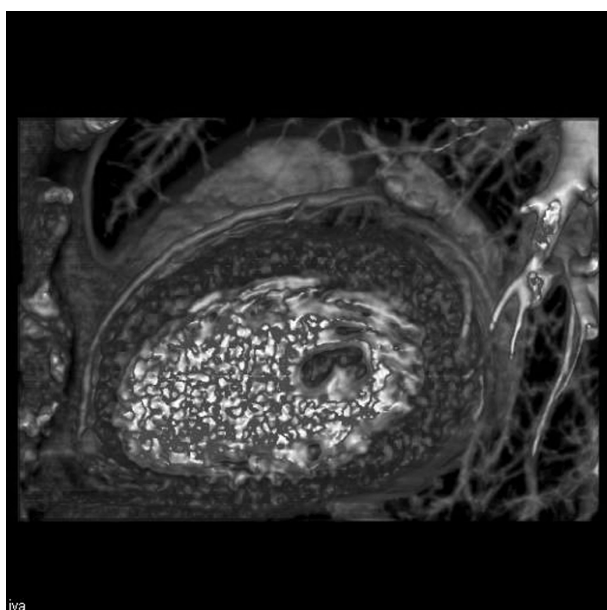
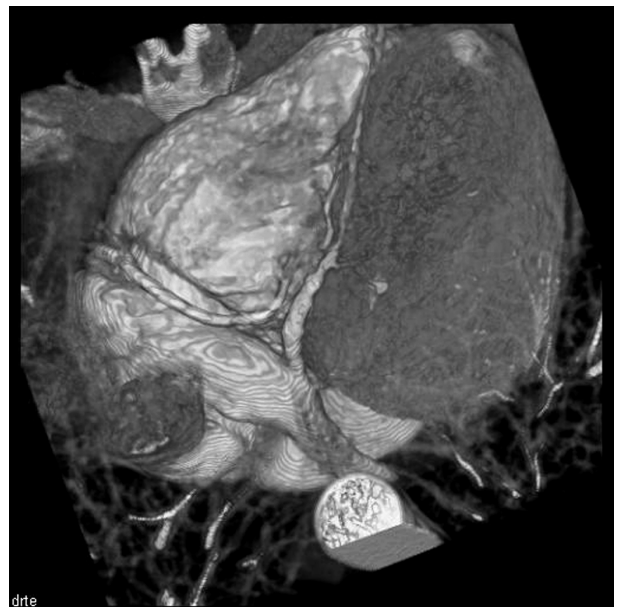
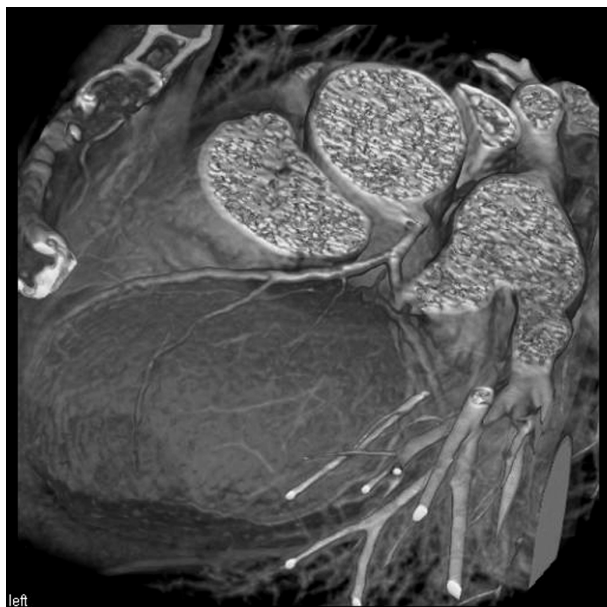
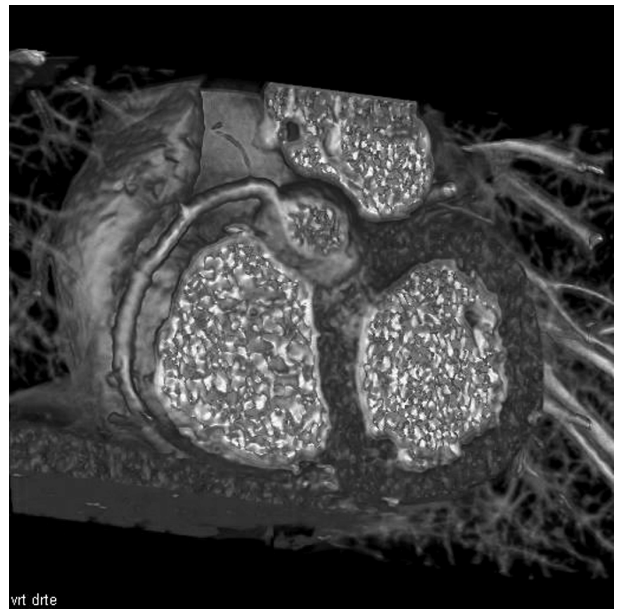
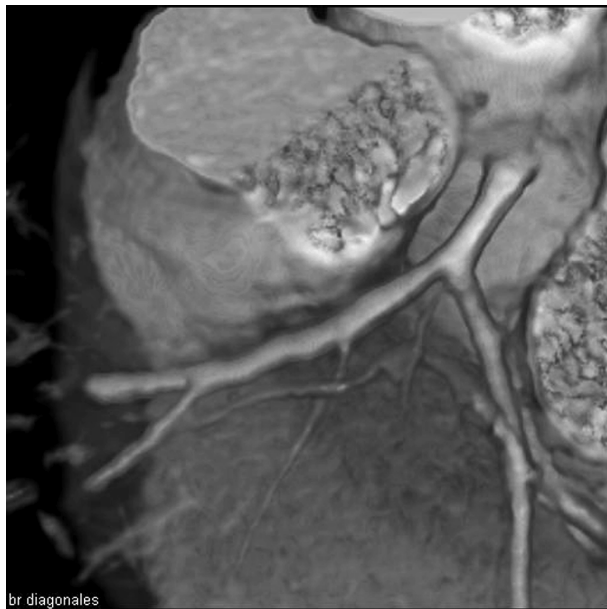
Si l'on envisage l'offre actuelle en termes de disponibilité de machine, le rapport efficacité/coût penche actuellement en la faveur de l'angio-CT, mais celui-ci se révèle d'une efficacité souvent limitée dans certaines zones anatomiques (carotides, membres inférieurs), où l'angio-IRM prend le pas (Tableau).

Le radiologue orientera l'exploration diagnostique vers l'une ou l'autre technique dans le souci de l'optimisation du service pour le bien du patient.

Tableau : Résumé des techniques à privilégier selon les sites anatomiques à explorer.

| | 1 ^{ère} intention | 2 ^{ème} intention | 3 ^{ème} intention |
|--|---|----------------------------|----------------------------|
| <i>Vaisseaux intracérébraux</i> | Angio-IRM | Angiographie (gs) | Angio-CT |
| <i>Carotides</i> | Doppler | Angio-IRM | Angio-CT |
| <i>Sous-clavières</i> | Angio-IRM | Doppler | Angio-CT |
| <i>Membres supérieurs</i> | Doppler | Angiographie (gs) | |
| <i>Aorte thoraco-abdominale</i> | Angio-CT ou Angio-IRM selon disponibilités ou si (ir) | | |
| <i>Artères rénales (sténose, dysplasies)</i> | Angio-CT | Angio-IRM (ir) | Angiographie (gs) |
| <i>Artères digestives</i> | Angio-CT | Angio-IRM (ir) | Angiographie (gs) |
| <i>Artères iliaques</i> | Angio-IRM | Angiographie (gs) | (Angio-CT) |
| <i>Membres inférieurs</i> | Angio-IRM | Angiographie (gs) | (Doppler-Angio CT) |

(ir) = à privilégier si insuffisance rénale ; (gs) = *gold standard*.



| | | |
|---|--|---|
| a | | d |
| b | | e |
| c | | |

Figure 16 : Cardio-CT : reconstructions 3D des coronaires ; 16a : vue montrant la normalité du tronc commun, de l'IVA proximale donnant des branches diagonales normales, et, se dirigeant vers le dessous, l'artère circonflexe ; 16b : vue plus large de l'IVA ; 16c : coupe longitudinale dans le ventricule gauche, avec l'IVA qui chemine en superficie de la surface externe du ventricule gauche ; 16d : coupe perpendiculaire à l'axe du VG, permettant de visualiser la coronaire droite ; 16e : vue inférieure du cœur montrant la partie terminale de la coronaire droite et la confluence du sinus coronaire.

BIBLIOGRAPHIE

1. Rémy-Jardin M, Bonnel F, Masson P, Remy J : Reconstructive techniques in spiral CT angiography. *J Radiol* 1999 ; 80 : 987
2. Schreiner S, Pachal CB, Galloway RL : Comparison of projection algorithms used for the construction of maximum intensity projection images. *J Comput Assist Tomogr* 1996 ; 20 : 56-67
3. Ofer A, Nitecki SS, Linn S et al : Multidetector CT Angiography of Peripheral Vascular Disease : A Prospective Comparison with Digital Substraction Angiography. *AJR Am J Roentgenol* 2003 ; 180 : 719-24
4. Dooley M, Jarvis B : Iomeprol : a review of its use as a contrast medium. *Drugs* 2000 ; 59 : 1169-86
5. Rubin GD, Schmidt AJ, Logan LJ, Sofilos MC : Multi-detector row CT angiography of lower extremity arterial inflow and runoff : initial experience. *Radiology* 2001 ; 221 : 146-58
6. Connell DA, Koulouris G, Thorn DA, Potter HG : Contrast-enhanced MR angiography of the hand. *Radiographics* 2002 ; 22 : 583-99
7. Wentz KU, Frohlich JM, von Weymarn C, Patak MA, Jenelten R, Zollikofer CL : High-resolution magnetic resonance angiography of hands with timed arterial compression (tac-MRA). *Lancet* 2003 ; 361 : 49-50
8. Goyen M, Ruehm SG, Debatin JF : MR angiography for assessment of peripheral vascular disease. *Radiol Clin North Am* 2002 ; 40 : 835-46
9. Kuhl HP, Beek AM, van der Weerd AP et al : Myocardial viability in chronic ischemic heart disease. Comparison of contrast-enhanced magnetic resonance imaging with (18)F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography. *J Am Coll Cardiol* 2003 ; 41 : 1341-8
10. Perrin EC, Silva GV, Sarmiento-Leite R et al : Assessing myocardial viability and infarct transmural extent with left ventricular electromechanical mapping in patients with stable coronary artery disease : validation by delayed-enhancement magnetic resonance imaging. *Circulation* 2002 ; 106 : 957-69
11. Muhling O, Jerosch-Herold M, Nabauer M, Wilke N : Assessment of ischemic heart disease using magnetic resonance first-pass perfusion imaging. *Herz* 2003 ; 28 : 82-9
12. Ropers D, Baum U, Pohle K et al : Detection of coronary artery stenoses with thin-slice multi-detector row spiral computed tomography and multiplanar reconstruction. *Circulation* 2003 ; 107 : 664-6

Correspondance et tirés à part :

M. LAUREYS
Hôpital Erasme
Service d'Imagerie Médicale
Route de Lennik 808
1070 Bruxelles

Travail reçu le 12 mai 2003 ; accepté dans sa version définitive le 1^{er} juillet 2003.