

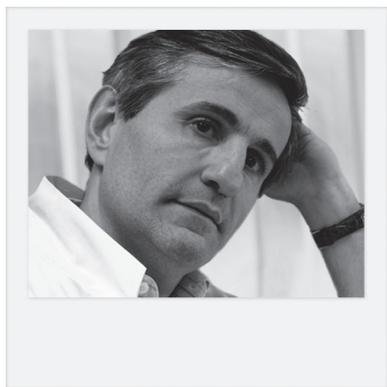
LE DOSSIER Scanner cardiaque

Le scanner cardiaque en 2012 : technique, réduction de dose, évolutions techniques

RÉSUMÉ : Les applications cardiaques ont été le moteur de l'évolution technologique du scanner depuis le début des années 2000. Après 10 ans de progrès techniques rapides, avec une nouvelle génération de machines tous les deux ans, l'évolution technologique du scanner s'est diversifiée et se ralentit.

La technologie minimum pour faire du scanner cardiaque de façon fiable est le scanner 64 coupes, avec un détecteur de 4 cm de large. Certaines des machines les plus récentes permettent une acquisition du cœur en un seul battement, mais leur disponibilité est encore limitée et cette technologie n'est pas encore suffisamment performante pour une application chez tous les patients.

Le problème de la dose d'irradiation est maintenant en grande partie résolu, les scanners les plus récents peuvent en effet réduire la dose d'environ 80 % par rapport à la première génération de scanner 64 coupes. Le scanner cardiaque est maintenant moins irradiant que l'imagerie de référence qu'est la coronarographie. Le scanner cardiaque demande des équipes expérimentées dans sa pratique pour offrir des résultats optimaux.



→ J.F. PAUL

Centre Chirurgical Marie
Lannelongue, LE PLESSIS-ROBINSON.
Hôpital Américain,
NEUILLY-SUR-SEINE.

Evolution technique

Entre 2000 et 2010, l'évolution du scanner multicoupe a été rapide, avec une nouvelle génération de machines tous les deux ans. Cette évolution technique rapide a été essentiellement guidée par les applications cardiaques qui nécessitent des machines performantes, afin de répondre à une imagerie en haute résolution d'un organe en mouvement. Depuis 2010, on assiste à un net ralentissement des innovations technologiques, et le scanner cardiaque arrive à une certaine maturité. La problématique de l'irradiation élevée sur les premières générations de scanner est maintenant en grande partie résolue sur les scanners de dernière génération. Le scanner coronaire devient un examen de routine dans les centres qui ont investi dans cette technique, et les techniques d'acquisition commencent à se standardiser.

Lors d'une longue période que l'on peut baptiser de "course aux barrettes", allant de 2000 à 2008, on a vu croître le nombre de détecteurs à 2, 4, 16 puis 64. Le scanner 64 barrettes est certainement le requis technique minimum indispensable pour réaliser de façon fiable un scanner cardiaque.

Après 2008, les 4 constructeurs principaux de scanners (General Electrics, Siemens, Philips et Toshiba) ont diversifié leurs machines haut de gamme, en proposant des machines adaptées particulièrement aux applications cardiaques, avec des choix technologiques différents pour chacun. Par exemple, la société Siemens propose une technologie "double tube" qui permet de réduire le temps d'acquisition par 2 (réduction de moitié de la résolution temporelle), ce qui est très appréciable pour l'imagerie du cœur, avec des images acquises en 75 ms.

L'acquisition de type "Flash" est une nouvelle technique liée à la présence de deux tubes, combinant deux acquisitions hélicoïdales simultanées par chacun des deux tubes, autorisant ainsi une acquisition spiralée très rapide en un seul battement cardiaque. La société Toshiba propose, quant à elle, un très large détecteur de 16 cm qui lui permet d'acquérir aussi l'ensemble du cœur en 1 seul battement. Le choix haut de gamme de la société Philips propose une forme de compromis entre la taille du détecteur et la rapidité d'acquisition, avec un détecteur de 8 cm associé à une rotation rapide d'un tube permettant une résolution temporelle de 135 ms par image. Seule la société GE ne propose pas d'augmenter la taille du détecteur ou le nombre de tubes : GE est resté à l'heure actuelle sur un détecteur de 4 cm (c'est la largeur standard pour les scanners 64 coupes actuels), avec une amélioration de la qualité de ses détecteurs en 2011 sur la machine la plus puissante (HD Discovery).

En outre, Siemens et GE proposent une imagerie spectrale ou "double énergie", qui permet une analyse différentielle des tissus par 2 images simultanées réalisées à pics de kilovoltage différents. Siemens utilise un kilovoltage différent pour chacun des 2 tubes. Pour GE, la technique repose sur le "Fast kV switching", avec un changement de tension alternatif sur un seul tube. Cette imagerie spectrale pourrait apporter des informations qualitatives sur les tissus traversés par des rayons X d'énergie différente, et éventuellement apporter des informations sur la perfusion myocardique, mais ces applications restent en 2012 dans le domaine de la recherche en imagerie cardiaque.

Principe du scanner cardiaque

Le scanner cardiaque est un scanner synchronisé au rythme cardiaque grâce à un enregistrement du signal ECG lors de l'acquisition des images. L'acquisition peut

être spiralée (la table du scanner se déplaçant de façon continue lors de l'acquisition) ou au contraire séquentielle (l'acquisition se fait table immobile, puis la table se déplace d'un pas et s'arrête avant la nouvelle émission de rayons X, puis reprend son déplacement jusqu'à couvrir le volume d'exploration souhaité). La synchronisation peut être rétrospective (en cas de d'acquisition spiralée) ou prospective (en mode séquentiel).

Les rayons X traversent le thorax du patient puis sont recueillis sur des détecteurs. Le signal recueilli est alors transformé en signal numérique, ce sont les données brutes, permettant secondairement de reconstruire les images. En mode spiralé rétrospectif, il est possible de reconstruire les images à toutes les phases du cycle cardiaque, ce qui permet d'obtenir une imagerie dynamique (reconstructions 4D), ouvrant ainsi l'accès à l'évaluation de la fonction ventriculaire, droite ou gauche, et ce avec une excellente résolution spatiale (supérieure à celle de la scintigraphie et même de l'IRM cardiaque).

Notions techniques essentielles

>>> **La résolution temporelle :** c'est le temps minimum pour faire une image. Elle varie de 75 à 165 ms selon les machines. Elle dépend du nombre de tubes (1 ou 2) et de la vitesse de rotation du statif.

>>> **La résolution spatiale :** c'est la taille minimum du pixel : dans l'axe z, elle correspond à l'épaisseur de coupe qui varie de 0,5 à 0,8 mm actuellement.

>>> **Le CTDI (Computed Tomography Dose Index) :** c'est l'indicateur de dose délivrée sur une coupe donnée. Il s'exprime en milligrays (mGy).

>>> **Le PDL (produit dose longueur) :** il reflète la dose délivrée lors d'un scanner. C'est le produit du CTDI par la longueur d'exploration. Il s'exprime en mGy.cm.

>>> **La dose efficace :** exprimée en milli-Sieverts (mSv), elle se calcule à partir du PDL, en appliquant un coefficient différent entre l'homme et la femme, pour tenir compte des différences de radiosensibilité des organes (notamment les seins). Elle reflète un risque biologique global et permet de comparer l'irradiation entre différentes techniques.

Première génération : des doses conséquentes

La première génération de scanners multicoupes synchronisés à l'ECG utilise un mode de reconstruction rétrospectif. L'acquisition rétrospective consiste à délivrer des rayons X pendant tout le cycle cardiaque, mais à n'utiliser l'information obtenue que sur la phase pendant laquelle le cœur est immobile. Cette phase de reconstruction correspond donc à une exposition "utile" d'environ 20-25 % de la durée du cycle cardiaque. La dose habituelle de rayonnement avec une acquisition rétrospective sans système de réduction de dose est de 15-20 mSv.

On le voit, il existe un excès d'exposition aux rayons X par rapport à l'information utile a posteriori. Cependant, l'expérience montre que le cœur est le plus souvent immobile, si le rythme cardiaque est lent (moins de 65 battements par minute) et régulier, à 75 % de l'espace R-R, ce qui correspond à la mésodiastole. Les 2 autres phases d'immobilité potentielle du cœur sont la télédiastole (0 % du R-R) et la télésystole (40 % du R-R).

Dernière génération de scanners cardiaques : jusqu'à 80 % de réduction de dose délivrée au patient

L'irradiation en scanner cardiaque a beaucoup diminué sur les scanners les plus récents utilisant une méthode

LE DOSSIER

Scanner cardiaque

d'acquisition prospective, méthode qui réduit considérablement le temps d'exposition aux rayons X, donc la dose délivrée. Avec la nouvelle technique d'acquisition prospective, la phase diastolique (le plus souvent) est présélectionnée à l'avance pour déclencher l'émission des rayons X et tout le rayonnement émis sera ainsi utilisé pour la reconstruction de l'image lors de cette phase diastolique pendant laquelle le cœur ne bouge pas en principe. L'économie de dose peut donc atteindre 80 % par rapport au mode rétrospectif, sans perte de qualité d'image puisque l'intensité maximum d'émission de rayons X n'est pas réduite. En revanche, seule l'image en diastole peut être reconstruite et donc il n'est pas possible d'évaluer les autres phases, donc la fonction cardiaque.

En pratique, l'acquisition prospective est adaptée pour visualiser les coronaires de façon fiable. Le mode prospectif a été validé pour des rythmes cardiaques lents et réguliers (< 65 battements par minute). L'irradiation en scanner cardiaque en mode prospectif varie de 4 à 5 mSv selon les études, soit moins en moyenne que l'irradiation délivrée en coronarographie diagnostique (6 à 10 mSv) ou en scintigraphie au technétium (8 mSv) ou au thallium (30 mSv).

Parmi les méthodes prospectives peu irradiantes, il faut distinguer le mode Flash de Siemens, qui comporte une acquisition spiralee ultrarapide avec synchronisation prospective sur un seul battement cardiaque. Cette dernière méthode apparaît la moins irradiante avec une irradiation moyenne de 1 mSv seulement, mais elle nécessite un rythme cardiaque très lent pour avoir des images de bonne qualité (< 60 bpm).

Les reconstructions itératives

Les reconstructions itératives sont un nouveau mode de reconstruction d'image qui permet de réduire le bruit

de l'image (le bruit correspond au grain visible dans une image) avec une dose délivrée au patient équivalente. Ce nouveau type de reconstruction (qui est utilisé depuis longtemps en médecine nucléaire) est proposé à l'heure actuelle par les quatre constructeurs de scanner. Même si les reconstructions itératives ne réduisent pas par elles-mêmes la dose, la réduction du bruit de l'image facilite la démarche d'optimisation de dose en pratique quotidienne. Il est à noter cependant que les reconstructions itératives non pas été encore complètement validées en scanner cardiaque.

On le voit donc, l'évolution technique récente a permis en quelques années de réduire l'irradiation du scanner cardiaque de façon très importante, et ce pour la plupart des patients. Parmi les techniques d'exploration du cœur irradiantes, le scanner cardiaque est donc descendu du haut au bas de l'échelle d'irradiation. On peut retenir en pratique que sur un scanner récent, pour un patient au rythme cardiaque lent et régulier, l'irradiation est inférieure à celle délivrée par la coronarographie diagnostique, pour un acte très peu invasif.

Limites techniques du scanner

Si le scanner cardiaque est utilisable en pratique courante à partir des machines 64 coupes, certaines limites techniques persistent.

>>> **La résolution spatiale** reste nettement inférieure à la coronarographie. Les quantifications de sténose sont peu précises. Le scanner ne permet pas de visualiser tous les types ou tailles de stents. Le seuil de visibilité intrastent se situe souvent à 3 mm de diamètre, mais la visibilité dépend aussi du matériau composant le stent. Un matériau épais obscurcira la lumière intrastent par effet de volume partiel. On rencontre les mêmes difficultés en cas de grosses calcifications coronaires. Cependant,

lorsque l'acquisition est parfaite sur un scanner de dernière génération, il devient rare de ne pas pouvoir évaluer le réseau coronaire dans son ensemble. En pratique, le taux de visualisation des stents est supérieur à 80 % avec un scanner 64 coupes, tous stents confondus.

>>> **Les rythmes cardiaques élevés** s'accompagnent d'une réduction du temps d'immobilité du cœur pendant la diastole, et dégradent rapidement la qualité d'image, à l'exception des acquisitions à haute résolution temporelle (inférieures à 100 ms). Chez certains patients, on ne peut pas résoudre cette difficulté en réduisant la fréquence cardiaque, par exemple en cas de contre-indication aux bêtabloquants. Dans certains cas, il peut être préférable de reconstruire les images en fin de systole, ce qui permet parfois une imagerie coronaire de qualité.

>>> **L'arythmie cardiaque** reste une difficulté importante : si l'arythmie est lente, il est toutefois possible d'obtenir les reconstructions sans artefacts de mouvement, à partir de reconstructions définies en valeur absolue par rapport au pic QRS de l'ECG.

>>> Le scanner cardiaque des **patients très obèses** (> 120 kg) s'accompagne également souvent d'une perte de qualité d'image par diminution de signal recueilli au niveau du détecteur.

Les nouveautés du RSNA 2011

Lors du dernier congrès de Radiologie de Chicago fin novembre 2011, quelques nouveautés ont été annoncées en scanner cardiaque. La société General Electric propose ainsi de réaliser des images séparées de chaque coronaire pendant les fractions du cycle cardiaque où elles sont immobiles et reconstruit ensuite l'image. Ce nouveau logiciel devrait ainsi permettre d'optimiser l'imagerie des coronaires en diminuant les risques d'erreurs d'interprétation liées au flou

