

III

Imagerie
dans les pathologies
cardiaques

Experts

- E. MOUSSEAUX, Radiologue, Hôpital Broussais – Paris – Président
- A. AZANCOT-BENISTY, Cardiologie infantile, Hôpital Robert-Debré – Paris
- F BRUNOTTE, Biophysicien, Centre Georges-François-Leclerc – Dijon
- M. CROCHET, Radiologue, Hôpital G et R Laënnec – Nantes
- B. DIEBOLD, Cardiologue, Hôpital Broussais – Paris
- D. FAGRET, Radiologue, Centre hospitalo-universitaire de Grenoble
- O. JEGADEN, Chirurgien cardiovasculaire, Hôpital cardiologique Louis-Pradel – Lyon
- P. MERLET, Biophysicien, Service hospitalier Frédéric-Joliot – Orsay
- D. REVEL, Radiologue, Hôpital cardiologique Louis-Pradel – Lyon
- J. WOLF, Cardiologue, Hôpital du Bocage - Dijon

III

Imagerie dans les pathologies cardiaques

Sommaire

Synthèse	195
Analyse	205
1. Place potentielle de la tomodensitométrie dans l'imagerie cardiaque	205
2. Toxicité cardiaque chronique des anthracyclines	207
3. Etude de la perfusion myocardique par SPECT pour le diagnostic et l'évaluation de la maladie coronarienne	212
4. IRM du myocarde et maladie coronarienne	222
5. Améliorations techniques actuellement développées en SPECT	232
6. IRM des valvulopathies	236
7. Explorations des cardiopathies congénitales anté-natales	241
8. Cardiopathies congénitales	247
9. Etude du péricarde	252
10. Masses cardiaques (tumeurs et thrombus)	254
11. Apport des méthodes isotopiques pour l'évaluation de la viabilité myocardique	256
12. Imagerie des artères coronaires	271
13. Apport de l'échocardiographie à la détection de la maladie coronarienne	276
14. Apport de l'échocardiographie à l'analyse des valvulopathies.	278
Annexe: Stratégie documentaire	280

Synthèse

Méthodologie de l'expertise collective

Etant donné la grande diversité des méthodes d'imagerie cardiaque, un groupe d'experts multidisciplinaires a été constitué. En effet des cardiologues cliniciens impliqués dans l'imagerie cardiaque ont été associés à des biophysiciens experts dans la médecine nucléaire cardiologique et à des radiologues impliqués dans différentes modalités d'imagerie cardiaque.

MÉTHODOLOGIE

Le groupe a travaillé lors de trois réunions sur le modèle d'expertise collective au mois de juin et au mois de septembre 1995. Le rôle du groupe a consisté à analyser les indications actuelles et les perspectives des différentes modalités d'imagerie cardiaque. Cette analyse a reposé sur l'expérience des experts qui pratiquent dans leur activité clinique et de recherche ces différentes modalités. Cette analyse a bien entendu été aussi fondée sur une bibliographie extensive et sur l'analyse de la littérature dans chacun des thèmes proposés.

THÈMES ENVISAGÉS

Les différents thèmes exposés ci-dessous ont été choisis car ils sont à l'origine de très nombreux examens pour les différentes méthodes d'imagerie cardiaque utilisées aujourd'hui. D'autres thèmes sont une mise au point sur une méthode particulière d'imagerie cardiaque. Chacun de ces thèmes faisant l'objet d'un rapport rédigé par un ou plusieurs experts et discuté dans le groupe de travail figure en annexe selon la liste ci-dessous

- Diagnostic et évaluation de la maladie coronarienne: étude de la perfusion myocardique par la SPECT (Tomographie par émission simple photon).
- Etude de la viabilité myocardique: apport des méthodes isotopiques (SPECT et PET) (Tomographie par émission de positons).
- Apport de l'échocardiographie dans la détection de la maladie coronarienne et dans l'évaluation de la viabilité myocardique.
- Intérêt de l'IRM dans la détection de la maladie coronarienne et dans l'appréciation de la viabilité myocardique.
- Amélioration technique actuellement développée en SPECT.
- Toxicité cardiaque chronique des anthracyclines.
- Imagerie des artères coronaires.

- Etude des valvulopathies:
 - Place de l'échocardiographie.
 - Intérêt potentiel de l'IRM dans les pathologies valvulaires.
- Exploration anténatale des cardiopathies congénitales.
- L'imagerie cardiaque dans les cardiopathies congénitales.
- Etude du péricarde en imagerie.
- Etude des masses cardiaques en imagerie.
- Place potentielle de la tomодensitométrie dans l'imagerie cardiaque.

Synthèse des rapports d'expertise validés par le groupe

DIAGNOSTIC DE LA MALADIE CORONARIENNE

L'excellente performance de la SPECT myocardique de perfusion dans la détection de l'ischémie doit être soulignée. En effet, à partir d'études cliniques des dix dernières années réalisées sur de très importantes cohortes de patients, la sensibilité de la SPECT varie entre 84 et 98 %. La spécificité varie de 70 à 90 %. Les mauvais résultats de spécificité rapportés par certaines études peuvent être expliqués par des biais de recrutement. Les performances diagnostiques de la scintigraphie myocardique sont grandement influencées par le contexte clinique ce qui souligne la valeur de l'interrogatoire de l'examen clinique et de l'épreuve d'ECG (électrocardiogramme) d'effort préalables. La scintigraphie myocardique est donc la méthode actuelle non invasive de référence à laquelle les autres méthodes d'étude de l'ischémie myocardique devront se comparer obligatoirement et favorablement avant d'envisager une substitution. L'épreuve d'effort dans ces études de perfusion peut être substituée par l'usage du dipyridamole ou de l'adénosine. Enfin, des nouveaux traceurs technétiés apportent des résultats voisins de ceux obtenus classiquement par le thallium

L'échocardiographie de stress est une alternative à la médecine nucléaire pour le diagnostic de l'ischémie myocardique et la recherche de viabilité. Pour la recherche de l'ischémie, elle s'appuie sur la mise en évidence d'une anomalie de la contraction au cours du stress. A ce titre, elle se situe, dans la cascade de l'ischémie, en aval des traceurs radioactifs myocardiques et à un niveau comparable à l'angioscintigraphie cavitaire. Le stress idéal en termes de travail myocardique est l'effort en position assise ou debout. Il ne permet que des analyses au décours immédiat de l'effort. De nouvelles tables spéciales semblent susceptibles d'améliorer la situation. Plusieurs stress pharmacologiques ont été validés, le plus utilisé est la perfusion de dobutamine. A basse dose, il permet de détecter une viabilité en améliorant la contractilité segmentaire; à haute dose, il permet de détecter l'ischémie avec une sensibilité proche de celle de l'effort mais dans des conditions techniques beaucoup plus favorables ce test tend donc à se développer, malgré un risque de survenue d'un trouble du rythme plus élevé que celui provoqué par un test d'effort.

Toutes les méthodes d'échographie de stress ont en commun des limites liées à l'échogénicité des patients et des qualités liées à l'absence de faux positifs chez les patients avec hypertrophie ventriculaire gauche, bloc de branche gauche ou prolapsus valvulaire mitral. Des équipes expérimentées obtiennent des résultats satisfaisants avec des sensibilités et des spécificités entre 80 et 95 % dans le diagnostic de la maladie coronaire. Les protocoles d'examens sont maintenant standardisés avec des injections progressives de dobutamine. Des expériences plus nombreuses sur des sites cliniques sont toutefois nécessaires afin de mieux juger les résultats initiaux de cette technique. En effet, par rapport aux études de perfusion en SPECT, le nombre de patients inclus et le nombre d'études évaluant l'échographie de stress sont très limités

La place de l'IRM dans l'évaluation de la détection de la maladie coronarienne est pour le moment nulle en pratique clinique. Cependant, les énormes potentialités de cette méthode dans l'étude du myocarde font que de très nombreuses évaluations sont en cours dans des centres de recherche. La détection de l'ischémie myocardique est possible en IRM par des études de perfusion sans ou avec stress pharmacologique. Des études expérimentales, ou des petites séries de patients, ont montré la faisabilité d'une approche de perfusion myocardique par l'étude d'une modification de l'intensité du signal myocardique suite à l'injection de gadolinium. Les résultats seront rapidement plus convaincants quand des analyses multi-coupes seront faisables sur les systèmes de dernières générations possédant des gradients de champ magnétique plus performants. Les stress pharmacologiques sont possibles afin de rendre beaucoup plus pertinents les résultats de ces études de perfusion. Une autre approche IRM consiste en l'évaluation de troubles de la contractilité sous stress pharmacologique. Là encore des études expérimentales ou concernant des faibles cohortes de patients ont démontré la faisabilité de la méthode, avec des sensibilités ou des spécificités proches de résultats obtenus par l'échocardiographie de stress.

L'angiographie coronaire par rayons X est toujours considérée comme la technique de référence dans le diagnostic de la maladie coronarienne. Il est nécessaire de souligner, que 10 à 20 % de ces coronarographies sont considérées comme normales, et que 70 % d'examens à visée diagnostique sont encore réalisés. Parmi les méthodes alternatives actuelles capables de donner des images satisfaisantes des artères coronaires, seuls l'IRM et le scanner rapide obtiennent des résultats intéressants. La marge de progression de l'IRM rend cette méthode attractive. Cependant les résultats actuels, obtenus au cours des études préliminaires en centres de recherche spécialisés, sont limités

ÉVALUATION DE LA VIABILITE MYOCARDIQUE

Pour l'évaluation de la viabilité myocardique, les méthodes d'imagerie sont importantes pour apprécier les segments myocardiques ventriculaires gauches qui, bien que possédant des anomalies de la contractilité, peuvent récupérer après un geste de revascularisation chirurgicale ou percutanée.

Une aide à l'appréciation d'un bénéfice obtenu par un geste de revascularisation paraît indispensable aujourd'hui car le coût des interventions est bien trop important pour que l'on puisse les réaliser inutilement. Les méthodes de scintigraphie sont actuellement les méthodes de référence dans la détermination de la viabilité myocardique: imagerie monophotonique (SPECT) ou imagerie biphotonique (TEP).

La SPECT est la seule méthode disponible en pratique clinique Elle est largement utilisée dans cette indication (mais aussi probablement sous-employée) avec des études fondées sur la détection d'une ischémie résiduelle à l'effort qui se corrige sur des images obtenues au repos 3 à 4 heures plus tard. Ce test est très spécifique mais manque de sensibilité. Des réinjections tardives sont donc proposées. De nouveaux marqueurs technétiés et d'autres sont en cours d'évaluation.

La tomographie par émission de positons (TEP) est actuellement la méthode de référence dans ces évaluations de la viabilité. Cette méthode est actuellement uniquement utilisée en recherche en France. Le coût semble être une limite importante dans sa généralisation en pratique clinique.

Une alternative potentielle aux méthodes isotopiques pour la détermination de la viabilité myocardique est l'échocardiographie réalisée sous perfusion de faible dose de dobutamine. Les résultats initiaux de cette dernière méthode, qui ont le plus souvent éliminés les patients peu échogènes, sont intéressants. D'autres expériences cliniques sont là encore nécessaires pour réellement entrevoir une substitution potentielle de la médecine nucléaire ou une complémentarité entre la SPECT et l'échocardiographie

L'IRM montre des résultats expérimentaux encourageants dans l'évaluation de la viabilité myocardique soit par des études fonctionnelles sous faibles doses de dobutamine (analogie avec les résultats de l'échocardiographie sous dobutamine), soit par des études de perfusion sous stress pharmacologique. Dans ces études sur la viabilité myocardique, l'IRM a pour avantage de coupler des études précises de la fonction segmentaire (éventuellement transmurale par la méthode du tagging) et des études de perfusion locorégionale.

IMAGERIE ET ÉVALUATION DE LA PATHOLOGIE VALVULAIRE

Dans l'évaluation de la pathologie valvulaire, l'échocardiographie couplée au Doppler est la méthode indispensable dans l'évaluation du diagnostic et du retentissement de ces maladies. Les indications de cathétérisme cardiaque ont été considérablement diminuées voire supprimées. La place potentielle de l'IRM dans cette indication apparaît minime. Cette méthode apporte des informations intéressantes pour l'évaluation du retentissement fonctionnel sur les ventricules de ces malades ou pour l'étude d'abcès paravalvulaires. Malgré les développements futurs de l'IRM, notamment des méthodes de vélocimétrie, il serait étonnant que cette méthode remplace les investigations ultrasonores dans cette indication.

ÉVALUATION DES CARDIOPATHIES CONGÉNITALES

Dans l'évaluation des cardiopathies congénitales, nous avons distingué les explorations anténatales des explorations post-natales.

- Dans le diagnostic anténatal des cardiopathies congénitales, il apparaît qu'étant donné la forte incidence de survenue de ces anomalies et les coûts importants des prises en charge postnatales, il était important de développer des méthodes de dépistage échographique. La sensibilisation et la formation des échographistes surveillant les femmes enceintes sont indispensables afin de détecter des anomalies devant être ultérieurement évaluées en centre spécialisé. L'intérêt de cette technique de dépistage est: - d'éliminer une cardiopathie complexe en cas d'antécédent familial, - de prendre en charge en post-natal immédiat une cardiopathie curable, - de proposer une interruption volontaire de grossesse s'il n'existe pas de recours thérapeutique. Enfin ce test de dépistage contribue au pronostic d'un syndrome polymalformatif. Ce diagnostic anténatal des cardiopathies ne peut être réalisé que dans le cadre d'un département de périnatalogie comportant la collaboration du département obstétrical, de cardiologie prénatale et post-natale, de fœtopathologie, de génétique et de biologie moléculaire. Toutefois le nombre de centres spécialisés dans ces diagnostics anténataux semble suffisant.

- Dans le postnatal, le diagnostic et l'appréciation du retentissement des cardiopathies congénitales, l'échocardiographie est devenue la méthode de référence indispensable. Ces évaluations ont toutefois lieu dans des centres spécialisés La place du cathétérisme va devenir de plus en plus limitée compte tenu de l'amélioration de la qualité de l'échographie et de l'implication progressive de l'IRM. Les principaux avantages de l'IRM sont de donner des études morphologiques très satisfaisantes en multiplans, d'évaluer la fonction ventriculaire des ventricules systémiques et pulmonaires, d'évaluer les atteintes valvulaires. La limite de l'IRM dans cette indication est essentiellement le temps d'acquisition des images souvent élevé, imposant une prémédication des enfants. De plus la faisabilité en pratique clinique de l'IRM dans l'évaluation des cardiopathies congénitales n'a pour le moment pas été très bien évaluée.

IMAGERIE DU PÉRICARDE ET DES MASSES CARDIAQUES

Dans l'évaluation du péricarde, l'IRM peut être envisagée dans la recherche d'une tumeur après une échographie ou un scanner conventionnel suspect. L'évaluation de l'épaisseur du péricarde par ces méthodes peut être une aide au diagnostic différentiel entre restriction myocardique et constriction péricardique. Toutefois, il n'existe pas dans la littérature d'étude satisfaisante ayant évalué l'IRM dans cette indication. Dans l'évaluation des masses cardiaques, plusieurs méthodes apparaissent performantes Dans la recherche de thrombus, c'est essentiellement l'échographie qui sera réalisée en première intention, du fait des bonnes performances de l'échographie transthoracique mais surtout transœsophagienne. L'IRM peut être une aide dans les localisations intra-ventriculaires de ces thrombus. Par contre, dans la pathologie tumorale, le scanner spirale et/ou l'IRM seront plus souvent utilisés que l'échocardiographie compte tenu de la fréquence nettement plus élevée des tumeurs secondaires par rapport aux tumeurs primitives. De plus, ces méthodes sont plus performantes que l'échocardiographie dans l'évaluation de l'extension cardiaque et surtout extracardiaque de ces lésions Dans ce bilan d'extension, en dehors des myxomes de l'oreillette gauche, l'IRM s'impose après une tumeur détectée par l'échocardiographie.

EVOLUTION TECHNOLOGIQUE DE LA SPECT

Des améliorations techniques sont actuellement développées en SPECT aussi bien sur le plan de la technologie que sur le domaine des traceurs. Des acquisitions tomographiques synchronisées sur l'ECG et l'utilisation conjointe de plusieurs traceurs d'énergie différente devraient permettre une plus grande efficacité de la SPECT par des études simultanées de la contractilité et de la perfusion segmentaire myocardique au repos ou sous stress. Il semble important de mentionner aussi le développement de la TEP clinique à l'aide de gamma-caméras double tête SPECT modifiées. Ces caméras en cours de développement sont basées sur le principe de la détection de coïncidences et permettrait la tomographie sans collimateur en solutionnant les problèmes de la correction d'absorption. Les surcoûts de ces caméras et la disponibilité des traceurs à partir de production de cyclotron ou de générateur de traceur seront les facteurs limitants de ces nouvelles méthodes. Mais ce principe existe et mérite d'être souligné. Enfin, l'apparition de nouveaux traceurs de la perfusion myocardique et de la viabilité sont susceptibles d'améliorer les résultats obtenus à partir de la SPECT.

Place actuelle et évolution potentielle de chacune des méthodes d'imagerie cardiaque

DONNÉES ÉPIDÉMIOLOGIQUES SUR LES MALADIES CARDIOVASCULAIRES ET L'IMAGERIE

D'après le rapport du Haut Comité de la santé publique, publié en 1994, les maladies cardiovasculaires sont responsables d'un tiers de la mortalité globale, soit au deuxième rang derrière la mortalité par cancer. C'est la principale cause de mortalité entre 45 et 55 ans. En termes d'évolution, on assiste actuellement à une baisse de la mortalité cardiovasculaire dans la plupart des pays industrialisés, alors que la prévalence reste constante ou augmente modérément. Ces chiffres signifient que la prise en charge de ces maladies et/ou les soins ont été efficaces pour ce type de pathologie.

La place de l'imagerie dans la prise en charge des patients, dans les soins, voire dans la thérapeutique est de plus en plus importante. L'arsenal des méthodes d'imagerie cardiaque est très important. Ces principales méthodes sont l'échocardiographie-Doppler, la scintigraphie isotopique, l'angiographie conventionnelle aux rayons X (angiocardigraphie, coronarographie) et enfin l'imagerie par résonance magnétique. La tomodensitométrie spiralée ou par faisceau d'électrons sont des méthodes un peu plus accessoires pour étudier le cœur.

L'implication de ces méthodes d'imagerie cardiaque dans les soins et la prise en charge des patients est majeure car le diagnostic des maladies cardiovasculaires repose très souvent sur ces méthodes. De plus les bilans morphologiques et fonctionnels sont quasiment toujours réalisés avec ces méthodes d'imagerie. Enfin, le choix thérapeutique, voire la thérapeutique elle-même, ne peut avoir lieu que grâce à ces méthodes (technique endovasculaire sous coronarographie).

Tous les experts ont vivement regretté l'absence de données concernant l'imagerie cardiaque. En effet, la part des examens d'échocardiographie ou de coronarographie réalisés par les services de cardiologie n'apparaissent pas dans l'enquête générale. L'évaluation du parc des différentes méthodes d'imagerie cardiaque et de leurs activités nous paraît indispensable pour la réalisation d'un observatoire de l'imagerie en France et dans l'évaluation des transformations à venir sur les plateaux d'imagerie cardiaque.

Concernant les données de l'enquête estimées dans les services de radiologie sur l'activité du cathétérisme et de l'angiographie par rayons X, il est surprenant de constater que, sans l'activité cardiologique, le nombre d'examens réalisé en moyenne dans les salles d'angiographie serait de deux patients par jour au lieu de trois, soit un chiffre largement inférieur au seuil de rentabilité de ces systèmes (estimé entre 4 et 5 par jour). Toutefois, des données complémentaires à partir des services de cardiologie sont indispensables avant d'envisager de meilleures stratégies de fonctionnement pour assurer une meilleure rentabilité des systèmes dans les centres d'imagerie.

PLACE ET ÉVOLUTION POTENTIELLE DES MÉTHODES D'IMAGERIE CARDIAQUE

Échocardiographie

L'échocardiographie est devenue la méthode d'imagerie la plus communément employée en cardiologie. Ses performances, son accessibilité et sa faisabilité au sein même des services de cardiologie l'ont mise au premier rang des examens à réaliser en première intention, si cela est nécessaire. L'adaptation quantitative du parc à ces besoins cliniques importants est déjà largement engagée. Le nombre d'examens d'échographie réalisés en pratique clinique est probablement adapté à la demande si l'on exclut le diagnostic de l'ischémie. Les quelques pathologies probablement examinées par excès viennent compenser des pathologies sous-examinées.

En termes de nombre d'examens, ce sont dans les tests à l'effort ou pharmacologiques que l'échocardiographie pourra progresser. Ces examens intéressants dans la détection de la maladie coronarienne ou dans l'appréciation de la viabilité myocardique vont progresser essentiellement dans les centres où la médecine nucléaire est en retrait.

Aucune donnée n'existe sur l'ancienneté du parc d'échocardiographie. Il est fort probable que le renouvellement des appareils sera rendu nécessaire par la franche amélioration des derniers systèmes commercialisés. L'évolution technologique de la méthode passe par l'amélioration des capteurs, par l'apparition de nouvelles méthodes de quantification (vélocimétrie myocardique, détection automatique de bords...) et par les améliorations du traitement des images (numérisation, imagerie 3D).

201

Scintigraphie

Nous avons vu que cette méthode est très impliquée dans l'imagerie cardiaque. Une augmentation de l'activité cardiologique est prévisible. Le fait que tous les centres

d'imagerie hospitaliers ne sont pas équipés pour la cardiologie nucléaire et manquent de personnel qualifié implique la nécessité de développer cette discipline en France. Cette méthode est loin d'être parvenue à maturité et de nombreuses évolutions technologiques, ou des nouveaux traceurs sont envisageables dans un futur proche. Une attention particulière sera portée sur des éventuelles transformations des caméras conventionnelles en caméras à double tête adaptées aux photons de haute énergie.

Cathétérisme cardiaque coronarographie

Le nombre d'examens à visée diagnostique devrait diminuer au profit d'une accentuation du nombre d'examens à visée thérapeutique. Seulement 20 à 30 % des examens sont actuellement réalisés avec un geste interventionnel associé. Beaucoup de patients bénéficiant d'une angioplastie ont eu préalablement une coronarographie diagnostique. Il est probable que l'on constate chez des patients mieux explorés de façon non invasive ou évalués dans des centres interventionnels un plus grand nombre de traitements réalisés dans le même temps que le geste diagnostique. Cette attitude qui apporte un bénéfice pour le patient et réduit les coûts des procédures impose une plus grande formation des coronarographistes travaillant sur les sites d'évaluation. Ces modifications de l'activité devraient imposer l'organisation de centres lourds interventionnels en tenant compte de la répartition géographique de ces centres. La transmission d'images sur des réseaux entre différentes équipes déjà existantes devrait faciliter l'organisation de telles structures de soins.

Ces évolutions potentielles du cathétérisme cardiaque et de la coronarographie devraient faire l'objet d'une enquête spécifique dans l'ensemble des services réalisant ces examens.

IRM et la tomodensitométrie cardiaque

Les indications cardiaques de l'IRM n'apparaissent actuellement pas dans l'enquête qui a été réalisée. En effet, seulement 1 % des examens concernent le thorax. Il est à signaler que, de toute façon, les systèmes en place dans le parc en France ne peuvent pas réaliser des images cardiaques satisfaisantes. Seulement 20 % des systèmes peuvent synchroniser les images sur l'électrocardiogramme.

Pour l'ensemble des experts, il apparaît qu'une projection sur la place qu'occupera l'IRM dans l'imagerie cardiaque est d'évaluation difficile et prématurée. En effet, en raison du caractère souvent expérimental dans le domaine cardiologique, le peu d'études comparatives réalisées dans les centres de recherche sont d'extrapolation difficile vers les centres cliniques. Les indications cliniques de l'IRM sont aujourd'hui limitées à des examens morphologiques utiles dans des pathologies relativement peu fréquentes (bilan de tumeur cardiaque, atteinte péricardique, cardiopathie congénitale).

202

Il est donc trop tôt pour évaluer l'impact de cette méthode en termes de substitution, même si tout le monde est convaincu que le nombre d'examens cardiaques réalisés en IRM sera largement augmenté dans les prochaines années. Peu d'études cliniques concernent l'acceptabilité ou la simple faisabilité de l'IRM

dans une pratique de routine clinique. Un autre point qui limitait l'utilisation de l'IRM dans l'imagerie cardiaque était le désintérêt industriel des différents constructeurs. Cette attitude semble changer aujourd'hui avec l'amélioration et le développement récent des séquences adaptées à l'étude fonctionnelle cardiaque.

Les indications cardiologiques de la tomodensitométrie par faisceau d'électrons sont actuellement les mêmes que celle de l'IRM.

Des coûts plus faibles de production des systèmes à faisceau d'électrons pourront, peut-être, entraîner la tomodensitométrie vers de nouvelles applications cardiaques. Cependant l'IRM qui, dans ses indications actuelles obtient des résultats possiblement inférieurs à ceux de la tomodensitométrie à faisceau d'électrons possède une marge de progression certainement très supérieure à cette méthode. De plus, le caractère non ionisant de l'IRM rend cette méthode beaucoup plus attractive pour les futures évaluations cardiaques.

Organisation des plateaux d'imagerie cardiaque

Etant donné la grande diversité de ces modalités d'imagerie, il semble important de l'avis des experts, de regrouper les méthodes les plus efficaces (échocardiographie, cathétérisme-angiographie et médecine nucléaire) au sein d'une même structure organisée (quand cela est techniquement possible dans les gros centres hospitaliers). Les experts soulignent aussi l'intérêt de réunir les médecins compétents dans les différentes modalités d'imagerie cardiaque sur des plateaux techniques communs ou reliés par réseau informatique. A titre d'exemple, il est tout à fait concevable dès aujourd'hui de réaliser un test pharmacologique avec une étude fonctionnelle échocardiographique complétée d'une étude de perfusion myocardique après l'injection d'un traceur de médecine nucléaire. Si l'unité de lieu est respectée, un seul déplacement du patient est nécessaire, et un risque plus faible est pris lors du stress pharmacologique. Ainsi, l'optimisation d'un plateau d'imagerie cardiaque permet d'éviter des doublons d'examens ou de tests et permet de choisir la modalité la plus adaptée au diagnostic de la maladie du patient au sein de la structure, sans concurrence entre médecins ou entre méthodes.

Un bénéfice en termes de coût est alors attendu. De plus les performances cumulées des examens successifs deviennent beaucoup plus importantes.

Il serait recommandé:

- D'essayer d'observer une unité de lieu entre différentes modalités d'imagerie cardiaque échocardiographie, scintigraphie, angiocardio-graphie.
- De mettre en place des réseaux permettant l'interrogation « en ligne » par les utilisateurs. Il existe toutefois des contraintes technologiques étant donné l'importante quantité de mémoire de masse nécessaire aux séries temporelles et spatiales des imageries cardiaques tomographiques.

203

- De disposer d'un poste de traitement multimodalité dédié à la visualisation et au traitement d'images cardiaques.
- Un rapprochement entre les différents opérateurs; par exemple il est intéressant de noter que la culture nécessaire à la lecture des images est assez proche en scanner en échocardiographie ou en IRM.

Pour terminer, il nous semble donc très important de concevoir dès aujourd'hui et de réaliser dans un futur proche de telles structures au sein des centres lourds cardio-vasculaires déjà existants.

Conclusion

Les experts soulignent les insuffisances de l'enquête préliminaire qui a exclu de son champ l'imagerie cardiaque réalisée dans les services de cardiologie A partir d'une enquête spécifique, des compléments d'information permettraient d'évaluer le parc de matériel déjà existant en angiocardioraphie et en échocardiographie. Un observatoire pourrait alors se mettre en place afin de mieux juger des évolutions possibles de l'ensemble du matériel des différentes méthodes d'imagerie cardiaque et des stratégies d'organisation des services d'imagerie.

Le cathétérisme reste l'examen de référence pour l'exploration directe des artères coronaires et les gestes interventionnels. Dans les autres indications, l'imagerie cardiaque est dominée par deux techniques non invasives de référence: l'échocardiographie et la médecine nucléaire. Ces techniques n'ont pas atteint leur complet développement et nécessitent, concernant la cardiologie nucléaire, une augmentation des possibilités d'explorations cardiaques dans les centres de médecine nucléaire français. En ce qui concerne l'échocardiographie, l'intégration des progrès technologiques dans le parc installé devrait permettre un accroissement notable des performances diagnostiques. Concernant l'IRM et la tomodensitométrie cardiaque, ces techniques nécessitent des phases complémentaires de développement et de validation avant qu'elles puissent être recommandées comme alternatives satisfaisantes aux autres techniques en particulier dans le domaine de la pathologie coronarienne. Aucune substitution significative de ces techniques à l'échocardiographie et à la cardiologie nucléaire n'est à prévoir dans les cinq ans à venir. Les experts recommandent que des travaux de recherche sur l'IRM soient soutenus de manière active dans les CHU et les autres structures de recherche qui sont impliqués dans ce domaine de l'imagerie cardiaque. La cardiologie hospitalière étant dévolue aux soins de patients fréquemment en état critique, il est souhaitable que les trois techniques fondamentales d'imagerie en cardiologie (coronarographie, échocardiographie et médecine nucléaire) soient les plus proches possible des patients et, au mieux, regroupées.

1

Place potentielle de la tomodesitométrie dans l'imagerie cardiaque

La plus grande rapidité de l'acquisition des images de tomodesitométrie permet à cette technique de faire partie des méthodes d'imagerie cardiaque. La tomodesitométrie spiralée est communément répandue en France car elle occupe 40 % du parc actuel des appareils de tomodesitométrie. L'implication de cette technique est de plus en plus importante dans l'évaluation aortique et vasculaire. Cependant, pour les études cardiaques les temps d'acquisition ne sont encore que de 1000 ms voire de 700 ms au mieux sur les nouveaux systèmes. Ce temps d'acquisition ne permet donc pas d'obtenir des images intéressantes des structures myocardiques en perpétuel mouvement. Seuls des résultats intéressants ont été obtenus avec cette méthode dans la recherche d'atteintes du péricarde, dans le bilan de tumeur secondaire cardiaque ou péricardique et dans l'évaluation de pontage aortocoronaire.

Par contre la tomodesitométrie par faisceau d'électrons est une méthode originale permettant la suppression de toutes les contraintes mécaniques de la rotation des systèmes conventionnels. Les temps d'acquisition des images sont de 100 ms voire de 50 ms et une synchronisation des images sur l'électrocardiogramme est possible. De plus, une mobilité de la table et du patient est faisable dans l'arceau, ce qui autorise la réalisation de série d'images « petit-axe » ou « grand-axe » du ventricule gauche. Les indications cardiologiques de cette méthode sont actuellement les mêmes que celles de l'IRM cardiopathie congénitale, étude du péricarde, bilan des tumeurs cardiaques, pathologie de l'aorte thoracique, évaluation de la fonction ventriculaire droite ou gauche. Ces analyses morphologiques et fonctionnelles ont fait l'objet de validations minutieuses bien que peu de systèmes existent dans le monde (un seul existe en France à l'hôpital Broussais de Paris). En termes de perspective, cette méthode actuellement coûteuse (le prix d'un appareil est voisin de celui d'un système d'IRM à 1 tesla) pourrait bénéficier d'une plus grande diffusion si l'engouement pour les systèmes spirales persiste.

En effet, les bénéfices des acquisitions rapides semblent actuellement reconnus et ont transformé les indications de la tomodensitométrie (toute la pathologie de l'enfant, des patients après intervention chirurgicale, la pathologie vasculaire..) Des coûts plus faibles de production des systèmes à faisceau d'électrons pourront peut-être entraîner la tomodensitométrie vers de nouvelles applications cardiaques.

Cependant l'IRM qui, dans ses indications actuelles obtient des résultats sûrement inférieurs à ceux de la tomodensitométrie à faisceau d'électrons, possède une marge de progression certainement très supérieure à cette méthode. De plus, le caractère non ionisant de l'IRM rend cette méthode beaucoup plus attractive dans les futures évaluations cardiaques.

2

Toxicité cardiaque chronique des anthracyclines

Introduction

Le but du traitement par anthracyclines est la guérison de certains cancers. L'utilisation de fortes doses cumulées d'anthracyclines provoque des taux de guérison importants.

Malheureusement, ces drogues ont un effet délétère sur la fonction cardiaque. Les anomalies cardiaques induites sont précoces et transitoires ou tardives et chroniques. Nous ne nous intéresserons qu'à ces anomalies chroniques bien documentées par de nombreux travaux sur la fonction diastolique et la fonction systolique.

La toxicité des anthracyclines est marquée par l'extrême variabilité individuelle qui peut varier d'un facteur 4. Un des avantages de la surveillance individuelle de la fonction cardiaque au cours du traitement est de permettre l'arrêt précoce en cas de toxicité et de poursuivre le traitement au-delà des doses habituelles en cas de bonne tolérance cardiaque.

Pour la surveillance des patients, l'électrocardiogramme est une méthode insuffisamment précise; la pratique systématique de biopsies est quant à elle difficilement défendable en termes de lourdeur de l'examen, d'acceptabilité par les patients, de risques et de coût. Pour ces raisons les méthodes retenues sont l'échocardiographie et la scintigraphie des cavités cardiaques à l'équilibre.

Paramètres cardiaques reliés à la toxicité cardiaque des anthracyclines

La mesure des paramètres systoliques de repos et d'effort a démontré son intérêt pour le suivi des cardiopathies et comme index de cardiotoxicité pour l'étude des différentes anthracyclines et des cardioprotecteurs. Le suivi de la diastole a été suggéré en particulier à partir du *peak filling rate*, à partir de trois observations recueillies par Ganz et l'étude de 12 patients par Lee.

Des travaux fondés sur un plus grand nombre de patients [6] ou sur des suivis longs [14] n'ont pas retrouvé d'atteinte diastolique aussi claire. Il semble donc actuellement que le suivi de la diastole n'ait pas d'intérêt prouvé. Les approches fondées sur les anticorps monoclonaux antimyosine ne sont pas encore assez développées pour servir de base au suivi de la cardiotoxicité des anthracyclines mais pourraient offrir un moyen de détection des patients à risque au moment où les doses cumulatives restent modérées de l'ordre de 240-300 mg/m² [4-5]. L'angioscintigraphie à l'effort a été proposée [19] pour le suivi de la cardiotoxicité des anthracyclines mais ce test n'a pas connu une importante diffusion peut-être en raison de sa lourdeur.

Surveillance de la cardiotoxicité des anthracyclines au cours des traitements par anthracycline: les faits solidement établis

La fréquence des problèmes cardiaques est de 1 à 3 % pour une dose cumulée d'environ 500 mg/m² de doxorubicine et les signes cliniques de cardiotoxicité n'apparaissent qu'à une dose cumulée de 350 mg/m².

Des programmes visant à adapter la posologie des anthracyclines à partir d'un suivi étroit de la fonction ventriculaire gauche ont été mis en œuvre et des recommandations ont été publiées à partir du suivi multicentrique de 1 487 patients adultes par angioscintigraphie de repos dans l'étude de Schwartz [21] et d'une revue de la littérature, dans l'étude de Steinherz [24] concernant l'enfant

Ces études regroupant de grands nombres de patients ont prouvé que la surveillance de la cardiotoxicité permettait de réduire l'incidence de la dégradation ventriculaire gauche post-thérapeutique (de 20,8 % à 2,9 % dans l'étude de Schwartz). Dans ces conditions, il est incontestable que les stratégies de surveillance et de réduction éventuelle de dose mises en place permettent de réduire la fréquence de survenue de l'insuffisance cardiaque.

Chez l'adulte, une fraction d'éjection ventriculaire gauche inférieure à 30 % semble une contre-indication à la mise en route ou à la poursuite d'une chimiothérapie. Certaines variables cliniques incitent à une surveillance plus attentive âge supérieur à 70 ans ou inférieur à 4 ans, radiothérapie médiastinale, associations chimiothérapiques (en particulier cyclophosphamide), hypertrophie ventriculaire gauche.

Plusieurs travaux insistent sur la valeur prédictive, par rapport à la survenue de l'insuffisance cardiaque, de la chute de la fonction cardiaque systolique lors des premières cures, que la mesure soit réalisée par angioscintigraphie [21, 22] ou par échocardiographie [20].

L'étude de Steinherz [24], portant sur un suivi pendant 4 à 20 ans après traitement de 201 patients par anthracyclines dans l'enfance, a montré que 88 % des patients ayant une fonction cardiaque de fin de traitement normale à l'échocardiographie gardaient une fonction normale au cours du suivi.

À l'exception d'un cas, les autres patients qui avaient une fonction normale en fin de traitement, n'avaient, 20 ans plus tard, qu'une altération modérée de la fonction cardiaque. Cette étude suggère une relative stabilité au long cours de la dégradation de fonction cardiaque occasionnée par le traitement.

L'angioscintigraphie semble être l'examen de choix chez l'adulte en raison d'une meilleure reproductibilité, d'une performance non influencée par les inhomogénéités de la cinétique pariétale et d'une réalisation possible chez tous les patients sauf ceux en arythmie. L'échocardiographie est la modalité préférée chez l'enfant en raison d'une meilleure échogénicité, d'une concordance démontrée avec l'angioscintigraphie des cavités cardiaques [13] et du risque même faible de l'irradiation liée à l'angioscintigraphie.

Compte tenu des différences entre les techniques et de l'importance dans les stratégies de surveillance de la mesure des variations de fonction cardiaque, il semble raisonnable de surveiller un même malade avec la même technique tout au long de l'évolution. Dans le cadre des essais cliniques comportant des mesures de cardiotoxicité l'angioscintigraphie s'impose chez l'adulte alors que l'échocardiographie semble acceptable chez l'enfant.

Points ne faisant pas l'objet d'un consensus

Actuellement, certains points peuvent être considérés comme mal éclaircis

- Le bénéfice cardiaque de la réduction de posologie basée sur une surveillance cardiaque étroite n'a pas été mis en balance avec une éventuelle réduction du contrôle tumoral dans des études cliniques prospectives.
- La définition exacte du caractère « inacceptable » de l'altération cardiaque n'a pas été apportée.
- La cardiotoxicité comparée des anthracyclines (à effet thérapeutique cancérologique égal, en fonction de l'âge, du sexe, du type d'administration) n'est pas disponible de manière fiable dans la littérature internationale de cancérologie humaine.
- L'évolution au long cours de la cardiopathie induite par les anthracyclines n'est pas assez connue par des études prospectives ayant suivi les mêmes patients sur plusieurs années, de sorte que le concept de la survenue (ou de l'aggravation tardive de la cardiopathie des anthracyclines) est encore imparfaitement étayé chez l'enfant comme chez l'adulte.
- La preuve de la valeur de la surveillance échocardiographique chez l'adulte n'a pas été apportée par des études aussi documentées qu'en angioscintigraphie.

Conclusion

L'altération cardiaque induite par les anthracyclines est reflétée par l'étude des paramètres systoliques. L'angioscintigraphie est dans ce domaine la technique de référence pour sa reproductibilité et sa réalisation aisée chez tous les patients. Chez l'enfant, l'échocardiographie est une alternative satisfaisante. Une fonction dégradée (FE<30 %) est une contre-indication à l'administration des anthracyclines. Aucun consensus n'existe actuellement sur le moment idéal et la fréquence des contrôles au cours du traitement.

RÉFÉRENCES

- 1 BENJAMIN RS. Rationale for the use of mitoxantrone in the older patient: cardiac toxicity. *Semin Oncol* 1995, **22** (1 Suppl): 11-3
- 2 BIGRAS JL, FOURNIER A, MCCRINDLE BW, CARTWRIGHT D, DAVIGNON A, LECLERC JM. Functional cardiac disturbances related to chemotherapy independent of anthracycline use in children with neoplastic disease. *Am J Cardiol* 1995, **75** (1): 101-3
- 3 BROWN KA, BLOW AJ, WEIS RM, STEWART JA. Acute effects of doxorubicin on human left ventricular systolic and diastolic function. *Am Heart J* 1989, **118**: 979-982
- 4 CARRIO I, ESTORCH M, BERNA L, GERME JR, ALOSO C, OJEDA B. DE ANDRES L, LOPEZPOUSA A, MART'NEZ-DUNCKER C, TORRES G. Assessment of anthracycline-induced myocardial damage by quantitative indium 111 myosin-specific monoclonal antibody studies. *Eur J Nucl Med* 1991, **18**: 806-812
- 5 CARRIO I, LOPEZ-POUSA A, ESTORCH M, DUNCKER D, BERNA L, TORRES G. DE ANDRES L Detection of doxorubicin cardiototoxicity in patients with sarcomas by Indium-111 Antimyosin monoclonal antibody studies. *J Nucl Med* 1993, **34**: 1503-1507
- 6 COTTIN Y, TOUZERY C, COUDERT B. GILLES A, WALKER P. MASSING JL, TOUBEAU M, RIEDINGER-BERRIOLO A, CAILLOT D, LOUIS P. WOLF JE, BRUNOTTE F. Impairment of diastolic function during short-term anthracycline chemotherapy. *Br Heart J* 1995, **73**: 61-64
- 7 DUNN J. Doxorubicin-induced cardiomyopathy. *J Pediatr Oncol Nurs* 1994, **11** (4): 152-60
- 8 EI MAWLA NG, HAMZA MR, KHODARI A, KHALED H. GAAFAR R. ZAWAHRY J. ABDEL WARETH A, DARDIR MD, HABBOUDI N. A phase II study of epirubicin in breast cancer. *Anticancer Drugs* 1991, **2** (4): 371-4
- 9 FERRIERE M, DONADIO D, RAMIREZ R. Cardiotoxicity of anthracyclines. *Arch Mal Cœur Vaiss* 1993, **Spec n°2**: 53-8
- 10 GANZ WI, SRIDHAR KS, FORNESS TJ. Detection of early anthracycline cardiotoxicity by monitoring the peak filling rate. *Am J Clin Oncol* 1993, **16** (2): 109-12
- 11 GOORIN AM, CHAUVENET AR, PEREZ-ATAYDE AR, CRUZ J. MCKONE R. LIPSHULTZ SE. Initial congestive heart failure, six to ten years after doxorubicin chemotherapy for childhood cancer. *J Pediatr* 1990, **116** (1): 144-7
- 12 HENDERSON IC, SLOSS Y, JAFFE N. BLUM RH, FRE' E. Serial studies of cardiac function in patients receiving adriamycin. *Cancer Treat Rep* 1978, **62**: 923-929

- 13 JAKACKI RI, LARSEN RL BARBER G. HEYMAN S. FRIDMAN M, SILBER JH. Comparison of cardiac function tests after anthracycline therapy in childhood. Implications for screening. *Cancer* 1993, **72** (9): 2739-45
- 14 LEANDRO J. DYCK J. POPPE D, SHORE R. AIRHART C, GREENBERG M, GILDAY D, SMALLHORN J. BENSON L Cardiac dysfunction late after cardiotoxic therapy for childhood cancer. *Am J Cardiol* 1994, **74** (11): 1152-6
- 15 LEE BH, GOODENDAY LS, MUSWICK GJ, YASNOFF WA, LEIGHTON RF, SKEEL RT. Alterations in left ventricular diastolic function with doxorubicin therapy. *J Am Coll Cardiol* 1987, **9**: 184-188
- 16 LIPSHULTZ SE, SANDERS SP, GOORIN AM, KRISCHER JP, SALLAN SE, COLAN SD. Monitoring for anthracycline cardiotoxicity. *Pediatrics* 1994, **93** (3): 433-7
- 17 MCKILLOP JH, BRISTOW MR, GORIS ML, BILLNGHAM ME, BOCKEMUEHT K. Sensitivity and specificity of radionuclide ejection fractions in doxorubicin cardiotoxicity. *Am heart J* 1983, **106**: 1048-1056
- 18 OLSON RD, MUSHLIN PS. Doxorubicin cardiotoxicity: analysis of prevailing hypotheses *FASEB J* 1990, **4**: 3076-3086
- 19 PALMERI ST, BONOW RO, MYERS CE et al Prospective evaluation of doxorubicin cardiotoxicity by rest and exercise radionuclide angiography. *Am J Cardiol* 1979, **43**: 1159-1166
- 20 SANDOR GG, PUTERMAN M, ROGERS P. CHAN KW, PRITCHARD S. POPOV R Early prediction of anthracycline cardiomyopathy using standard M-mode and digitized echocardiography. *Am J Pediatr Hematol Oncol* 1992, **14** (2): 151-7
- 21 SCHWARTZ RG, MCKENZIE WB, ALEXANDER J. SAGER P. DSOUZA A, MANATUNGA A, SHWARTZ PE, BERGER HJ, SETARO J. SURKIN L WACKERS FJT, ZARET BL Congestive heart failure and left ventricular dysfunction complicating doxorubicin therapy a seven-year experience using serial radionuclide angiocardiology. *Am J Med* 1987, **82**: 1109-1118
- 22 SCHWARTZ CL HOBBIE WL TRUESDELL S. CONSTINE LC, CLARK EB. Corrected QT interval prolongation in anthracycline-treated survivors. *J Clin Oncol* 1993, **11** (10): 1906-10
- 23 SILBER JH, JAKACKI RI, LARSEN RL GOLDWEIN JW, BARBER G. Increased risk of cardiac dysfunction after anthracyclines in girls. *Med Pediatr Oncol* 1993, **21** (7): 477-9
- 24 STEINHERZ LJ, STEINHERZ PG, TAN CT, HELLER G. MURPHY ML Cardiac toxicity 4 to 20 years after completing anthracycline therapy. *JAMA* 1991, **266** (12): 1672-7
- 25 STEINHERZ LJ, GRAHAM T, HURWITZ R. SONDHEIMER HM, SCHWARTZ RG, SHAFFER EM, SANDOR G. BENSON L WILLAMS R Guidelines for cardiac monitoring of children during and after anthracycline therapy report of the cardiology committee of the children's cancer study group. *Pediatrics* 1992, **89**: 942-949
- 26 UMEMOTO M, AZUMA E. ITOH M, KOMADA Y, IDO M, KAWASAKI H. KITA H; SAKURAI M. Low R-wave amplitude in the right precordial leads in children with symptomatic doxorubicin cardiomyopathy. *Pediatr Cardiol* 1993, **14** (2): 107-9

3

Etude de la perfusion myocardique par SPECT pour le diagnostic et l'évaluation de la maladie coronarienne

Ce rapport ne constitue qu'une vue partielle d'un domaine particulièrement vaste. En effet la médecine nucléaire a conquis au fil des ans une place de premier plan dans le diagnostic et l'évaluation de la maladie coronarienne où l'expérience accumulée supplante indiscutablement de très loin les autres techniques d'imagerie. Nous avons concentré cette revue de la littérature sur les situations les plus fréquentes concernant de grands groupes de patients et des situations cliniques habituelles. La question du post-infarctus n'est par contre pas spécifiquement abordée dans ce rapport.

Performances globales de la SPECT myocardique de perfusion dans la maladie coronaire pour la détection de l'ischémie

DIAGNOSTIC DE LA MALADIE CORONARIENNE PAR SCINTIGRAPHIE DE PERFUSION AU THALLIUM 201

Seuls les chiffres concernant la détection globale de la maladie coronarienne chez un patient et non les études basées sur l'étude de segments myocardiques ont été reportés dans le tableau 1

Il résulte de cette compilation d'études de la littérature de moins de 10 ans (éliminant ainsi les études initiales probablement excessivement optimistes) que la sensibilité de la SPECT varie entre les études de 84 % à 98 %. La spécificité varie de 35 à 93 %. La mauvaise spécificité rapportée par certaines études est habituellement expliquée par un biais de recrutement pour la coronarographie (les scintigraphies pathologiques subissent plus fréquemment une coronarographie ce qui augmente le risque de faux positifs). Ceci a fait proposer de remplacer la coronarographie par des critères reposant sur la probabilité de coronaropathie inférieure à 5 %.

Tableau 1 : Études cliniques des dix dernières années concernant la valeur diagnostique de la SPECT pour le diagnostic de la maladie coronarienne.

Études	n	Technique	Se/Spé
Maddahi 1989 [3]	120	Tl/tomo/quantif	96/56 spécificité = 86 % dans un groupe de proba < 5 %
Tamaki 1984 [4]	104 (coro)	Tl/tomo/visu Tl/tomo/quantif	93/91 98/91
De Pasquale 1988 [2]	210	Tl/tomo/quantif Tl/tomo/visu	97/68 95/74
Mahmorian 1990 [5]	356 (coro)	Tl/tomo/quantif	87/88
Van Train 1986 [1]	157 multicentrique	Tl/planaire/quantif	84/71 (valeur recalculée) spécificité = 83-88 % dans un groupe de proba < 5 % (71 patients)
Allman 1992 [6]	76 (coro)	Tl/tomo/visu Tl/tomo/quantif	96/35 90/50
Iskandrian 1989 [7]	330 (coro) 131 (proba < 5 %)	Tl/tomo/quantif	88/62 spécificité = 93 %

coro : la coronarographie est l'examen de référence pour le calcul de sensibilité (Se) et de spécificité (Spe). Dans certains sous-groupes du tableau la spécificité est exprimée par rapport à des groupes de faible probabilité de maladie coronaire notés : proba < 5 % pour les raisons expliquées plus loin dans le texte. Tl : Thallium ; tomo : tomoscintigraphie ; quantif : quantification des données ; visu : analyse visuelle des coupes tomographiques.

Les résultats du tableau 1 confortés par ceux des tableaux 2 et 3 sont à l'origine des chiffres habituellement retenus [9] à propos de la valeur diagnostic de la scintigraphie myocardique au thallium, soit une sensibilité de 85-90 % et une spécificité de 70-90 % selon la référence choisie

STRESS PHARMACOLOGIQUE ET EFFORT

L'usage du dipyridamole et de l'adénosine a été proposé en remplacement de l'épreuve d'effort. Les deux modalités semblent apporter des performances diagnostiques relativement proches [10].

TRACEURS TECHNÉTIÉS ET THALLIUM

Parmi les traceurs technétiés de la perfusion myocardique, deux bénéficient d'une expérience clinique relativement importante, le sestamibi et la tetrofosmine. Sestamibi et thallium semblent donner des résultats voisins. Dans une étude regroupant 263 patients la sensibilité est de 90 % (thallium: 92 %), la spécificité est égale à 81 % pour le sestamibi (thallium: 50 %). (données Dupont Pharma citées par Miller [12].

La tetrofosmine, nouveau traceur technétié montre, dans un essai multicentrique de Zaret [11] regroupant 181 patients, une sensibilité de 77 % (thallium 83 %) et une spécificité de 58 % (thallium 48 %).

COMPARAISON DE LA SPECT ET DE LA PET DE PERFUSION

Quatre études regroupant un total de 342 patients examinés par les deux modalités suggèrent un avantage pour la PET d'environ 5 à 10 % en termes de sensibilité et surtout de spécificité. On peut cependant considérer au vue de ces quatre études émanant de centres très particuliers que la preuve de la supériorité de la PET n'est pas suffisante pour recommander une extension immédiate. Cependant il convient d'être vigilant par rapport aux progrès méthodologiques en cours qui seront abordés dans un autre rapport.

Tableau 2 : Comparaison entre PET et SPECT pour l'étude de la perfusion myocardique.

Études	n	Se SPECT/PET	Spe SPECT/PET
Go 1990 [15]	202	76/93	80/78
Tamaki 1988 [14]	48	96/98	
Stewart 1991 [16]	81	84/84	53/88
Schelbert 1981 [13]	11	91/100	

Se : sensibilité ; Spe : spécificité.

COMPARAISON ÉCHOGRAPHIE DE STRESS ET SPECT

Huit études dans la littérature ont comparé chez les mêmes patients les performances comparées de l'échographie de stress et de la scintigraphie myocardique.

Tableau 3 : Comparaison entre échocardiographie de stress et SPECT pour le diagnostic de la maladie coronarienne

Étude	n	ECHO	SCINTI	Se SPECT/ECHO	Spe SPECT/ECHO
Forster [22]	21	dobu	MIBI : visu	83/75	89/89
Takeuchi [24]	120	dobu	Thal : quan	89/85	85/93
Galanti [18]	53	exerc	Thal : visu	100/92,6	92,3/96,2
Hecht [21]	71	exerc	Thal : visu	92/90	65/80
Marwick [20]	217	dobu	Mibi : visu	76/72	67/83
Quinones [19]	289	exerc	Thal : visu	61/58	81/88
Pozzoli [17]	75	exerc	Mibi : visu	84/71	88/96
Hoffman [23]	66	dobu/ex	Mibi : quan	89/80e/79d	71/87e/81d

e : exercice d : dobutamine

Ces études confirment les travaux précédemment cités concernant les valeurs de sensibilité (61-100 %) et de spécificité (65-89 %) de la scintigraphie myocardique et montrent que les méthodes de quantification ne sont pas encore largement reconnues dans les études utilisant la tomoscintigraphie myocardique de perfusion. Par ailleurs, si la sensibilité est un peu meilleure pour la SPECT, la spécificité de l'échographie est supérieure à celle de la scintigraphie. Une des limites de ces huit études est qu'elles apportent très peu d'information sur le nombre de patients qui sont exclus de l'échographie de stress en raison de la difficulté technique de l'échographie (patients peu « échogènes »).

Performances en fonction du contexte clinique

L'analyse bayésienne nous apprend que la performance d'une méthode diagnostique dépend beaucoup de la probabilité pré-test. Le test est d'autant plus performant que l'on se trouve dans des situations de probabilité intermédiaire pour la maladie étudiée. Ces faits sont particulièrement importants en cardiologie nucléaire.

VALEUR PRONOSTIQUE DE EA SCINTIGRAPHIE MYOCARDIQUE NORMALE

Un travail de revue de la littérature, regroupant 16 études, publié par Brown [25] a montré que pour 3 573 patients, ayant eu une scintigraphie myocardique normale et revus en moyenne 28 mois plus tard, le taux annuel d'accidents coronariens trouvé est de 0,9 %, taux proche de celui de la population générale.

De plus, l'étendue de la zone hypoperfusée a une valeur pronostique bien démontrée par plusieurs études [26, 27].

VALEUR DE LA SCINTIGRAPHIE MYOCARDIQUE COMME MÉTHODE DE DÉPISTAGE CHEZ DES PATIENTS ASYMPTOMATIQUES

Un travail de Bleu [28] publié en 1990 avait montré que la scintigraphie myocardique permettait de détecter des sujets asymptomatiques à risque: 48 % des sujets présentant à la fois un électrocardiogramme et une scintigraphie positive eurent des accidents coronariens ultérieurs. Par contre la revue de 845 sujets jeunes asymptomatiques [29] mais avec électrocardiogramme d'effort douteux montre une sensibilité de 45 % et une spécificité de 78 % de la scintigraphie myocardique par rapport à la coronarographie. La scintigraphie myocardique ne semble donc pas être une méthode de dépistage satisfaisante de la maladie coronaire des sujets asymptomatiques jeunes.

BLOC DE BRANCHE GAUCHE COMPLET

Une hypofixation antéroseptale a été observée sur les scintigraphies d'effort de patients porteurs d'un bloc complet de branche gauche sans qu'aucune atteinte coronaire n'y soit associée

L'utilisation de tests pharmacologiques (dipyridamole ou adénosine) [30, 31, 32] semble plus adaptée pour le diagnostic de maladie coronarienne chez ces patients. Par contre, en cas de bloc de branche droit, ou de bloc incomplet de la branche gauche, aucune modification de la stratégie diagnostique n'est à prévoir.

DÉPISTAGE DE LA MALADIE CORONAIRE CHEZ DES PATIENTS SOUMIS À UNE INTERVENTION CHIRURGICALE NON CARDIAQUE

La scintigraphie myocardique a également été proposée comme outil de dépistage des affections coronaires en situation pré-opératoire. La fréquence de l'atteinte coronaire chez les patients soumis à une chirurgie vasculaire périphérique serait de 15 à 54 % et pourrait atteindre 75 % chez les patients opérés pour un anévrisme de l'aorte abdominale [33]. Boucher [35] montre que chez des patients souffrant d'artériopathie des membres inférieurs, 8 patients sur 16 ayant une scintigraphie dipyridamole thallium anormale furent victimes d'accidents cardiaques périopératoires, tandis qu'aucun patient sur 32 ayant une scintigraphie normale ne fut victime de ces accidents. Eagle [34] a étudié 254 patients avant chirurgie vasculaire. Cinq signes cliniques furent considérés: âge de plus de 70 ans, diabète, angor, onde Q sur l'ECG et troubles du rythme ventriculaire. Les 64 patients sans anomalies cliniques n'eurent que 2 accidents cardiaques, les patients ayant au moins trois facteurs de risque cliniques (n = 20) ont eu 10 accidents cardiaques. Pour les patients à risque intermédiaire (1 ou 2 facteurs de risque clinique la scintigraphie cardiaque permet de distinguer deux groupes, l'un avec scintigraphie normale (n = 62) et 2 accidents cardiaques, l'autre avec scintigraphie anormale (n = 54) et 16 accidents cardiaques. Le travail d'Ashton [44] portant sur 1 487 hommes de plus de 40 ans subissant une intervention chirurgicale non cardiaque et le cumul de 1 442 patients de la littérature par Wong [42] confirment que la scintigraphie n'a d'intérêt que dans les groupes de patients de risque intermédiaire, ce qui est conforme aux principes de l'analyse bayésienne.

Un autre domaine très controversé est celui du dépistage des patients à risque au cours de la transplantation rénale pour insuffisance rénale sévère Brown [37] étudie 36 patients diabétiques et 29 non diabétiques et suggère qu'une prévision des accidents coronariens est possible en combinant la mesure de la fraction d'éjection ventriculaire gauche et la scintigraphie myocardique au thallium sensibilisée par le dipyridamole. Ce fait a été confirmé par Camp [38] (étude de 40 patients) puis infirmé par Marvick [40] qui trouva chez 45 patients en insuffisance rénale terminale une sensibilité et une spécificité de 37 % et 73 % pour la scintigraphie myocardique au dipyridamole. Holley [39] a rapporté une étude multicentrique de 189 patients diabétiques et insuffisants rénaux qui n'est pas en faveur de l'exploration scintigraphique.

Sur un nombre limité de patients [41] l'étude de Shaw suggère que le risque périopératoire est également bien approché dans la chirurgie générale et orthopédique à condition de combiner les résultats avec une analyse clinique soigneuse.

SCINTIGRAPHIE MYOCARDIQUE AVANT ET APRÈS INTERVENTION DE REVASCULARISATION (ANGIOPLASTIE CORONAIRE ET PONTAGE AORTO-CORONARIEN) [45-48]

La scintigraphie myocardique avant intervention de revascularisation est utile pour montrer si une lésion coronaire est ou non associée à une ischémie d'aval Elle montre également le territoire le plus ischémique dont l'artère est la cible privilégiée de l'intervention de reperfusion (*culprit lésion*),

Après intervention de revascularisation, la scintigraphie myocardique a montré son intérêt pour mettre en évidence la resténose chez les patients asymptomatiques avec un électrocardiogramme d'effort douteux Dans les autres circonstances, son utilité est à adapter au cas particulier

Conclusion

En conclusion, l'expérience clinique accumulée dans l'étude de la perfusion myocardique par la SPECT est considérable et cumule l'étude de milliers de patients dans la littérature internationale Les performances diagnostiques de la scintigraphie myocardique sont grandement influencées par le contexte clinique et en particulier la probabilité pré-test ce qui souligne la valeur de l'interrogatoire, de l'examen clinique et de l'épreuve d'effort classique préalables En conformité avec l'analyse bayésienne, c'est toujours dans le groupe de probabilité intermédiaire que la performance diagnostique est optimale. La scintigraphie myocardique est donc la méthode actuelle de référence à laquelle les autres méthodes d'étude de l'ischémie myocardique, échographie et IRM, devront se comparer obligatoirement et favorablement avant d'envisager une substitution. Par ailleurs, la cardiologie nucléaire présente encore de larges perspectives de développement qui sont abordées dans un rapport particulier.

RÉFÉRENCES

SPECT ET DIAGNOSTIC DE LA MALADIE CORONARIENNE

- 1 VAN TRAIN KF, BERMAN DS, GAROA EV. Quantitative analysis of stress thallium-201 myocardial scintigrams: A multicenter trial. *J Nucl Med* 1986, **27**: 17-25
- 2 DEPASQUALE EE, NODY AC, DEPUEY EG. Quantitative rotational thallium-201 tomography for identifying and localizing coronary artery disease. *Circulation* 1988, **77**: 316-327
- 3 MADDAHI J. VAN TRAIN K. PRIGENT K. Quantitative single photon emission computed thallium-201 tomography for detection and localization of coronary artery disease : Optimization and prospective validation of a new technique. *J Am Coll Cardiol* 1989, **14**: 1689-1699
- 4 TAMAKI N. YONEKURA Y, MUKAI T. Stress thallium-201 transaxial emission computed tomography: quantitative versus qualitative analysis for evaluation of coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 1984, **4**: 1213-1221

5 MAHMARIAN JJ, PRATT CM, COCANOUGH MY, VERANI MS. Altered myocardial perfusion in patients with angina pectoris or silent ischemia during exercise as assessed by quantitative thallium-201 single-photon emission computed tomography. *Circulation* 1990; **82**: 1305-1315

6 AUMAN K. BERRY J. SUCHARSKI L. Determination of extent and location of coronary artery disease in patients without prior myocardial infarction by thallium 201 tomography with pharmacologic stress. *J Nucl Med* 1992, **33**: 2067-2073

7 ISKANDRIAN A, HEO J. KONG B. Effect of exercise level on the ability of thallium-201 tomographic imaging in detecting coronary artery disease: Analysis of 461 patients. *J Am Coll Cardiol* 1989, **14**: 1477-1486

8 ISKANDRIAN AS, CHAE SC, HEO J. STANBERRY CD, WASSERLEBEN V, CAVE V. Independent and incremental prognostic value of exercise single-photon emission computed tomography (SPECT thallium imaging in coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 1993, **22**: 665-670

9 MAHMARIAN J. VERANI M. Exercise thallium-201 scintigraphy in the assessment of ischemic heart disease. *Am J Cardiol* 1991, **67** (suppl): 2D-IIID

STRESS PHARMACOLOGIQUE ET EFFORT

10 NISHIMURA S. MAHMARIAN JJ BOYCE TM et al. Equivalence between adenosine and exercise thallium-201 myocardial tomography: a multicenter prospective crossover trial *J Am Coll Cardiol* 1992, **67**: 12D-17D

TRACEURS TECHNIQUES

11 ZARET BL, RIGO P. WACKERS EJT, HENDEL RC, BRAAT SH, ISKANDRIAN AS, SRIDHARA BS, JAIN D, ITTI R. SERAFINI A, GORIS ML, LAHIRI A. Myocardial perfusion imaging with 99mTc tetrofosmin. Comparison to 201TI imaging and coronary angiography in a phase III multicenter trial *Circulation* 1995, **91**: 313-319

12 MILLER DD. The growing flood of Technetium-99m myocardial perfusion agents. Mote water... or more mud? *Circulation* 1995, **91**: 555-558

COMPARAISON SPECT-PET

13 SCHELBERT HR, WISENBERG G. PHELPS ME. Noninvasive assessment of coronary stenoses by myocardial imaging during pharmacologic coronary vasodilation: VI. Detection of coronary artery disease in human beings with intravenous N-13 ammonia and positron computed tomography. *Am J Cardiol* 1982, **49**: 1197-1207

14 TAMAKI N. YONEKURA Y, SENDA M. Value and limitation of stress thallium-201 single photon emission computed tomography Comparison with nitrogen-13 ammonia positron tomography. *J Nucl Med* 1988, **29**: 1181-1188

15 GO RT, MARWICK TH, MACINTYRE WJ. A prospective comparison of rubidium-82 PET and thallium-201 SPECT myocardial perfusion imaging utilizing a single dipyridamole stress in the diagnosis of coronary artery disease. *J Nucl Med* 1990, **31**: 1899-1905

16 STEWART RE, SCHWAIGER M, MOUNA E. Comparison of rubidium-82 positron emission tomography and thallium-201 SPECT imaging for detection of coronary artery disease. *Am J Cardiol* 1991, **67**: 1303-1310

COMPARAISON ÉCHOCARDIOGRAPHIE DE STRESS-SPECT

17 POZOLI MMA, FIORETTI PM, SALUSTRI A. Exercise echocardiography and technetium-99m mibi single-photon emission computed tomography in the detection of coronary artery disease. *Am J Cardiol* 1991, **67**: 350-355

- 18 GALANTI G, SCIAGRA R, COMEGLIO M. Diagnostic accuracy of peak exercise echocardiography in coronary artery disease: Comparison with thallium-201 myocardial scintigraphy. *Am Heart J* 1991, **122**: 1609-1616
- 19 QUINONES MA, VERANI MS, HALCHIN RM. Exercise echocardiography versus thallium-201 single photon emission computed tomography in evaluation of coronary artery disease. *Circulation* 1992, **85**: 1026-1031
- 20 MARWICK T, D'HONDT AM, BAUDHUIN T. Optimal use of dobutamine stress for the detection and evaluation of coronary artery disease: Combination with echocardiography or scintigraphy, or both ? *J Am Coll Cardiol* 1993, **22**: 159-167
- 21 HECHT HS, DEBORD L, SHAW R. Supine bicycle stress echocardiography versus tomographic thallium-201 exercise imaging for the detection of coronary artery disease. *J Am Soc Echocardiogr* 1993, **6**: 177-185
- 22 FORSTER T, MCNEILL AJ, SAWSTRI A. Simultaneous dobutamine stress echocardiography and technetium-99m isonitrite single-photon emission computed tomography in patients with suspected coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 1993, **21**: 1591-1596
- 23 HOFFMAN R, LETHEN H, KLEINHANS E. Comparative evaluation of bicycle and dobutamine stress echocardiography with perfusion scintigraphy and bicycle electrocardiogram for identification of coronary artery disease. *Am J Cardiol* 1993, **72**: 555-559
- 24 TAKEUCHI M, ARAKI M, NAKASHIMA Y. Comparison of dobutamine stress echocardiography and stress thallium-201 single-photon emission computed tomography for detecting coronary artery disease. *J Am Soc Echocardiogr* 1993, **6**: 593-602
- VALEUR PRONOSTIQUE D'UNE SCINTIGRAPHIE MYOCARDIQUE NORMALE**
- 25 BROWN KA prognostic value of thallium myocardial perfusion imaging. *Circulation* 1991, **83**: 363-381
- 26 MAHMARIAN JJ, MAHMARIAN AC, MARKS GF, PRATT GM, VERANI MS. Role of adenosine thallium-201 tomography for defining long-term risk in patients after acute myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol* 1995, **25**: 1333-1340
- 27 MACHECOURT J, LONGERE P, FAGRET D, VANZETTO G, WOLF JE, POLIDORI C, COMET M, DENIS B. Prognostic value of thallium-201 single-photon emission computed tomographic myocardial perfusion imaging according to extent of myocardial defect. Study in 1926 patients with follow-up at 33 months. *J Am Coll Cardiol* 1994, **23**, 1096-1106
- VALEUR DE LA SCINTIGRAPHIE MYOCARDIQUE CHEZ LES PATIENTS ASYMPTOMATIQUES**
- 28 FLEG JL, GIRSTENBLITH G, ZONDERMAN AB. Prevalence and prognostic significance of exercise-induced silent myocardial ischemia detected by thallium scintigraphy and electrocardiography in asymptomatic volunteers. *Circulation* 1990, **81**: 428-436
- 29 SCHWARTZ RS, JACKSON WG, CELIO N et coll. Accuracy of exercise 201TI myocardial scintigraphy in asymptomatic young men. *Circulation* 1993, **87**: 165-172
- SCINTIGRAPHIE MYOCARDIQUE DE PERFUSION ET BLOC DE BRANCHE GAUCHE**
- 30 BURNS RJ, GALLIGAN L, WRIGHT LM, LAVAND S, BURKE RJ, GLADSTONE PJ. Improved specificity of myocardial thallium-201 single-photon emission computed tomography in patients with left bundle branch block by dipyridamole. *Am J Cardiol* 1991, **68**: 504-508
- 31 ROCKETT JF, WOOD WC, MOINUDDIN M, LOVELESS V, PARRISH B. Intravenous dipyridamole thallium-201 SPECT imaging in patients with left bundle branch block. *Clin Nucl Med* 1990; **15**: 401-407

32 O'KEEFE JH JR, BATEMAN TM, SILVESTRI R, BARNHART G. Safety and diagnostic accuracy of adenosine thallium-201 scintigraphy in patients unable to exercise and those with left bundle branch block. *Am Heart J* 1992, **124**: 614-621

VALEUR DE LA SCINTIGRAPHIE MYOCARDIQUE POUR LA DÉTECTION DU RISQUE CARDIAQUE PÉRIOPÉRATOIRE

33 TOMATIS N, FIERENS E, VERBRUGGE G. Evaluation of surgical risk in peripheral vascular disease by coronary angiography: A series of 100 cases. *Surgery* 1972, **71**: 429-435

34 EAGLE K, COLEY C, NEWELL J. Combining clinical and thallium data optimizes preoperative assessment of cardiac risk before major vascular surgery. *Ann Intern Med* 1989, **1** (10): 859-866

35 BOUCHER C, BREWSTER D, DARLING R. Determination of cardiac risk by dipyridamole thallium imaging before peripheral vascular surgery. *N Engl J Med* 1985, **312**: 389-394

36 LANE SE, LEWIS SM, PIPPIN JJ. Predictive value of quantitative dipyridamole thallium scintigraphy in assessing cardiovascular risk after vascular surgery in diabetes mellitus. *Am J Cardiol* 1989, **64**: 1275-1279

37 BROWN K, IDMMER J, HAISCH C. Noninvasive cardiac risk stratification of diabetic and non-diabetic uremic allograft candidates using dipyridamole-thallium-201 imaging and radionuclide ventriculography. *Am J Cardiol* 1989, **64**: 1017-1021

38 CAMP AD, CARVIN PJ, HOIF J. Prognostic value of intravenous dipyridamole thallium imaging in patients with diabetes mellitus considered for renal transplantation. *Am J Cardiol* 1990, **65**: 1459-1463

39 HOLLEY J, FENTON R, ARTHUR R. Thallium stress testing does not predict cardiovascular risk in diabetic patients with end stage renal disease undergoing cadaveric renal transplantation. *Am J Med* 1991, **90**: 563-570

40 MARWICK TH, SEINMULLER DR, UNDERWOOD DA. Ineffectiveness of dipyridamole SPECT thallium imaging as a screening technique for coronary artery disease in patients with end-stage renal disease. *Transplantation* 1990, **49**: 100-103

41 SHAW L, MILLER DD, KONG BA. Determination of perioperative cardiac risk by adenosine thallium 201 myocardial imaging. *Am Heart J* 1992, **124**: 861-869

42 WONG T, DETSKY AS. Preoperative cardiac risk assessment for patients having peripheral vascular surgery. *Ann Intern Med* 1992, **116**: 743-753

43 SHAW L, MILLER DD, KONG BA. Determination of perioperative cardiac risk by adenosine thallium-201 myocardial imaging. *Am Heart J* 1992, **124**: 861-869

44 ASHTON CM, PETERSEN NJ, WRAY NP, KIETE CI, DUNN JIC, WU L, THOMAS JM. The incidence of perioperative myocardial infarction in men undergoing noncardiac surgery. *Ann Intern Med* 1993, **118**: 504-510

SCINTIGRAPHIE MYOCARDIQUE, PONTAGES ET ANGIOPLASTIES

45 HIRZEL HO, NUESCH K, SIALER G, HORST W, KRAYENBUEHL HP. Thallium-201 exercise myocardial imaging to evaluate myocardial perfusion after coronary artery bypass surgery. *Br Heart J* 1980, **43**: 426-435

46 HECHT HS, SHAW RE, BRUCE RT, RYAN C, STERTZER SH, MYLER RK. Usefulness of tomographic thallium-201 imaging for detection of restenosis after percutaneous transluminal coronary angioplasty. *Am J Cardiol* 1990, **66**: 1314-1318

47 HECHT HS, SHAW RE, CHIN HL, RYAN C, STERTZER SH, MYLER RK. Silent ischemia after coronary angioplasty: evaluation of restenosis and extent of ischemia in asymptomatic patients by tomographic thallium-201 exercise imaging and comparison with symptomatic patients. *J Am Coll Cardiol* 1991, **17**: 670-677

48 ISKANDRIAN AS, LEMICK J, OGILBY JD, UNTEREKER WJ, CAVE V, HEO J. Early thallium imaging after percutaneous transluminal coronary angioplasty tomographic evaluation during adenosine-induced coronary hyperemia. *J Nucl Med* 1992, **33**: 2086-2089

IRM du myocarde et maladie coronarienne

Ce document a pour but de faire une revue des articles paraissant les plus significatifs de la littérature internationale concernant les applications cliniques de la résonance magnétique nucléaire dans les cardiopathies ischémiques. Cette revue aborde la question sous l'angle de la caractérisation locale du myocarde (cinétique, perfusion, métabolisme) en laissant volontairement de côté la fonction globale du ventricule gauche et l'imagerie des coronaires qui seront abordés dans d'autres rapports,

Détection de l'ischémie myocardique par l'IRM de perfusion sans et avec stress pharmacologique chez l'homme

La première étude publiée dans ce domaine concerne l'utilisation de séquence d'acquisition rapide combinée à l'injection d'un complexe de gadolinium est celle de WJ Manning [1], incluant 12 patients avec une sténose coronaire significative dont 4 seront réétudiés après revascularisation, L'imagerie n'est pratiquée qu'au repos avec l'injection de 0,04 mmo/kg de Gd-DTPA, Le myocarde ischémique présente un pic de signal moins élevé ainsi qu'une croissance de signal moins rapide que le myocarde normalement perfusé, L'équipe de l'Université de Leiden [2] rapporte une étude de faisabilité chez le volontaire sain (7 volontaires) de la même approche,

Les 4 autres études rapportées [3-6] utilisent l'IRM de perfusion combinée avec une épreuve de stress au dipyridamole réalisée selon le protocole habituellement réalisé en médecine nucléaire. Les différents groupes rapportent une approche soit en monocoupe pour l'essentiel, sauf l'étude de Zurich [6] avec 3 niveaux de coupes couvrant la cavité ventriculaire gauche en petit axe. On peut noter quelques petites différences dans les protocoles de réalisation de l'IRM en termes de valeur de TI (temps d'inversion) et de doses de gadolinium utilisées qui varient de 0,04 à 0,05 mmo/kg. Les résultats sont obtenus à partir de petites séries de patients de 5 à 18 et comparés généralement aux résultats du thallium et parfois aux résultats à la combinaison thallium-coronarographie

Les valeurs de sensibilité et spécificité de l'IRM de perfusion de stress varient de 65 à 92 % pour la sensibilité et de 76 à 100 % pour la spécificité. On peut observer que les meilleurs résultats sont obtenus lorsque l'IRM combine l'approche de la perfusion et de la contraction rendant le test plus sensible et plus spécifique [5] (tableau 1).

Tableau 1 : Détection de l'ischémie myocardique par IRM perfusion de stress (GD-Complexe + Dipyridamole)

	IRM basale Se/Sp	IRM stress Se/Sp	Cine-IRM	Méd nucléaire Se/Sp	Perfusion + Cine-IRM
S. Schaefer [3] 5 volontaires 6 patients 1 niveau de coupe	-	+		+	
M. Klein [4] 5 patients 1 niveau de coupe		77/75 % (prospective + thallium)			
G. Hartnell [5] 18 patients 1 à 2 niveaux de coupe		83/100		92/100	92/100
A. Eichenberger [6] 8 patients 3 niveaux de coupe		65/76 (versus thallium)			
N. Wilke [9] 12 patients 1 niveau de coupe		Se = 90 % (versus thallium)			
EG. Walsh [8] 45 patients 3 à 4 niveaux de coupe		28 cas totalement concordant / chez 4 patients : hypofixation non détectée / 5 patients avec hypofixation en IRM sans image évidente en thallium / discordances mineures chez 8 patients			

Détection de l'ischémie myocardique en cine-IRM sous stress pharmacologique

Une publication de 1991 [11] a évalué la mesure de l'épaississement segmentaire au repos du myocarde ventriculaire gauche chez 79 patients pour le diagnostic de la maladie coronarienne par comparaison avec le déficit perfusionnel en thallium 201. Un épaississement segmentaire de plus de 3 mm correspondait à des aires myocardiques de forte perfusion (captation du thallium > 50 %), alors qu'un épaississement de moins de 1 mm est observé dans les aires myocardiques avec un déficit de perfusion (captation du thallium < 40 %).

Différentes études sous stress pharmacologique ont évalué les performances de l'étude de la contractilité segmentaire pour la détection de la maladie coronarienne. Pennell [10] dans une étude utilisant le dipyridamole comme stress démontre une concordance chez 23 patients avec antécédent d'infarctus du myocarde entre les zones de défauts au thallium et les zones d'anomalie de contraction en cine-IRM au repos. Chez les patients sans antécédent d'infarctus mais présentant une coronaropathie, la cine-IRM sous dipyridamole a permis de détecter un certain nombre de segments présentant une altération de la contraction correspondant à des territoires avec un déficit réversible au thallium 201. L'étude rapportée par Baer [12] a confirmé ces résultats en donnant comme valeur de sensibilité et de spécificité pour l'IRM dynamique, 81 et 78 % pour l'atteinte de l'IVA (artère intraventriculaire antérieure), 80 et 80 % pour la circonflexe et 92 et 98 % pour la coronaire droite.

Deux autres études rapportent l'utilisation du stress à la dobutamine pour la détection de la maladie coronaire [13,14] avec une sensibilité et une spécificité proche des résultats obtenus avec le dipyridamole (Tableau 2).

Tableau 2 : Détection de l'ischémie myocardique par cine-IRM de stress

Études	Cine-IRM Dipyridamole Se/Sp	Cine-IRM Dobutamine Se/Sp
DJ. Pennell [8] 40 patients	67 % / 62 %	
FM. Baer [10] 23 patients	Se/Sp 78/100 IVA ¹ Se/Sp 88/87 RCA ² Se/Sp 73/100 CX ³	
FM. Baer [11] 33 patients	Se 79 % 1 vais. Se 92 % 2 vais. Versus Thallium Se 84 % versus coronarographie	
DJ. Pennell [12] 25 patients		Se/Sp 80/50 % IVA Se/Sp 94/33 % CX Se/Sp 92/25 % RCA
FP. Van Ruygge [13] 37 patients		Se 75 % 1 vais. Se 80 % 1 vais. Se 100 % 3 vais. Sp 100 %
FM. Baer [14] 28 patients		Se/Sp 87/100 % IVA Se/Sp 62-93 % CX Se/Sp 78/88 % RCA
FP. van Ruygge [15] 39 patients		Se/Sp 91/80 au total

IVA : Artère interventriculaire antérieure. RCA : Artère coronaire droite. CX : Artère circonflexe.

Pour certains auteurs, il apparaît qu'une épreuve pharmacologique à la dobutamine (20 µg/kg/min) soit plus appropriée et plus sensible que le dipyridamole (0,56 mg/kg/min) pour la recherche d'une altération de la contraction ventriculaire gauche en cine-IRM afin de détecter et de localiser le ou les vaisseaux coronaires pathologiques.

Mise en évidence de la nécrose à la phase aiguë de l'infarctus

Un certain nombre de tentatives ont visé à mettre en évidence le myocarde nécrosé à la phase aiguë ces tentatives se sont fondées sur la recherche de caractéristiques spécifiques du tissu nécrotique donc absentes sur le myocarde viable qu'il soit normal, simplement ischémique, sidéré ou hibernant. Le myocarde sévèrement ischémique mais viable ou sidéré est alors mis en évidence par différence entre les zones hypoperfusées et les régions nécrotiques cette approche a été utilisée en médecine nucléaire en montrant la fixation sur la nécrose du pyrophosphate ou des anticorps anti-myosines.

En IRM, la présence de myocarde nécrosé est mise en évidence soit par les modifications des temps de relaxation soit par la différence de fixation de produits de contraste à base de gadolinium.

Filipchuk [24] a étudié 27 patients avec un aimant de 0,35 T en spin-écho pondéré en T1, 15 jours après infarctus, sans agent de contraste: le signal myocardique n'est pas apparu très spécifique l'élément le plus significatif est l'épaisseur du myocarde.

Ultérieurement, la plupart des études ont utilisé les agents de contraste à base de gadolinium; ces agents rehaussent le signal de 90 % dans la zone infarctée et de 34 % dans le myocarde normal [19]. Ces études se sont intéressées à des aspects très divers de la question et ne peuvent donc être cumulées ce qui rend leurs conclusions encore incertaines. A partir des travaux initiaux ayant montré la fixation des produits de contraste à base de gadolinium sur l'infarctus, un travail ultérieur a montré une bonne corrélation avec la taille de l'infarctus évaluée par la libération de créatine phosphokinase [21]

Un travail jusqu'ici non reproduit a suggéré que l'injection de gadolinium était capable de mettre en évidence la protection myocardique liée à la fibrinolyse [18].

Fukuzawa, en 1994, chez 40 patients suivis par échographie, suggère que les segments myocardiques avec un renforcement sous-endocardique ont une meilleure récupération fonctionnelle que ceux qui présentent une fixation complète de la paroi ou hétérogène [20].

Etudes de la viabilité myocardique par IRM

IMPACT CLINIQUE DE LA PRÉSENCE DE MYOCARDE HIBERNANT

L'indication de la revascularisation coronarienne est portée classiquement chez les multitrunculaires ayant une réduction de la fraction d'éjection ventriculaire gauche. Les raisons sont multiples: ces patients ont de plus grands risques de présenter d'autres accidents ischémiques sous traitement médical; par ailleurs le risque chirurgical est supérieur. Il en résulte la nécessité de disposer de techniques permettant de préciser quels sont les patients qui sont susceptibles de bénéficier de la chirurgie au sein de ce groupe. La présence de myocarde hibernant aggrave la dysfonction ventriculaire gauche et le pronostic de ces patients ayant souffert d'un infarctus du myocarde et présentant du myocarde hibernant est aggravé s'ils ne bénéficient pas d'une revascularisation chirurgicale [28]. Des données pronostiques similaires appliquées à l'angioplastie ne sont pas disponibles actuellement.

Le développement des méthodes de détection du myocarde hibernant pourrait donc avoir un impact pronostic et thérapeutique en identifiant ceux des patients qui bénéficieront véritablement d'une revascularisation myocardique dans un territoire ayant subi un infarctus,

DÉTECTION DU MYOCARDE HIBERNANT À LA PHASE CHRONIQUE DE L'INFARCTUS

Plusieurs méthodes ont été proposées afin de détecter le myocarde hibernant. Le diagnostic de myocarde hibernant repose sur la conjonction de faits essentiels:

- Caractère akinétique d'un territoire myocardique.
- Réversibilité de l'anomalie en cas de reperfusion,
- Maintien d'un métabolisme résiduel du myocarde: ajouté au caractère akinétique du myocarde, cette condition définit le *mismatch*, critère central en médecine nucléaire notamment en tomographie par émission de positon au fluorodéoxyglucose (PET FDG),

L'approche par échographie ou IRM repose sur la mise en évidence de la réversibilité de l'atteinte sous l'effet d'une stimulation pharmacologique, en pratique l'injection de dobutamine à faible dose [26,27]. Les données actuelles de la littérature en RMN sont réparties dans le tableau 3. Les premières approches ont suggéré que la simple mesure de l'épaisseur et de l'épaississement pariétal pouvait être un critère important de viabilité corrélé ou complémentaire à la fixation du thallium. Actuellement, la plupart des travaux s'inspirent de l'expérience de l'échocardiographie sous dobutamine avec l'espoir que l'IRM permette une meilleure définition des contours myocardiques dans tous les plans de l'espace.

Tableau 3 : Étude de la viabilité myocardique par mesure de la cinétique pariétale par IRM

Auteur	n	Critère de comparaison	Conclusion
Johnston 1993 [33]	11	SPECT thallium	10/11 patients avec hypofixation au thallium gardent une contraction en IRM
Perrone-Filardi 1992 [32]	25 (> 6 mois) sans dobu	PET FDG	faible fixation de FDG associée à une épaisseur diastolique plus faible
Baer 1992 [34]	20 (> 3 mois) sans dobu	SPECT MIBI	94 % de concordance avec l'épaisseur diastolique
Baer 1995 [35]	35 dobu 10 µg	PET FDG	Se = 81 % Spe = 95 % de l'IRM pour identifier les segments viables
Dendale 1995 [36]	37 (4-12 jours) dobu	Segments viables : concordance Echo :	Se = 79 % 81 %

(-) : temps après infarctus ; dobu : dobutamine ; PET FDG : tomographie par émission de positons au fluorodéoxyglucose ; SPECT : tomographie par émission simple photon. Se : sensibilité ; Spe : spécificité.

Etudes de l'ischémie myocardique par la spectroscopie de RMN du phosphore 31 au niveau myocardique

Les données expérimentales sur cœur isolé, animal et organes excisés sont très convaincantes de la valeur de la spectroscopie de RMN du phosphore 31. Pour cette raison des études de faisabilité ont montré la possibilité de réaliser un exercice à l'intérieur de l'aimant couplé à l'acquisition spectroscopique [38]. Des études cliniques limitées ont montré la possibilité de détecter l'ischémie coronaire par cette méthode (Weiss 1990, 16 patients avec atteinte tronc ou IVA [39]; Yabe 1994 27 patients avec atteinte de l'IVA [40]). Il a par ailleurs été suggéré d'utiliser la dobutamine afin de la substituer à l'exercice.

Malheureusement la méthode reste limitée aux territoires myocardiques de l'apex ou de la paroi antérieure. La résolution spatiale de la spectroscopie myocardique du phosphore 31 est encore insuffisante pour étudier l'ensemble du myocarde notamment quand il est aminci par un accident ischémique.

Conclusions

L'imagerie par résonance magnétique semble s'imposer comme une méthode importante de la détection de la viabilité myocardique, domaine où elle exploite au mieux ses performances pour l'étude de la fonction segmentaire.

Dans le domaine de la perfusion myocardique son développement a été ralenti par des problèmes technologiques qui sont en voie d'être résolus l'imagerie rapide de type échoplanar ou turbo-flash ultrarapide, les nouvelles séquences segmentées permettent aujourd'hui l'acquisition simultanée du passage d'un agent de contraste sur plusieurs plans de coupe avant et après stress pharmacologique. Par ailleurs les méthodes de traitement d'images devraient permettre un développement important de la technique en facilitant l'extraction des paramètres de perfusion du myocarde. L'IRM ouvre également la voie à l'acquisition simultanée des informations concernant la fonction contractile segmentaire et la perfusion, domaine où elle rejoint la tomoscintigraphie myocardique synchronisée à l'électrocardiogramme mais avec l'avantage d'une résolution spatiale nettement meilleure.

RÉFÉRENCES

IRM ET PERFUSION

- 1 MANNING WJ, ATKINSON DJ, GROSSMAN W. PAULIN S. EDELMAN RR. First-pass nuclear magnetic resonance imaging studies using Gadolinium-DTPA in patients with coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 1991,**18**: 159-65
- 2 VAN RUGGE EP, BOREEL JJ, VAN DER WALL EE, VAN DIJKMAN PRM, VAN DER LAARSE A, DOORNBOS J. DE ROOS A, DEN BOER JA, BRUSCHKE AVG, VAN VOORTHUISEN AE. *J Comput Assist Tomogr* 1991,**15** (6),959-965
- 3 SCHAEFER S VAN TYEN R. SALONER D. Evaluation of myocardial perfusion abnormalities with Gadoliniumenhanced snapshot MR imaging in humans. *Radiology* 1992, **185**: 795-801
- 4 KLEIN MA, COLLIER BD, HELLMAN RS, BAMRAH Vs. Detection of chronic coronary artery disease: value of pharmacologically stressed, dynamically enhanced turbo fast low angle shot MR images. *Am J Radiol* 1993,**161**: 257-263
- 5 HARTNELL G. CEREL A, KAMAUSH M, FINN JP, HILL T, COHEN M, TELLO R. LEWIS S. Detection of myocardial ischemia, value of combined myocardial perfusion and cineangiographic MR imaging. *Am J Radiol* 1994,**163**: 1061-1067
- 6 EICHENBERGER AC, SCHUIKI E. KOCHLI VD, AMANN EW, MCKINNON GC, VON SCHULTHNESS GK. Ischemic heart disease: assesment with Gadoliniumenhanced ultra. fast MR imaging and dipyridamole stress. *Magn Reson Imaging* 1994,**4**: 425-431
- 7 EDELMAN RR, LI W. Contrastenhanced echo-planar MR imaging of myocardial perfusion: preliminary study in humans. *Radiology* 1994,**190** : 771-777
- 8 WALSH EG, DOYLE M, LAWSON MA, BLACKWELL GG, POHOST GM. Multiple first-pass myocardial perfusion imaging on a conventional clinical scanner. *Magn Reson Med* 1995,**34**: 39-47
- 9 WILKE N. JEROSCH-HEROLD M, STILLMAN AE, KROLL K. TSEKOS N. MERKLE H. PARRISH T, HU X, WANG Y, BASSINGTHWAIGHTE J. BACHE RJ, UGURBIL K. Concepts of myocardial per. fusion imaging in magnetic resonance imaging. *Mag Res Quarterly* 1994,**10**: 249-286

IRM ET DÉTECTION DE LA MALADIE CORONAIRE (CINE IRM + STRESS)

10 PENNELL DJ, UNDERWOOD SR, ELL PJ, SWANTON RH, WALKER JM, LONGMORE DB. Dipyridamole magnetic resonance imaging: a comparison with thallium-201 emission tomography. *Br Heart J* 1990, **64**: 362-9

11 KLEINHANS E, ALTEHOEFER C, ARNOUD C, BUELL U, VOM DAHL J, UEBIS R. MRI measurements of left ventricular systolic wall thickening compared to regional myocardial perfusion as determined by 201 Tl Spect in patients with coronary artery disease. *J Nucl Med* 1991, **30**: 61-66

12 BAER FM, SMOLARZ K, JUNGEHÜLSING M et coll. Feasibility of high dose dipyridamole MRI for detection of coronary artery disease and comparison with coronary angiography. *Am J Cardiol* 1992, **69**: 51-6

13 BAER FM, SMOLARZ K, THEISSEN P, VOTH E, SCHICHA H, SECHTEM U. Identification of hemodynamically significant coronary artery stenoses by dipyridamole magnetic resonance imaging and 99m Tc-methoxyisobutyl-isonitrile-SPECT. *Int J Cardiac Imaging* 1993, **9**: 133-145

14 PENNELL DJ, UNDERWOOD RS, MANZARA CC et coll. Magnetic resonance imaging during dobutamine stress in patients with coronary artery disease. *Am J Cardiol* 1992, **70**: 34-40

15 VAN RUGGE FP, VAN DER WAU EE, DE ROOS A, BRUSCHKE AVG. Dobutamine stress magnetic resonance imaging for detection of coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 1993, **22**: 431-9

16 BAER FM, VOTH E, THEISSEN P, SCHICHA H, SECHTEM U. Gradient-echo magnetic resonance imaging during incremental dobutamine infusion for the localization of coronary artery stenoses. *Eur Heart J* 1994, **15**: 218-225

17 VAN RUGGE FP, VAN DER WAU EE, J SPANIERSBERG S, DE ROOS A, MATHEIJSSSEN NAA, ZWINDERMAN AH, VAN DIJKMAN PRM, REIBER JHC, BRUSCHKE AVG. Magnetic resonance imaging during dobutamine stress for detection and localization of coronary artery disease: quantitative wall motion analysis using a modification of the Centerline Method. *Circulation* 1994, **90**: 127-138

ÉVALUATION DE LA NÉCROSE DANS LE PREMIER MOIS APRÈS INFARCTUS

18 DE ROOS AR, MATHEIJSSSEN NAA, DOORNBOS J, VAN DIJKMAN PRM, VAN VOORTHUISEN AE, VAN DER WAU EE. Myocardial infarct size after reperfusion therapy: assessment with Gd-DTPA-enhanced MR imaging. *Radiology* 1990, **176**: 517-521

19 DULCE MC, DUERINCKX AJ, HARTIALA, CAPUTO GR, O'SULLIVAN M, CHEITLIN MD, HIGGINS CB. MR imaging of the myocardium using nonionic contrast medium signal-intensity changes in patients with subacute myocardial infarction. *Am J Radiol* 1993, **160**: 963-970

20 FUKUZAWA S, WATANABE H, SHIMADA K, KATAGIRI N, OZAWA S. Distribution patterns of Gd-DTPA enhanced magnetic resonance imaging after intravenous tissue plasminogen activator therapy for acute myocardial infarction. *Jpn Circ J* 1994, **58**: 199-205

21 HOLMAN ER, VAN JONBERGEN HP, VAN DIJCKMAN PR, VAN DER LAARSE A, DE ROOS A, VAN DER WAU EE. Comparison of magnetic resonance imaging studies with enzymatic indexes of myocardial necrosis for quantification of myocardial infarct size. *Am J Cardiol* 1993, **71**: 1036-1040

22 JAU P, BONNET JL, JOLY P, BARTH P, HABIB G, D'JANE P, BORY M, BERNARD PJ. Étude de l'infarctus du myocarde récent en imagerie par résonance magnétique avec injection de Dota. gadolinium. *Arch Mal Cœur* 1991, **94**: 195-200

- 23 NISHIMURA T, YAMADA N, HAZE K, NAGATA S. Experience using Gadolinium-DTPA in cardiovascular MRI. *Magn Res Med* 1991, **22**: 354-357
- 24 FILIPCHUK NG, PESHOCK RM, MAUOY G, CORBETT JR, REHR RB, BUJA M, JANSEN DE, REDISH GR, GABLIANI GI, PARKEY RW, WIUERSON JT. Detection and localization of recent myocardial infarction by magnetic resonance imaging. *Am J Cardiol* 1986, **58**: 214-219
- 25 FEDELE F, MONTESANO T, FERRO LUZZI L, DI CESARE E, RENZI PD, SCOPINARO F, AGATI L, PENCO M, SERRI F, VITAREUI A, DAGIANTI A. Identification of viable myocardium in patients with chronic coronary artery disease and left ventricular dysfunction. Role of magnetic resonance imaging. *Am Heart J* 1994, **128**: 484-9
- ÉTUDE DE LA CONTRACTION RÉGIONALE ET VIABILITÉ**
- 26 BARIUA F, GHEORGHIADÉ M, ALAM M, KHAJA F, GOUISTEIN S. Low dose dobutamine in patients with acute myocardial infarction identifies viable but not contractile myocardium and predicts the magnitude of improvement in wall motion abnormalities in response to coronary revascularization. *Am Heart J* 1991, **122**: 1522-1531
- 27 BOLLI R, ZHU W, MYERS ML, HARTLEY CJ, ROBERTS R. Beta adrenergic stimulation reverses postischemic myocardial dysfunction without producing subsequent functional deterioration. *Am J Cardiol* 1985, **56**: 964-968
- 28 LEE KS, MARWICK TH, COOK SA, GO RT, FIX JS, JAMES KB, SAPP SK, MACINTYRE WJ, THOMAS JD. Prognosis of patients with left ventricular dysfunction with and without viable myocardium after myocardial infarction. Relative efficacy of medical therapy and revascularization. *Circulation* 1994, **90**: 2687-2694
- 29 RAHIMTOOLA SH. The hibernating myocardium. *Am Heart J* 1989, **117**: 211-221
- 30 SECHTEM U, VOTH E, BAER FM, SCHNIEDER C, THEISSEN P, SCHICHA H. Assessment of residual viability in patients with myocardial infarction using magnetic resonance techniques. *Int J Cardiol* 1993, **9**: 31-40
- 31 PERRONE-FILARDI P, L BACHARACH S, DILSIAN V, MAUREA S, MARIN-NETO JA, ARRIGHI JA, FRANK JA, BONOW RO. Metabolic evidence of viable myocardium in regions with reduced wall thickness and absent wall thickening in patients with chronic ischemic left ventricular dysfunction. *J Am Coll Cardiol* 1992, **20**: 161-8
- 32 PERRONE-FILARDI P, BACHARACH SL, DILSIAN V, MAUREA S, FRANK JA, BONOW RO. Regional left ventricular wall thickening: relation to regional uptake of ¹⁸F-fluorodeoxyglucose and ²⁰¹Tl in patients with chronic coronary artery disease and left ventricular dysfunction. *Circulation* 1992, **86**: 1125-1137
- 33 JOHNSTON DJ, GUPTA VK, WENDT RE, MAHMARIAN JJ, VERANTI MS. Detection of viable myocardium in segments with fixed defects on thallium-201 scintigraphy: usefulness of magnetic resonance imaging early after acute myocardial infarction. *Magn Reson Imaging* 1993, **11**: 949-956
- 34 BAER FM, SMOIARZ K, THEISSEN P, VOTH E, SCHICHA H, SECHTEM U. Regional ^{99m}Tc-methoxyisobutyl-isonitrile-uptake at rest in patients with myocardial infarction: comparison with morphological and functional parameters obtained from gradient-echo magnetic resonance imaging. *Eur Heart J* 1994, **15**: 97-107
- 35 VAN RUGGE FP, HOLMAN ER, VAN DER WALL EE, DE ROOS A, VAN DER LAARSE A, BRUSCHKE AVG. Quantitation of global and regional left ventricular function by cine magnetic resonance imaging during dobutamine stress in normal human subjects. *Eur Heart J* 1993; **14**: 454-463.

36 DENDALE PAC, FRANKEN PE WALDMAN, GJ, DE MOOR DGE, TOMBEUR DAM, BLOCK PFC, DE ROOS A. Low dosage dobutamine magnetic resonance imaging as an alternative to echocardiography in the detection of viable myocardium after acute infarction. *Am Heart J* 1995, **130**: 134-40

37 BAER FM, VOTH E. SCHNEIDER CA, THEISSEN P. SCHICHA H. SECHTEM U. Comparison of Low dose Dobutamine-gradient-echo magnetic resonance imaging and positron emission tomography with (18F) Fluorodeoxyglucose in patients with chronic coronary artery disease. A functional and morphological approach to the detection of residual myocardial viability. *Circulation* 1995, **91**: 1006-1015

ISCHÉMIE MYOCARDIQUE ET SPECTROSCOPIE DE RMN

38 CONWAY MA, BRISTOW JD, J BLACKLEDGE M, RAJAGOPALAN B. RADDA GK. Cardiac metabolism during exercise in healthy volunteers measured by 31P magnetic resonance spectroscopy. *Br Heart J* 1991, **66**: 25-30

39 WEISS RG, BOTTOMLEY PA, HARDY CJ, GERSTENBLITH G. Regional myocardial metabolism of high-energy phosphates during isometric exercise in patients with coronary artery disease. *N Engl J Med* 1990, 323-600

40 YABE T, MITSUNAMI K. OKADA M, MORIKAWA S. INUBUSHI T, KINOSHITA M. Detection of myocardial ischemia by 31P magnetic resonance spectroscopy during handgrip exercise. *Circulation* 1994, **89**: 1709-1716

Améliorations techniques actuellement développées en tomographie par émission simple photon

Si la tomographie par émission simple photon (SPECT) a constitué un progrès notable sur la scintigraphie planaire[1], les progrès attendus de la cardiologie nucléaire en matière diagnostique restent particulièrement nombreux. L'usage routinier de la cardiologie nucléaire fait parfois oublier que cette discipline, comme la plupart des autres techniques d'imagerie, est en pleine évolution sur le plan technique et dans le domaine des produits radiopharmaceutiques.

Améliorations techniques en SPECT

CORRECTION D'ATTENUATION

Les défauts de la SPECT sont souvent attribués aux différences d'atténuation dues au diaphragme chez l'homme et au sein chez la femme [2]. De nouvelles techniques de correction d'atténuation sont développées qui permettraient de prendre en compte les différences d'atténuation [3].

ACQUISITIONS TOMOGRAPHIQUES SYNCHRONISÉES A L'ELECTROCARDIOGRAMME

Les nouveaux traceurs technétiés et les gamma-caméras à têtes multiples permettent de réaliser des images au long du cycle cardiaque, et en particulier en diastole et en systole, qui apportent une information sur la cinétique pariétale susceptible d'accroître la valeur diagnostique de la SPECT en permettant de coupler étude de la cinétique et perfusion segmentaires du myocarde [4-6]

UTILISATION CONJOINTE DE PLUSIEURS TRACEURS D'ÉNERGIE DIFFÉRENTE

Cette approche permet d'utiliser deux traceurs différents (^{201}Tl et $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -sestamibi par exemple) pour réaliser la scintigraphie de repos et d'effort dans un temps très court, ce qui permet d'accroître l'efficacité des services de cardiologie nucléaire [7].

DÉVELOPPEMENT DE LA QUANTIFICATION DES SCINTIGRAPHIES

De nombreux travaux ont suggéré que la quantification [8] pouvait apporter de meilleurs résultats que l'analyse visuelle (voir rapport sur SPECT et étude de la perfusion myocardique). Ces études quantitatives nécessitent la comparaison des données de chaque patient à des bases de données normales. Une des autres voies est donc également la construction de bases de données de références [9].

Le développement de la PET clinique à l'aide de gamma-caméras double-têtes SPECT modifiées

Les évolutions technologiques actuelles annoncent la sortie à court terme de gamma-caméras à double-têtes orientées PET-SPECT. Les premiers modèles fonctionnent simplement par adjonction à la gamma-caméra de collimateurs adaptés à la haute énergie de 511 keV des photons d'annihilation [10]. Les caméras en cours de développement sont basées sur le principe de la détection de coïncidence et permettraient la tomographie sans collimateurs et en solutionnant le problème de la correction d'absorption. La résolution spatiale serait considérablement améliorée par rapport à la SPECT. Ce type de gamma-caméra figure déjà au catalogue de certains constructeurs avec un surcoût qui pourrait se situer entre 1 et 2 ME. La PET serait alors disponible dans tout service de médecine nucléaire sous réserve de la fourniture ou de la production à partir d'un cyclotron ou d'un générateur des traceurs.

Les développements des produits radiopharmaceutiques

Une des particularités de la médecine nucléaire par rapport aux autres techniques d'imagerie est de reposer sur la spécificité des produits radiopharmaceutiques utilisés et la possibilité de les détecter à de très faibles concentrations. L'avenir de la médecine nucléaire dépend donc du développement de ces traceurs. De même que pour la synthèse de nouvelles molécules médicamenteuses, le champ d'innovation est infini.

Ainsi l'apparition de nouveaux traceurs technétiés de perfusion, dans la suite de ceux développés dans le rapport sur l'imagerie de perfusion myocardique, est susceptible d'améliorer les résultats obtenus à partir de la SPECT. Ainsi un traceur technétié présentant des caractéristiques de redistribution (comparable au thallium) est en phase d'essais cliniques [11].

A côté, des traceurs de la perfusion myocardique et de la viabilité des voies sont explorés comme traceurs de l'ischémie [12].

La possibilité d'utiliser le rubidium (émetteur de positons) à partir d'un générateur pour la scintigraphie myocardique de perfusion sur la base des travaux de Gould est peut-être envisageable et ouvrirait le champ de la PET de perfusion à tous les services de médecine nucléaire [13].

La disponibilité de ^{18}F fluorodéoxyglucose fournirait également à la médecine nucléaire un outil d'investigation de la viabilité myocardique. Compte tenu de l'intérêt considérable éveillé en cancérologie par cette molécule, on peut penser qu'un marché existe et que les fournisseurs de produits radiopharmaceutiques trouveront des solutions à l'acheminement rapide sur le territoire français du ^{18}F FDG.

Les produits radiopharmaceutiques ouvrent également la possibilité d'étudier l'innervation myocardique à l'aide de la MIBG (Métaiodobenzylguanidine) [14].

RÉFÉRENCES

- 1 FINTEL DJ, LINKS JM, BRINKER JA, FRANK TL, PARKER M, BECKER LC. Improved diagnostic performance of exercise thallium-201 single photon emission computed tomography over planar imaging in the diagnosis of coronary artery disease: a receiver operating characteristic analysis. *J Am Coll Cardiol* 1989, **13**: 600-612
- 2 CLONINGER KG, EISNER RM, OATES J. Specificity of SPECT Tl-201 myocardial imaging in women: Improvement by adjusting for breast attenuation. *J Am Coll Cardiol* 1987, **9**: 140
- 3 FICAR EP, FESSLER JA, ACKERMANN RJ, ROGERS WL, CORBETT JR, SCHWAIGER M. Simultaneous transmission emission thallium-201 cardiac SPECT: effect of attenuation correction on myocardial tracer distribution. *J Nucl Med* 1995, **36**: 921-931
- 4 JONES RH, BORGES-NETO S, POTTS JM Simultaneous measurement of myocardial perfusion and ventricular function during exercise from a single injection of technetium-99m sestamibi in coronary artery disease. *Am J Cardiol* 1990, **66**: 68E-71E
- 5 DEPUEY EG, NICHOLS K, DOBRINSKY C. Left ventricular ejection fraction assessed from gated technetium -99m sestamibi SPECT. *J Nucl Med* 1993, **34**: 1871-1876
- 6 CHUA T, KIAT H, GERMANO G, MAURER G, VAN TRAIN K, FREIDMAN J, BERMAN D. Gated technetium 99m sestamibi for simultaneous assessment of stress myocardial perfusion, post exercise regional ventricular function and myocardial viability. *J Am Coll Cardiol* 1994, **23**: 1107-1114
- 7 MAHMOOD S, GUNNING M, BOMANJI JB, GUPTA NK, COSTA DC, JARRITT PH, SWANTON H, ELL PJ. Combined rest thallium-201/stress technetium 99m tetrofosmin SPECT: feasibility and diagnostic accuracy of a 90 minute protocol *J Nucl Med* 1995, **36**: 932-935
- 8 KAUL S, BOUCHER CA, NEWELL JB. Determination of the quantitative thallium imaging variables that optimize detection of coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 1986, **7**: 527-537
- 9 BOURGUIGNON MH, BUSEMAN SE, JONES B, VAN DER WAU E. Protocols for selection of cardiac radionuclide studies for use as a data base of normal studies and typical patterns of diseases. *Eur J Nucl Med* 1993, **20**: 59-65
- 10 MARTIN WH, DELBEKE D, PATTON JA, HENDRIX B, WEINFELD Z, OHANA I, KESSUR RM, SANDLER MP. FDG-SPECT: correlation with FDG-SPECT. *J Nucl Med* 1995, **36**: 988-995

11 FAGRET D, MARIE PY, BRUNOTTE F. GIGANTI M, LE GULUDEC D, BERTRAND A, WOLF JE. PIFFANELLI A, CHOSSAT F. BEKHECHI D, PASQUALINI R. MACHECOURT J. COMET M. Myocardial perfusion imaging with technetium -99m.Tc NOET: comparison with thallium-201 and coronary angiography. *J Nucl Med* 1995, **36**: 936-943

12 SHI CQX, SINUSAS AJ, DIONE DP, SINGER MJ, YOUNG MJ, HELLER EN, RINKER BD, WACKERS FJT ZARET BL Technetium-99m-itrizimidazole (BMS181321): a positive imaging agent for detecting myocardial ischemia *J Nucl Med* 1995, **36**: 1078-1086

13 GOULD KL GOLDSTEIN RA, MULLANI NA. Economic analysis of clinical positron emission tomography of the heart with rubidium-82. *J Nucl Med* 1989, **30**: 707-717

14 SISSON JC, WIELAND DM, SHERMAN P. MAGNER TJ, TOBES MC, JACQUES S. Metaiodobenzylguanidine as an index of the adrenergic nervous system integrity and function. *J Nucl Med* 1987, **28**: 1620-1624

6

IRM des valvulopathies

Rappel des questions cliniques

Le bilan des valvulopathies comporte

- leur diagnostic positif;
- l'explication de leur(s) mécanisme(s);
- leur quantification;
- et la mesure de leurs conséquences sur les cavités cardiaques (dilatation, hypertrophie, fonction) et sur l'hémodynamique viscérale notamment pulmonaire.

Ce bilan doit pouvoir être répété pour suivre l'évolution de la maladie, et donc comporter le maximum d'informations obtenues de manière non invasive.

Principales techniques d'IRM

SPIN-ÉCHO

Cette séquence d'acquisition est la plus ancienne et nécessite une accumulation importante de séquences d'imagerie. Les parois cavitaires sont bien étudiées; le sang dans les cavités est noir sauf en cas d'important ralentissement du flux. La lenteur d'acquisition des images conduit à une très mauvaise visualisation des valves.

La technique permet de recueillir des mesures précises des volumes ventriculaires et de leurs dérivés (voir fonction ventriculaire).

CINE-IRM OBTENUE PAR ÉCHO DE GRADIENT (GRE-IRM)

Cette technique permet d'enregistrer sur une coupe de n'importe quel plan de l'espace une série d'images (16 habituellement) au cours du cycle cardiaque. Avec cette technique, les cavités apparaissent « blanches ». Les flux turbulents générés par les régurgitations et les sténoses serrées entraînent l'apparition d'un vide de signal.

Cette technique, du fait de sa bonne résolution temporelle, permet aussi une bonne approche de la fonction ventriculaire.

VEC IRM (VELOCITY ENCODED CINE-IRM)

Un codage en vitesse du signal RM fut proposé dès 1982 par Moran [3]. Des reconstructions à partir des données permettent d'obtenir des images de phase et d'amplitude (ces dernières pouvant fournir des informations de type anatomique [1]). Sur une image choisie par l'opérateur dans n'importe quel plan de l'espace, les données peuvent être obtenues dans chaque pixel, ou dans une zone d'intérêt (section artérielle par exemple) La technique permettant la mesure sur une même section vasculaire de la surface et de la vitesse moyenne permet de calculer le flux instantané de cet orifice. L'intégration de ces flux instantanés conduit au calcul du flux de cet orifice au cours du cycle cardiaque. Ces mesures ont fait l'objet de validations expérimentales et cliniques.

ECHO PLANAR

Cette technique [2], permet d'obtenir une coupe avec une seule excitation en moins de 50ms. Il est donc possible d'obtenir des images en année supprimant ainsi certains artefacts et difficultés générés par les mouvements respiratoires. Cette technique a permis récemment la visualisation dynamique, sur des images successives, des valves auriculoventriculaires Il est aussi possible, avec cette technique, d'obtenir des cartographies de vitesse-haute résolution.

Sténoses valvulaires

Le diagnostic positif et de sévérité des sténoses valvulaires peut être approché par la planimétrie de l'orifice (écho), la mesure des gradients de pression (Doppler, hémodynamique) et le calcul de surface (hémodynamique, écho-Doppler).

PLANIMETRIE

La planimétrie (spin écho) des orifices n'est actuellement pas satisfaisante en IRM, du fait de la difficulté à choisir le moment idéal du cycle cardiaque où les valves seraient visibles et l'orifice de taille minimale, et de l'épaisseur des coupes rarement de bonne qualité lorsque inférieures à 5 mm d'épaisseur. Si ces deux difficultés étaient résolues, l'IRM aurait pour elle la possibilité de réaliser des coupes exactement dans le plan de l'orifice mesuré.

CINE-IRM

La cine-IRM en écho de gradient permet le diagnostic positif de sténose aortique (valve, coarctation...) et de sténose mitrale par la visualisation d'un vide de signal en aval de la sténose, vide de signal induit par la turbulence et accessoirement par l'accélération du flux au travers de l'orifice sténosé. L'extension du vide de signal a été retenu par certains comme un critère de quantification de la sévérité du rétrécissement valvulaire (notamment aortique), mais les séries publiées sont courtes et contradictoires.

LA VEC-MRI

La VEC-MRI semble permettre des avancées significatives. Le principe reprend le concept validé en écho-Doppler cardiaque, à savoir le calcul de gradient à partir des vitesses en utilisant l'équation de Bernoulli simplifiée ($G = 4V \cdot V$). Certains développements de cette technique permettraient de contourner le problème de la perte de signal liée à la turbulence, notamment la *MRI jet velocity mapping with field even echo rephasing* = (FEER) décrite par Kilner. Notons que des discussions persistent entre les auteurs pour savoir s'il est préférable de travailler sur des plans perpendiculaires ou parallèles au flux étudié. Des validations ont été faites sur bancs hydrauliques et sur de courtes séries de patients atteints de rétrécissement aortiques, montrant que la mesure était exacte pour des vitesses inférieures à 7m/s [4]. Des examens VEC IRM ont été réalisés au niveau de l'orifice mitral de sujets normaux et de sujets atteints de rétrécissements mitraux. La courbe de remplissage biphasique, bien connue en Doppler, est retrouvée à l'aide de cette technique. L'évaluation des rétrécissements mitraux reste encore à valider

Régurgitations valvulaires

EN SPIN-ÉCHO

En spin-écho, aucune anomalie ne traduit la présence d'une régurgitation valvulaire. La surface orificielle ne peut être mesurée. Les seules informations accessibles concernent les répercussions sur les volumes et masses des chambres concernées.

EN CINE-IRM

En cine-IRM (écho de gradient), le vide de signal dans la chambre d'amont est la clé du diagnostic positif et la base des essais de quantification. Cette zone de vide de signal doit être recherchée en incidence frontale pour l'insuffisance aortique et en incidence 4 cavités transverses pour les régurgitations auriculoventriculaires. Le diagnostic positif est porté dans plus de 95 % des cas d'insuffisances mitrales, aortiques et tricuspidiennes, sans réel problème de spécificité. La quantification est faite en comparant l'extension spatiale (sur des plans choisis) ou volumétrique (après reconstruction 3 D) par rapport à la surface (ou au volume) de la chambre d'amont. La reproductibilité de cette technique (intra- et inter-observateur) semble être satisfaisante (supérieure à celle de l'angiographie ?). Les corrélations avec l'angiographie et avec l'écho-Doppler TT+TO avoisinent les 95 %. Rappelons qu'en cas de régurgitation unique, l'IRM permettant la mesure simultanée des volumes ventriculaires droits et gauches, il est alors facile (et validé) de calculer la fraction de régurgitation. Des difficultés existent cependant pour quantifier l'insuffisance aortique par cette méthode en cas de rétrécissement mitral ou d'insuffisance mitrale importante associés, ces 2 valvulopathies générant un vide de signal intraventriculaire gauche parasitant celui de l'IA. Mentionnons enfin des tentatives récentes de quantification des régurgitations par la taille et la persistance de la zone de convergence en amont de l'orifice régurgitant.

EN VEC IRM

En VEC IRM les travaux sont encore préliminaires. Le principe est de comparer soit les volumes d'éjection systoliques aortique et pulmonaire (moyens sur 128 à 256 battements), synchrones, soit le volume d'éjection systolique aortique au volume de remplissage ventriculaire gauche. La méthode, évaluée sur de courtes séries, paraît être performante, reproductible en cas de régurgitations uniques, et bien corrélée aux techniques de référence.

Quelques points particuliers

PROTHÈSES VALVUEAIRES [5]

Les prothèses valvulaires cardiaques ne sont pas une contre-indication à l'IRM. En effet, des travaux expérimentaux et cliniques ont levé les craintes initiales motivées par la présence de dérivés ferro-magnétiques dans certaines anciennes prothèses. Par contre, ces prothèses induisent l'apparition d'artéfact d'imagerie en IRM altérant l'analyse de la prothèse par cette technique. Ces artéfacts ne gênent pas la recherche de fuites physiologiques ou pathologiques à leur niveau par cine-IRM. Il ne semble, par contre, pas y avoir dans la littérature de travaux sur la mesure des gradients sur prothèse en VEC-IRM.

ABCÈS ET FAUX ANÉVRYSMES AU COURS DE L'ENDOCARDITE INFECTIEUSE

Le diagnostic et l'évaluation anatomique des abcès au cours de l'endocardite infectieuse restent difficiles même en ETO. Des observations ponctuelles ont permis de souligner l'apport possible de l'IRM dans cette pathologie, mais une grande série comparative avec l'ETO et la chirurgie reste à faire

FONCTION VENTRICUEAIRE

Les développements de l'IRM permettent une approche satisfaisante des mesures de volumes, fractions d'éjection globales et segmentaires, de masse myocardique, de « stress » myocardique, voire de remplissage ventriculaire gauche (fonction diastolique). Toutes ces possibilités peuvent, bien sûr, être utilisées au cours des valvulopathies.

EXAMEN DES CORONAIRES (CF RAPPORT SPÉCIFIQUE)

Cet examen est souvent nécessaire au cours du bilan préopératoire des valvulopathies. L'IRM ne paraît pas être capable de se substituer dans un avenir prévisible à la coronarographie pour réaliser ce bilan.

Conclusion

Dans l'état actuel de développement de l'IRM, cette technique ne peut être envisagée comme examen de substitution par rapport à l'écho-Doppler. En effet, l'IRM ne visualise que rarement les valves, ne permet pas de préciser l'étiologie ni le mécanisme précis de la dysfonction valvulaire. Elle peut être utilisée pour confirmer la gravité des régurgitations valvulaires lorsque l'examen ultrasonore transthoracique n'est pas satisfaisant. Elle apporte des informations intéressantes sur la fonction ventriculaire gauche, et pour l'étude des abcès paravalvulaires. Malgré ses importants développements à venir, il serait étonnant qu'elle remplace les investigations ultrasonores dans cette indication au cours de la décennie à venir.

RÉFÉRENCES

- 1 GLOBITZ S, HIGGINS CB. Assessment of valvular heart disease by magnetic resonance imaging. *Am Heart J* 1995, **129**: 369-81
- 2 MANSFIELD P. Multiplanar image formation using NMR spin echoes. *J Phys C* 1977, **10**: L55-8
- 3 MORAN PR. A flow velocity zeugmatographic interface for NMR imaging in humans. *Magn Reson Imaging* 1982, **1**: 197-203
- 4 MOTSBECK GH, CAPUTO GR, MADLUMDDAR S, DULCE M, SHIMAKAWA A, HIGGINS CB. Assessment of valvular stenoses with MR jet phase velocity mapping at 1.5 T: in vitro validation (abstract). *Radiology* 1991, **181**: 264
- 5 SOULEN RE, BUDINGER TH, HIGGINS CB. Magnetic resonance imaging of prosthetic heart valves. *Radiology* 1985, **154**: 705-707

Explorations des cardiopathies congénitales anté-natales

Introduction

Dans ce domaine extrêmement vaste, il est nécessaire de dégager, d'une part, l'état actuel de l'investigation des cardiopathies congénitales du fœtus et leurs limites diagnostiques et, d'autre part, les perspectives que peuvent apporter des technologies nouvelles.

Compte tenu de la spécificité de l'anatomie et l'hémodynamique fœtale, le sujet ne peut être abordé qu'en dégageant les grandes lignes de chacun des thèmes abordés.

État actuel de la question

L'incidence de survenue des cardiopathies congénitales (CC) est de 8 naissances pour 1 000. Cette incidence est multipliée par 5 en cas de diabète maternel. Si un des parents est atteint ou la fratrie, la survenue d'une cardiopathie congénitale est de 3 à 5 %, atteignant 12 % dans les malformations du cœur gauche, 90 % dans les trisomies 13, et entre 1,5 et 8,7 % dans le canal atrioventriculaire.

Les objectifs dans ce domaine spécifique de la cardiologie sont . d'éliminer une cardiopathie complexe en cas d'antécédent;

- de préparer la prise en charge postnatale immédiate d'une cardiopathie curable;
- de proposer une interruption médicale de grossesse en cas de cardiopathie sans recours thérapeutique;
- de mettre en évidence une anomalie chromosomique en cas de mise en évidence d'une cardiopathie;
- de contribuer au pronostic d'un syndrome polymalformatif.

Investigation cardiovasculaire anté-natale: stratégie clinique

Un seul centre à l'Assistance publique réalise ce type d'investigation, l'hôpital Robert-Debré, dans le cadre du département de périnatalogie.

SPÉCIFICITÉ DE LA PHYSIOLOGIE CARDIOVASCULAIRE FOETALE

Elle n'est qu'un des constituants de l'unité materno-fœto-placentaire.

Il existe des shunts intra-cardiaques droit-gauche au niveau du foramen ovale et du canal artériel, de sorte que les ventricules fonctionnent en parallèle. Les résistances pulmonaires sont élevées et les résistances placentaires basses. Ces données physiologiques interviennent dans la physiopathologie du diagnostic anté-natal des cardiopathies congénitales [1].

Elle est entièrement dépendante de l'expérience du cardiologue pédiatre qui pratique l'examen. Il n'y a aucun moyen de contrôle in utero, c'est une méthode d'investigation qui est entièrement opérateur-dépendante.

Les patientes sont adressées en deuxième ou troisième intention dans tous les centres de référence. Le centre de l'hôpital Robert-Debré pratique 840 à 900 examens par an.

Les indications sont multiples de 16 semaines à 39 semaines, et varient selon les centres européens ou américains [2-3] avec cependant un consensus pour:

- antécédent maternel ou familial de CC;
- pathologie maternelle, diabète et maladie du collagène; troubles du rythme fœtal;
- thérapeutiques maternelles à risque tératogène; malformation morphologique ou génétique extra-cardiaque; dépistage par l'examen morphologique fœtal obstétrical de routine.

Cette dernière indication constitue dans l'ensemble des publications et dans notre expérience la principale indication [1].

La durée de chaque examen peut varier entre 40 minutes et 4 à 5 heures en fonction de la position fœtale, de l'épaisseur pariétale maternelle, de l'âge gestationnel [2]. L'âge gestationnel optimal se situe entre 16 et 32 semaines [2].

Le diagnostic anténatal des cardiopathies ne peut être réalisé que dans le cadre d'un département de périnatalogie comportant la collaboration du département obstétrical, de cardiologie prénatale et postnatale, de fœtopathologie, de génétique, de biologie moléculaire.

DIFFÉRENCE ENTRE L'EXAMEN CARDIAQUE PRENATAL ET POSTNATAL

- La nécessité de situer la position du cœur fœtal en étudiant la position céphalique, siège, transverse du fœtus, droite et gauche du fœtus, repères par rapport aux organes abdominaux (foie, estomac);
- l'existence d'un foramen ovale perméable qui shunte droite-gauche;

- la disproportion physiologique entre le ventricule droit et gauche avec un rapport 1,8/1;
- la disproportion entre l'artère pulmonaire et l'aorte avec un rapport 1,2/1;
- l'insertion des valves auriculo-ventriculaires insertion plus proche de l'apex de la tricuspide;
- le canal artériel perméable avec un shunt droit-gauche en continuité avec l'artère pulmonaire;
- l'isthme aortique physiologiquement étroit;
- les flux de remplissage mitral et tricuspide différents du fait de la prédominance de l'onde A par rapport à l'onde E.

La nécessité d'établir des normes quantitatives pour les diamètres et les flux intracardiaques en fonction de l'âge gestationnel [41.]

TYPES DE CARDIOPATHIES DÉTECTABLES IN UTERO

La difficulté du diagnostic anté-natal repose sur les contraintes techniques qui seront traitées dans le chapitre « Perspectives et contraintes techniques » (p. 250-251).

SHUNTS INTRACARDIAQUES [3-5-7]

isolés communications interventriculaires périmembraneuses ou musculaires, elles peuvent ne pas être détectées. Par contre, si elles se situent au niveau du septum d'admission, elles sont détectées et nécessitent un caryotype; associés à une cardiopathie complexe, elles sont mises en évidence; les communications interauriculaires en position d'ostium secundum sont difficiles à détecter du fait du foramen ovale physiologique

Sténoses et atrésies des valves auriculo ventriculaires et sigmoïdes

- elles peuvent survenir dans le cadre de cardiopathies complexes (hypoplasie du cœur gauche et droit, atrésie pulmonaire, atrésie tricuspide);
- mais aussi, dans le cadre de cardiopathies ductodépendantes, telles que les sténoses aortiques orificielles ou les syndromes de coarctation qui bénéficient d'une prise en charge à la naissance;
- la maladie d'Ebstein souvent associée à une atrésie pulmonaire fonctionnelle ou organique.

Malformations conotruncales (transposition des gros vaisseaux, tétralogie de Fallot, ventricule droit *d* double issue, tronc artériel commun) Les tétralogies de Fallot et les transpositions des gros vaisseaux bénéficient d'une prise en charge à la naissance.

Cardiopathies complexes (ventricule unique, doubles discordances ..) Les coarctations isolées avec hypoplasie tubulaire de la crosse sont difficiles à diagnostiquer [181].

L'étude réalisée par Smyth et coll. [7] porte sur 171 cardiopathies détectées sur une population de 3 016 fœtus.

Le devenir des 171 cardiopathies complexes: 45 % furent interrompues souvent associées à d'autres malformations, 78 sont nés, soit un taux de survie de 38 %. Ce qui caractérise le diagnostic anténatal des cardiopathies complexes:

- la sévérité et la complexité de la malformation détectée;
- l'association fréquente d'anomalies chromosomiques ou d'autres malformations [9-10];
- leur potentiel évolutif in utero [8];
- leur retentissement sur les organes adjacents, tels que les poumons à risque d'hypoplasie pulmonaire en cas de cardiomégalie.

Néanmoins, la détection de certaines cardiopathies anté-natales, tels que les obstacles du cœur gauche et droit ou la transposition des gros vaisseaux constitue une importante contribution à la prise en charge post-natale des cardiopathies complexes.

Contraintes techniques

L'investigation cardiovasculaire fœtale repose sur l'échocardiographie-Doppler. Aucune autre méthode n'est utilisable pour l'imagerie, ni pour l'étude des flux (en particulier, la résonance magnétique nucléaire) [11]

L'examen du cœur fœtal doit associer l'imagerie bidimensionnelle, le mode transmission, le Doppler pulsé et la cartographie Doppler couleur:

- des cadences images élevées du fait de la fréquence cardiaque fœtale physiologique entre 140 et 160 battements/minute;
- des équipements *phased array* avec des cadences images élevées et l'utilisation de capteurs de fréquence élevée pour obtenir les résolutions axiales et latérales optimales. Les sondes électroniques actuelles permettent de contrôler le front d'ondes en résolution axiale et latérale [12];
- une mémoire digitale qui permette une magnification de l'image avec reconstruction de l'image sans dégradation.

Actuellement, la résolution latérale et axiale ne sont pas optimales à des profondeurs dépassant 12 à 15 mm.

L'énergie délivrée ne doit pas dépasser 100 mW/cm² (*spatial peak temporal average*) imposée à tous les équipements par la FDA (*Food and drug administration*). L'imagerie tridimensionnelle est une perspective future qui nécessitera:

une finesse de la coupe tomographique, soit une résolution perpendiculaire optimale qui ne peut être obtenue du fait de la configuration actuelle des capteurs électroniques mais peut être résolue par les sondes matricielles dans le futur;

- une cadence images très rapide pour permettre une séquence d'acquisition de coupes fines;
- des fichiers images pour obtenir une reconstruction pertinente avec des algorithmes de reconstruction spécifique aux impératifs de l'examen fœtal.

Autres applications et perspectives cliniques

Les objectifs énumérés dans le chapitre 1 sont actuellement accomplis par les centres de référence de cardiologie prénatale dans le cadre de département de périnatalogie.

AUTRES APPLICATIONS

- L'investigation cardiovasculaire fœtale dans des pathologies hémodynamiques obstétricales fonctionnelles, telles que les retards de croissance intra-utérins, l'atteinte myocardique du diabète, les grossesses gémellaires avec syndrome transfuseur-transfusé, les hernies diaphragmatiques;
- les troubles du rythme fœtaux traités par voie transplacentaire ou par le cordon fœtal ont constitué la première application de la thérapeutique fœtale cardiovasculaire [131].

PERSPECTIVES

- La chirurgie interventionnelle in utero: des tentatives sont réalisées pour les sténoses aortiques orificielles. Elles demeurent à un stade non applicable à la clinique en l'état actuel;
- L'investigation cardiovasculaire fœtale s'étend du diagnostic des cardiopathies congénitales aux anomalies fonctionnelles (pathologie des shunts). Du fait de la spécificité de la circulation fœtale, l'investigation des cardiopathies congénitales doit comporter l'ensemble de l'exploration de la circulation du fœtus.

RÉFÉRENCES

- [1] URSELL PC, BYRNE JM, FEARS TR, STROBONO BA, GERSONY WM. Growth of the great vessels in the normal human fetus and in the fetus with cardiac effects. *Circulation* 1991, 84: 2028-33
- [2] DE VORE GR. The prenatal diagnosis of congenital heart disease: a practical approach for the fetal sonographer. *J Clin Ultrasound* 1985, 13: 229-245
- [3] ALLAN LD, CRAWFORD DC, ANDERSON RH, TYNAN M1. Spectrum of congenital heart disease detected echocardiographically in prenatal life. *Br Heart J* 1985, 54: 523-526
- [4] TAN J, SILVERMAN NH, HOFFMAN JIE, VILLEGAS M, SCHMIDT KG: Cardiac dimensions determined by cross sectional echocardiography in the normal human fetus from 18 weeks to term. *Am J Cardiol* 1992, 70: 1460-7

- [5] KLEINMAN CS, HOBBS JC, JAFFE CC, LYNCH DC, TALNER NS. Echocardiographic studies of the human fetus: prenatal diagnosis of congenital heart disease and cardiac dysrhythmias. *Pediatrics* 1980, 65: 1059-1067
- [6] SHARLAND GK, LOCHART SM, CHITA SK, ALLAN LD. Factors influencing the outcome of congenital heart disease detected prenatally. *Arch Dis Child* 1991, 66: 284-287
- [7] SMYTH JF, COPEL JA, KLEINMAN CS. Outcome of prenatally detected cardiac malformations. *Am J Cardiol* 1992, 69: 1471-1474
- [8] HORNBERGER LK, SAHN D, KLEINMAN CS, COPEL J, SILVERMAN N. Antenatal diagnosis of coarctation of the aorta: a multicenter experience. *J Am Coll Cardiol* 1994, 23: 417-423
- [9] COPEL JA, PILU G, KLEINMAN CS. Congenital heart disease and extracardiac anomalies: association and indications for fetal echocardiography. *Am J Obstet Gynecol* 1986, 154: 118-132
- [10] COPEL JA, CULLEN M., GREEN et coll. The frequency of aneuploidy in prenatally diagnosed congenital heart disease: an indication for fetal karyotyping. *Am J Obstet Gynecol* 1988, 158: 409-413
- [11] GARDEN AS, WEINDLING AM., GRIFFITHS RD, MARTIN PA. Fastscan magnetic resonance imaging of fetal anomalies. *Brit J Obstet Gynaecol* 1991, 98: 1217-1222
- [12] SAHN DJ. Resolution and display requirements for ultrasound doppler/evaluation of the heart in children, infants, and the unborn human fetus. *J Am Coll Cardiol* 1985, 5: 12S
- [13] AZANCOT-BENISTY A, JACQZ-AIGRAIN E, GUIRGUIS M, OURY JF, BLOT P. Clinical and pharmacologic study of fetal supraventricular tachyarrhythmias. *J Pediatr* 1992, 121: 608-613

8

Cardiopathies congénitales

Place des techniques non invasives par rapport au cathétérisme

- Actuellement un nombre important de cardiopathies congénitales, à l'exclusion des anomalies coronaires, sont diagnostiquées sans l'aide du cathétérisme cardiaque (1-2).
- Le cathétérisme cardiaque diagnostique est utilisé pour compléter les données de l'écho-Doppler ou de l'IRM (1-2).
- Avant l'intervention chirurgicale, le cathétérisme cardiaque n'est plus obligatoire comme le montre une étude récente (3) portant sur 465 cardiopathies congénitales opérées: 40,6 % des interventions n'ont pas été précédées de cathétérisme. Le recours au cathétérisme est plus fréquent dans les chirurgies à cœur ouvert (76 %) que dans celles à cœur fermé (26,7 %)
- La place du cathétérisme diagnostique doit devenir de plus en plus limitée compte tenu de l'amélioration de la qualité de l'imagerie non invasive (1-2) La place du cathétérisme interventionnel est amenée à se développer

Caractéristiques générales de l'écho-Doppler et de l'IRM incluant performance et limites

ÉCHO-DOPPLER

Performance

- Étude morphologique bi-plan particulièrement performante pour l'étude des connections intra-cardiaques (appareil valvulaire et sous-valvulaire);
- Étude de la fonction ventricule gauche (VG) en mode transmission;
- Étude des pressions grâce au couplage avec le Doppler pulsé ou continu;
- Évaluation des shunts avec le Doppler couleur;
- Méthode répétitive, peu coûteuse, réalisable en urgence, quel que soit l'âge du patient.

Limites

Technique opérateur-dépendant

IRM

Performance

- étude morphologique multi-plans reproductible excellente;
- étude de la fonction valvulaire et ventriculaire bonne;
- étude des shunts: moyenne (évaluation, recherche);
- étude des pressions: mauvaise (recherche).

Limites

- immobilité nécessaire en cours d'acquisition pour la bonne qualité des images. Le développement des séquences ultrarapides (temps réel) doit remédier à cette limite;
- durée de l'examen: 20 à 30 minutes pour l'acquisition, et 20 à 30 minutes pour le traitement et l'interprétation (la réduction de moitié de chacune de ces phases est prévisible);
- utilisation en urgence de l'appareil peu réalisable (système multi-utilisateurs non disponible la nuit et les jours fériés);
- coût 8 à 10 fois supérieur à l'échographie pour l'achat de l'appareil et le prix de l'examen;
- diffusion des appareils rapport de 1 à 20 entre IRM et échographie (?)

Classification des cardiopathies congénitales adoptée pour l'évaluation des différentes techniques d'imagerie

- Les communications anormales intracardiaques et le canal artériel (CIA, communication interauriculaire; CIV, communication interventriculaire; canal AV, auriculoventriculaire; canal artériel)
- Les obstacles à l'éjection du VD et du VG (ventricule droit et gauche) (sténose pulmonaire et aortique, sténose intraventriculaire droite et gauche)
- Les malformations des connections vasculaires du cœur (coarctation et anomalies des arcs aortiques, RVPA, retour veineux systémique anormal, sténose des branches pulmonaires)
- Les malformations conotruncales et discordances ventriculo-artérielles (tétralogie de Fallot, tronc artériel commun, VDDI, transposition des gros vaisseaux)
- Les cardiopathies complexes (anomalies du situs, association des diverses cardiopathies précédentes, discordance auriculo-ventriculaire et ventricule unique, atrésie tricuspide) Les anomalies des artères coronaires

Évaluation de l'IRM comparée à l'échographie et stratégie d'imagerie dans chacune des diverses catégories de la classification

COMMUNICATIONS ANORMALES INTRACARDIAQUES ET CANAL ARTERIEL

- L'IRM: évaluation morphologique excellente, par contre l'évaluation du shunt effectuée en recherche est encore approximative et l'évaluation des pressions pulmonaires n'est pas disponible.
- L'écho-Doppler: performance excellente, étude morphologique, évaluation des shunts et calcul des pressions pulmonaires.
- Conclusion: pour les communications anormales où le volume du shunt et l'étude des pressions est fondamentale dans la décision thérapeutique, la stratégie diagnostique comporte: (1) écho-Doppler, (2) cathétérisme, (3) et surtout l'IRM.

OBSTACLES À L'ÉJECTION DU VENTRICULE DROIT ET DU VENTRICULE GAUCHE

- L'IRM: visualise mal la morphologie et le jeu des valves fines, mesure avec difficultés l'importance des gradients car il y a nécessité d'être dans le plan du jet pour une évaluation correcte qui est encore du domaine de la recherche Intérêt majeur par contre dans les sténoses sus-valvulaires aortiques ou pulmonaires permettant une analyse morphologique d'excellente qualité.
- L'écho-Doppler: étude morphologique, calcul des gradients, contrôle post-interventionnel dans les sténoses valvulaires.
- Conclusion: Stratégie diagnostique avec (1) écho-Doppler, (2) cathétérisme, (3) IRM.

MALFORMATIONS DES CONNECTIONS VASCULAIRES DU CŒUR

- L'IRM: l'évaluation anatomique des anomalies est primordiale et nécessite une exploration thoracique complète multiplane. Dans ce domaine, l'IRM est particulièrement performante notamment pour l'aorte, l'artère pulmonaire et les veines pulmonaires. La coarctation de l'aorte est l'une des seules malformations de cette catégorie nécessitant la connaissance d'une donnée fonctionnelle. Cependant l'appréciation est assurée aisément car il s'agit d'un conduit en général droit. L'évaluation postopératoire des corrections réalisées est bien assurée par l'IRM.
- L'écho-Doppler: limité dans l'évaluation des vaisseaux intra-thoraciques.
- Conclusion: la stratégie diagnostique est la suivante: (1) IRM, (2) cathétérisme, (3) et surtout l'écho-Doppler.

MALFORMATIONS CONOTRONCALES ET DISCORDANCES VENTRICULO-ARTÉRIELLES

- L'IRM: permet une appréciation morphologique de qualité plus précise que le cathétérisme et l'écho-Doppler car l'étude est tridimensionnelle. L'IRM permet une excellente évaluation postopératoire. Limitation de l'IRM pour l'étude des lésions valvulaires, des shunts et des pressions.

- Écho-Doppler performance excellente avec limite pour évaluation des branches intra-pulmonaires, des anomalies coronaires et des CIV multiples.
- Cathétérisme: pressions, évaluation des shunts multiples, des branches artérielles intrapulmonaires, des CIV multiples, des anomalies coronaires.
- Conclusion: la stratégie diagnostique comporte (1) écho-Doppler, (2) cathétérisme, (3) IRM.

CARDIOPATHIES COMPLEXES

Aucune technique ne permet en général une évaluation satisfaisante, qu'elle soit invasive ou non Chacune d'elle complète les autres [4]. En pratique, l'évaluation correcte et complète des cardiopathies nécessite l'association des trois techniques: écho-Doppler, IRM et cathétérisme [1]

ANOMALES DES ARTÈRES CORONAIRES

- IRM la détermination de l'origine des artères coronaires est possible en IRM, Par contre, les trajets anormaux ne peuvent être précisés en dehors des gros troncs situés dans les sillons interventriculaires ou interauriculo-ventriculaires.
- L'écho-Doppler visualise l'origine des artères coronaires.
- Conclusion l'angiocardographie en cours de cathétérisme est à quelques exceptions près la seule technique actuellement fiable pour évaluer ces anomalies. La stratégie diagnostique comporte (1) le cathétérisme.

Dépistage anté-natal des cardiopathies congénitales

- l'IRM n'est pas une technique adaptée pour cet examen de dépistage compte tenu des caractéristiques générales précédemment exposées. Elle a une place anecdotique;
- l'écho-Doppler (ce point a déjà été traité dans le rapport précédent, chapitre 7 p.241).

Surveillance postopératoire des cardiopathies congénitales

- IRM examen facile à réaliser, non opérateur-dépendant, parfaitement reproductible pour suivre l'évolution d'une cardiopathie opérée.

Conclusion

L'écho-Doppler garde une place prépondérante dans l'évaluation des cardiopathies congénitales compte tenu de sa performance globale (anatomie, fonction, shunt, pression), de sa diffusion, de sa facilité de mise en œuvre, et de son coût modique.

- L'IRM actuellement sous-utilisée devrait conforter sa position, aux dépens du cathétérisme, grâce à une amélioration de ses performances techniques: acquisition de séquences en temps réel, imagerie de phase, angiographie par résonance magnétique-tridimensionnelle (ARM-3D).
- La place du cathétérisme diagnostique devrait se réduire à l'étude des anomalies coronaires et des cardiopathies congénitales complexes. Par contre, le cathétérisme interventionnel est amené à se développer et pourrait atteindre 30 % de l'ensemble des cathétérismes réalisés avec un équipement radiologique monoplan.

RÉFÉRENCES

- [1] CROCHET D et coll. Évaluation comparée de l'IRM, de l'échocardiographie et du cathétérisme pour le diagnostic des cardiopathies congénitales. Arch Mal Cœur 1990, 83: 681-6
- [2] HIRSCH R et coll Diagnosis in adolescents and adulte with congénital heart disease. Circulation 1994, 90: 2937 2951
- [3] DAVIS JT et coll. Use of cardiac catheterization in pediatric cardiac surgical décisions. Thorac Cardiovasc Surgeon 1994, 42: 148-151
- [4] KERSTING-SOMMERHOFF BA et coll. Evaluation of complex congénital ventricular anomalies with magnetic resonance imaging. Am Heart J 1990, 120: 133

9

Etude du péricarde

Classification

- Les péricardites aiguës liquidiennes ont une fréquence de 2 à 6 % dans les séries autopsiques. Par contre, elles sont responsables d'un millième des hospitalisations ce qui laisse penser qu'un grand nombre de ces épanchements liquidiens peuvent être asymptomatiques.
- Les péricardites chroniques constrictives calcifiées rares (tuberculose, post-chirurgie).

Performance des différentes techniques d'examen

	IRM	Scanner	Échographie
Épanchement	+++	++	+++
Tumeur	+++	+++	+
Localisation	+++	++	+
Épaississement	++	+++	+
Calcifications	0	+++	+
Constriction	++	0	++

+++ : excellente ; ++ : bonne ; + : médiocre ; 0 : mauvaise

Apport spécifique de l'IRM ou du scanner

- Reconnaissance des calcifications péricardiques par le scanner [1]
- Précision dans la localisation de l'épaississement péricardique ou les épanchements cloisonnés par l'IRM et le scanner [2, 4].
- Différenciation des myocardiopathies restrictives et reconnaissance de l'atrophie myocardique par l'IRM [2, 3].

Stratégie diagnostique

PÉRICARDITE AIGUË LIQUIDIENNE

L'échographie en raison de la disponibilité de l'appareil et l'IRM en deuxième intention s'il existe un épanchement cloisonné en quantité limitée ou une localisation apicale.

PÉRICARDITE CONSTRICTIVE

C'est un diagnostic difficile où l'échographie est pratiquée en examen de débrouillage mais se révèle insuffisant pour le bilan pré-opératoire. Le cathétérisme garde sa place pour faire le diagnostic de constriction. Le scanner associé ou non à l'IRM sont déterminants pour localiser les lésions et renseigner le chirurgien sur la difficulté du geste opératoire.

Conclusion

L'échographie est plus souvent utilisée que l'IRM et le scanner pour l'étude du péricarde compte tenu de la fréquence plus grande des épanchements liquidiens et de leur recherche systématique après chirurgie cardiaque.

RÉFÉRENCES

- 1 MULVALGH et coll Usefulness of nuclear magnetic resonance imaging for evaluation of pericardial effusions, and comparison with two dimensional echocardiography. *Am J Cardiol* 1989, **64**: 1002-9
- 2 REINMULLER R et coll, CT and MR évaluation of pericardial constriction a new diagnostic and therapeutic concept. *J Thorac Imaging* 1993, **8**: 108-121
- 3 MASUI et coll. Constrictive pericarditis and restrictive cardiomyopathy: évaluation with MR imaging. *Radiology* 1992, **182**: 369-373
- 4 AMBROSI P et coll. Intérêt de l'imagerie par résonance magnétique dans deux cas de constriction annulaire des ventricules. *Arch Mal Cœur* 1991, **84**: 243-7
- 5 HAMMERSMITH SM et coll. Cardiac calcifications: difficult MRI diagnosis. *Magn Res Imaging* 1991, **9**: 195-200

10

Masses cardiaques: tumeurs et thrombus

Données épidémiologiques - Fréquence

Les tumeurs primitives constituent moins de 0,5 % des cardiopathies rencontrées dans les séries autopsiques. Les tumeurs secondaires sont 20 à 40 fois plus fréquentes que les tumeurs primitives.

La rareté de cette pathologie limite les séries utilisables et explique la difficulté à trouver des publications comparant les diverses méthodes diagnostiques.

Performance des différentes techniques d'examen

	ETT*	ETO*	IRM	Scanner
Topographie auriculaire	++	+++	++	+++
Topographie ventriculaire	++	++	+++	+++
Péricarde	+	+	+++	+++
Extension	0	+	+++	+++
Nature	+	+	++	++
Disponibilité appareil	+++	+++	+	+++
Urgence	+++	+++	0	++

ETT : Echo-Doppler trans-thoracique ; ETO : écho-Doppler trans-œsophagienne ; +++ : excellente ; ++ : bonne ; + : médiocre ; 0 : mauvaise

Apport spécifique de l'IRM

- L'hypersignal donné par les masses lipomateuses (en scanner la graisse donne une densité spécifique < 0).
- L'imagerie T2 pour différencier les thrombi, des tumeurs.

- Le gadolinium pour les tumeurs enchâssées dans le myocarde permettant de faire la différence avec les myocardiopathies hypertrophiques en accentuant le contraste entre tumeur et myocarde normal environnant

Stratégie diagnostique

- Les tumeurs cardiaques primitives, en général, donne des symptômes cardiaques qui entraînent ETT et ETO à compléter par IRM en cas de difficulté diagnostique.
- Les tumeurs cardiaques secondaires sont le plus souvent découvertes lors du bilan d'extension d'une tumeur primitive par scanner ou IRM. Le cancer primitif est le plus fréquemment de localisation bronchique, sein, mélanome ou lymphome. Un complément d'investigation, si nécessaire, pourra être effectué par échographie dans les rares indications opératoires car une tumeur métastatique correspond en général à un cancer évolué

Conclusion

Le scanner et l'IRM sont plus souvent utilisés que l'échographie pour faire le diagnostic des tumeurs cardiaques compte tenu de la fréquence nettement plus élevée des tumeurs secondaires par rapport aux tumeurs primitives.

RÉFÉRENCES

- 1 SUZUKI M et coll. Accurate diagnosis of metastatic cardiac leiomyosarcoma with infundibular stenosis and cardiac tamponade by transesophageal echocardiography and Gd-DTPA magnetic resonance imaging Report of a case. *Jpn Circ J* 1994, **58**: 222-6
- 2 FUNARI M et coll. Cardiac tumors: assessment with Gd-DTPA enhanced MR imaging. *J Comput Assist Tomogr* 1991, **15**: 953-8
- 3 MENEGUS MA et coll Magnetic resonance imaging of suspected atrial tumors. *Am Heart J* 1992, **123**: 1260-8
- 4 MUGE A et coll. Diagnosis of noninfective cardiac mass lesions by two-dimensional echocardiography. Comparaison of the transthoracic and transesophageal approaches. *Circulation* 1991, **83**: 70-8
- 5 FREEDBERG RS et coll The contribution of magnetic resonance imaging to the evaluation of intracardiac tumors diagnosed by echocardiography. *Circulation* 1988, **77**: 95-103
- 6 BARAKOS JA et coll MR Imaging of secondary cardiac and paracardiac lesions. *Am J Roentgenol* 1989, **153**: 47-50

Apport des méthodes isotopiques pour l'évaluation de la viabilité myocardique

Il est désormais établi que les troubles permanents de la cinétique ventriculaire d'origine ischémique ne représentent pas un phénomène constamment irréversible et qu'une amélioration de la contractilité peut s'observer dans certains cas, après revascularisation [1-6]. La détermination de la viabilité myocardique, pour les patients coronariens présentant des anomalies de la contractilité ventriculaire gauche régionale ou globale, est un élément déterminant pour prendre la décision d'une revascularisation chirurgicale ou percutante. On connaît également l'importance d'un tel gain pour améliorer le pronostic vital [7-9].

Dans le cadre de la pathologie coronarienne responsable de dysfonction ventriculaire, deux situations correspondent à la persistance d'une viabilité myocardique: la sidération et l'hibernation.

• Sidération myocardique

Elle survient dans les suites d'un épisode ischémique aigu on constate alors une altération de la fonction mécanique systolique et diastolique avec diminution intracellulaire des composés à haute énergie alors que le débit coronarien est redevenu normal. L'évolution se fait spontanément vers la récupération de la contractilité dans un délai extrêmement variable (quelques heures à plusieurs semaines) [10].

• Hibernation myocardique

Il s'agit d'une anomalie permanente de contractilité ventriculaire gauche au repos, liée à une ischémie chronique, sévère et non douloureuse. Le mécanisme de ce découplage mécanique n'est pas clairement établi. Il semble que ce soit une réponse adaptative du myocyte au manque d'oxygène et de substrats disponibles qui réduit et modifie son métabolisme cellulaire aux fonctions essentielles à sa survie, telles que le- maintien des gradients transmembranaires, mais sans pouvoir produire d'énergie mécanique [11-13]. La revascularisation d'un tel myocarde permet une récupération fonctionnelle.

En fait, dans les suites d'un infarctus myocardique, la situation est souvent plus complexe. Au sein de la zone hypokinétique, peuvent coexister du myocarde sidéré, du myocarde hibernant et de la fibrose cicatricielle.

il existe deux types de méthodes scintigraphiques permettant de déterminer la viabilité myocardique

- l'imagerie monophotonique (SPECT) Il s'agit de la technique utilisée dans les services de médecine nucléaire classique. Les images sont obtenues après injection d'un isotope émetteur de photons de type rayonnement gamma dont la répartition dans l'organisme est mesurée par une caméra composée d'un ensemble de détecteurs tournant autour du patient;
- l'imagerie biphotonique, ou tomographie en émission de positons (TEP). C'est une technique plus lourde et moins répandue, utilisant des isotopes émetteurs de positons (rayonnement bêta +) qui s'annihilent après un parcours très bref dans la matière en émettant deux photons à 180° l'un de l'autre. Ces photons sont alors détectés par plusieurs couronnes de détecteurs spécifiques.

Imagerie nucléaire monophotonique (SPECT)

CONSIDÉRATIONS PRATIQUES

Les avantages sont une grande disponibilité si l'on tient compte du nombre de centres ouverts dans le privé comme dans le public (200 centres environ dont un quart privés). Compte tenu de ces données, le délai moyen d'attente d'un examen ne devrait pas excéder 1 semaine, sauf dysfonction locale.

Son coût est relativement modéré $(150 + 75) * (Zn + PRA) = 3116 F$.

C'est une technique reproductible, dépendant relativement peu de l'observateur, utilisable chez tous les patients.

Une très large expérience internationale a déjà validé son utilisation.

INCONVÉNIENTS

C'est une technique semi-quantitative. Les limites physiques de la détection monophotonique ne prenant pas encore en compte des effets défavorables de la diffusion et de l'atténuation du rayonnement.

Le nombre des traceurs disponibles est faible. Un certain nombre de marqueurs radioactifs sont actuellement disponibles.

THALLIUM (²⁰¹Tl)

Les propriétés biologiques du cation thallium proviennent de son analogie structurale avec le potassium. La fixation du traceur au niveau du cœur est fonction du flux coronarien et son entrée dans la cellule myocardique dépend du gradient ionique transmembranaire lié au fonctionnement de la pompe Na/K (ATPase dépendante). Ces propriétés font du ²⁰¹Tl un marqueur à la fois de la perfusion

et du métabolisme myocardique donc un agent susceptible de donner tous les renseignements nécessaires au diagnostic de viabilité [3].

Plusieurs protocoles ont été proposés pour le diagnostic de viabilité:

Effort redistribution (3-4 heures)

On se fonde essentiellement sur la détection d'une ischémie résiduelle à l'effort [14] qui se traduit par une hypofixation sur les images obtenues immédiatement après l'effort et qui se corrige sur les images obtenues au repos 3 à 4 heures plus tard. Ce test est hautement spécifique mais manque de sensibilité: on a pu en effet montrer qu'environ la moitié des segments myocardiques jugés non viables par cette technique amélioreraient leur contractilité après revascularisation [15, 16]. Ce phénomène semble en partie lié au fait que la redistribution est un mécanisme dont on a probablement sous-estimé la lenteur, particulièrement dans les territoires où la réduction de la perfusion est la plus forte.

Le deuxième critère diagnostique important est la profondeur de l'hypofixation. Ainsi une hypofixation comportant une réduction de l'activité dont la valeur est égale ou supérieure à 50 % de celle de la région myocardique de référence, où la fixation est la plus forte, rend nettement moins probable la présence de myocarde viable. A l'inverse une hypofixation peu profonde, inférieure à 20 %, signe la présence de myocarde viable. Pour les valeurs intermédiaires, entre 50 et 20 %, la persistance d'une viabilité reste probable mais le diagnostic de viabilité pourra être assuré grâce à la mise en évidence d'une redistribution du traceur entre les différentes acquisitions.

Redistribution tardive (8-24 heures)

Une acquisition tardive, entre 8 et 24 heures après l'effort, permet d'améliorer la sensibilité de l'examen sans en diminuer la spécificité; 20 % des territoires jugés non viables initialement fixent le traceur sur les images tardives [19-20].

Réinjection à la quatrième heure

Il a été montré que l'on obtenait des performances diagnostiques identiques ou même supérieures en remplaçant l'acquisition tardive par une réinjection de la moitié de la dose initiale de ^{201}Tl juste après l'acquisition de la troisième heure. Deux études [21, 22], regroupant 43 patients, trouvent des valeurs prédictives positive et négative, pour un tel protocole, de 80-87 % et 82-100 % en ce qui concerne la récupération contractile régionale après revascularisation [23].

Repos-redistribution (3 4e heure)

Dans le cadre du diagnostic de viabilité myocardique, certains ont tenté de faire l'économie de l'acquisition d'effort. On injecte le thallium au repos et la « redistribution » est étudiée trois heures après. En fait, plusieurs études ont montré la baisse des performances diagnostiques d'un tel protocole [24, 25].

En pratique l'attitude la plus efficace semble être de réaliser une acquisition d'effort, suivie, 3 à 4 heures plus tard, d'une acquisition de repos. Une réinjection sera réalisée si le doute persiste après visualisation des deux premières images. Le protocole repos-redistribution doit être réservé aux patients qui ne peuvent produire un effort suffisant sans danger.

MARQUEURS TECHNÉTIÉS

Le technetium ^{99m}Tc présente des caractéristiques physiques plus adaptées à l'imagerie nucléaire que le thallium une demi-vie plus courte, un spectre d'émission photonique favorable et une plus grande disponibilité dans les services de médecine nucléaire car il est fourni à partir d'un générateur. Un certain nombre de traceurs permettant d'évaluer la perfusion ont donc été développés avec ce marqueur (^{99m}Tc sestamibi, ^{99m}Tc tetrofosmine, ^{99m}Tc teboroxime ..). La pénétration intra-cellulaire du sestamibi, cation très liposoluble, est essentiellement passive, suivant le gradient ionique transmembranaire. Sa fixation est stable et il n'y a pas de redistribution vers le milieu extracellulaire. Son affinité pour le cytosol (en particulier le milieu intra-mitochondrial) étant importante, la fixation myocardique dépend principalement du flux coronarien; il s'agit donc d'un marqueur de perfusion mais non de métabolisme. Les caractéristiques physiques de ce radioélément permettent d'effectuer une étude de la contractilité segmentaire. En utilisant une méthode d'acquisition séquentielle, synchronisée à l'électrocardiogramme, on peut reconstituer un cycle cardiaque moyenné décomposé en 16 images. On accède ainsi à un paramètre supplémentaire la contractilité régionale.

Certaines études expérimentales ont suggéré que le degré de fixation du sestamibi au repos pourrait constituer un index de viabilité, cependant les premiers résultats cliniques présentés suggèrent fortement une très nette infériorité de ce traceur pour l'évaluation de la viabilité par rapport au thallium [26, 29].

ACIDES GRAS MARQUÉS A L'IODE (IHA ET IPPA)

Dans les conditions basales, le myocarde normal utilise pour sa production énergétique essentiellement les acides gras libres (environ 60 % de la production énergétique), les autres 40 % proviennent à la fois des lactates et des glucides. Dans les conditions anaérobies le métabolisme glucidique augmente jusqu'à devenir la principale source énergétique. On ne dispose pas encore d'un analogue du glucose marqué par un radioélément émetteur gamma. En revanche, le marquage des acides gras à l'iode a déjà été réalisé [30].

L'acide iodo hexadécanoïque (IHA) a un comportement métabolique identique à celui de l'acide palmitique. Dans la cellule myocardique l'IHA subit rapidement la bêta oxydation. L'activité myocardique variant trop rapidement, les études tomographiques ne sont pas possibles avec les gamma-caméras actuelles. L'adjonction à la molécule d'un radical méthyl ralentit le processus normal de bêta-oxydation. L'acide iodophenyl methyl pentadécanoïque (IPPA) a été le plus étudié. Si la molécule est captée comme un acide gras non méthylé, elle est

métabolisée beaucoup plus lentement, en particulier dans les zones ischémiques, ce qui permet une caractérisation de ces tissus.

Une étude a comparé la fixation de l'IPPA à l'évolution de la contractilité segmentaire après un geste de revascularisation [30]. La valeur de la clairance myocardique du traceur, déterminée sur une série d'images planaires, était corrélée avec les données histologiques obtenues par biopsie per-opératoire. Plus intéressant encore, la clairance de l'IPPA semblait contenir des informations prédictives de l'évolution de la fonction contractile après revascularisation, une valeur basse étant prédictive de l'absence de récupération fonctionnelle, et inversement une valeur haute étant prédictive d'une récupération après revascularisation. Toutefois, ces données préliminaires méritent confirmation.

Tomographie par émission de positons

PRINCIPES

Radioéléments émetteurs de positons

La concentration tissulaire d'une molécule peut être mesurée en TEP (Tomographie par émission de positons) en injectant une très faible quantité (dose traceuse) de cette molécule marquée par un isotope radioactif. L'isotope émet un signal (rayonnement gamma) qui peut être détecté de façon externe. Le radioélément utilisé ne doit pas modifier les propriétés chimiques de la molécule que l'on veut étudier, et donc au mieux on utilise un isotope d'un des atomes constituant celle-ci, c'est-à-dire carbone, hydrogène (ou des substituants type fluor ou brome), azote ou oxygène pour les molécules biologiques. L'existence d'isotopes émetteurs de positons (notés bêta +) parmi ces atomes de la chimie organique a permis le développement de la TEP.

Synthèse de molécules marquées par des émetteurs bêta +

Les isotopes produits dans des cyclotrons ou générateurs sont obtenus sous des formes chimiques relativement simples telles que $^{11}\text{CO}_2$, ou $^{13}\text{NH}_3$. Avant leur injection au sujet, ils doivent donc être chimiquement incorporés au médicament ou à la molécule dont on veut suivre le devenir dans le myocarde. En raison de la courte période, cette synthèse radiochimique doit être rapide et sélective, la molécule désirée devant être isolée, purifiée, rendue stérile et apyrogène avant injection au sujet. De nombreuses molécules sont disponibles pour étudier en cardiologie par TEP des processus physiologiques très divers: à côté des molécules permettant des explorations régionales de la perfusion et des grandes voies métaboliques, des ligands spécifiques de certains sites récepteurs ont été développés, permettant de réaliser de véritables dosages des récepteurs *in vivo*.

Détection des émissions de positons

Après injection au sujet, les molécules vont être délivrées aux tissus par le système vasculaire, diffuser dans ceux-ci et subir les réactions biochimiques du

processus étudié. Un positon est arrêté très rapidement dans les tissus où il se dématérialise par combinaison à un électron du milieu en produisant une paire de photons de 511 keV qui partent à 180° l'un de l'autre. Ceux-ci, très énergétiques donc relativement peu atténués par les tissus, peuvent être détectés par voie externe.

La technologie de la tomographie d'émission de positons est fondée sur la détection en coïncidence des paires de photons antiparallèles de 511 keV d'énergie. Cette détection est réalisée à l'aide de cristaux de scintillation couplés électroniquement de façon à ne prendre en compte que les photons arrivant simultanément sur deux détecteurs opposés.

Reconstruction des images

La présence de tissu entre le lieu d'annihilation du positon et les détecteurs entraîne une diffusion et une atténuation du rayonnement. Contrairement à l'imagerie SPECT, la technologie PET permet une correction de ces deux phénomènes: une première image est réalisée grâce à une source radioactive tournant autour du patient (comme une scanographie X), cette image dite « de transmission » permet un calcul du coefficient d'atténuation en chaque point du volume étudié. Ces facteurs de correction vont être utilisés au moment de la reconstruction de l'image, permettant une quantification absolue de l'activité radioactive.

[¹⁸F] FLUORODÉOXYGLUCOSE (FDG)

Dans les conditions d'ischémie, le métabolisme énergétique s'oriente vers la glycolyse anaérobie [32, 33]. La persistance d'une activité glycolytique au sein d'une région myocardique ischémique constitue donc un témoin de la viabilité cellulaire. Le FDG est un analogue du glucose qui est transporté activement à travers la membrane cellulaire puis phosphorylé mais n'est pas ou peu métabolisé ni stocké sous forme de glycogène [34]. Son accumulation myocardique est proportionnelle à la consommation de glucose.

La perfusion myocardique peut être mesurée à l'aide d'eau marquée à l'oxygène 15 [$H_2^{15}O$] ou avec de l'ammoniac marqué à l'azote 13 [$^{13}NH_3$]. Une augmentation ou le maintien d'une fixation du FDG au sein d'une région hypoperfusée (*blood/flow mismatch*) est un témoin fiable de la viabilité de cette région. Tillisch et Tamaki ont évalué en pré-opératoire par TEP chacun un groupe de patients ischémiques avec dysfonction ventriculaire gauche qui ont bénéficié d'une revascularisation chirurgicale (17 et 22 patients) [35, 36]. La valeur prédictive positive de cet examen en ce qui concerne l'amélioration de la contractilité post revascularisation était de 78 et 85 %. La valeur prédictive négative était de 92 et 78 % (tableau 1).

Actuellement, avec les progrès méthodologiques on obtient pour cette technique une sensibilité et une spécificité proches de 90 %.

Tableau 1: Valeurs prédictives des études flux/métabolisme ($H_2^{18}O/^{18}F$ FDG) en imagerie par émission de positons pour la détection de myocarde viable. (Le myocarde est jugé viable à posteriori si une amélioration de la contractilité myocardique régionale survient après revascularisation.)

Auteur - Année	Nombre de patients (segments)	Valeurs prédictives	
		Positive	Négative
Tillish - 1986	17 (67)	34/41 (85 %)	24/26 (92 %)
Tamaki - 1989	22 (46)	18/23 (78 %)	18/23 (78 %)
Tamaki - 1991	11 (56)	40/50 (80 %)	6/6 (100 %)
Lucignani - 1992	14 (54)	37/39 (95 %)	12/15 (80 %)
Carrel - 1992	23 (23)	16/19 (84 %)	3/4 (75 %)
Gropler - 1992	16 (53)	19/24 (79 %)	24/29 (83 %)
Gropler - 1993	34 (57)	21/29 (72 %)	23/28 (82 %)
Total	135 (356)	186/225 (83 %)	110/131 (84 %)

11 C-ACETATE

Incorporé dans la cellule, le ^{14}C -acétate est transformé en acétyl coenzyme-A puis oxydé dans la mitochondrie avant d'être éliminé sous forme de $^{14}CO_2$ et d' H_2O . La clairance du ^{14}C acétate, déterminée par une séquence d'images dynamique, est un reflet précis du métabolisme oxydatif cellulaire [37]. D'après Gropler et coll., la mise en évidence d'un métabolisme oxydatif préservé au sein d'un tissu myocardique menacé aurait une bonne valeur prédictive de récupération contractile après revascularisation [38].

ACIDES GRAS MARQUÉS AU ^{14}C

Des études ont montré que la fixation du Palmitate marqué au carbone-14 après un épisode d'ischémie témoignait d'une viabilité résiduelle [39,40]. Comme nous l'avons vu à propos de l'iode- ^{123}I -IPPA, dans le tissu hibernant, une accumulation de certains acides gras et leur détection scintigraphique est possible du fait d'une extraction plasmatique accrue et d'une clairance diminuée [41].

RUBIDIUM 82 (^{82}Rb)

C'est un isotope émetteur de positons qui présente certaines analogies pharmacocinétiques avec le thallium. Sa capture et sa rétention au sein du myocarde dépendent du débit coronaire et de l'intégrité membranaire. L'avantage pratique majeur de ce traceur est qu'il est obtenu à partir d'un générateur, ce qui permet de l'utiliser sans avoir de cyclotron sur le site. La fixation du rubidium 82 est moins importante dans le tissu nécrotique et fibreux que dans le tissu viable. La cinétique de libération du traceur peut être utilisée comme indice de viabilité. Des résultats préliminaires montrent que l'information obtenue avec le rubidium 82 est similaire à celle du FDG [42], mais la valeur de ce traceur reste à définir.

MESURE DE L'INDEX DE PERFUSABILITÉ TISSULAIRE À L'EAU MARQUÉE (PTI)

Il s'agit d'une méthode reposant sur un traitement de l'image complexe. Cet index représente la fraction d'eau extravasculaire disponible pour les échanges transmembranaires, qui dépend du maintien des gradients transmembranaires ioniques. Une valeur seuil a pu être déterminée qui permettrait de différencier myocarde viable et fibrose cicatricielle. Cette méthode reste à un stade d'évaluation préliminaire [43].

Perspectives de la technologie TEP

La tomographie par émission de positons constitue un moyen d'approche privilégié pour l'évaluation de la perfusion et du métabolisme du myocarde ischémié. Son accès reste cependant très limité dans notre pays du fait de la complexité de sa mise en œuvre et du faible nombre de centres équipés de caméras TEP (Orsay, Caen, Lyon, et peut-être bientôt Toulouse).

Certaines possibilités pourraient être envisagées en ce qui concerne une utilisation plus clinique de la TEP. En effet, certains prototypes sont actuellement en cours d'expérimentation: il s'agit de caméras plus simples mais cependant précises, qui ne nécessitent pas un environnement différent de celui des services de médecine nucléaire. Les centres qui s'équiperont ainsi pourraient se faire livrer du fluorodéoxyglucose à partir d'un centre lourd ou par un constructeur, ce qui est déjà opérationnel dans de nombreux pays et en cours d'évaluation à Lyon et à Orsay. Pour l'étude du flux, l'utilisation de générateurs (rubidium par exemple) ou de mini-cyclotrons est possible. Ce dispositif pourrait donc dès maintenant fonctionner pour un coût global inférieur à celui d'une installation IRM par exemple.

Cependant, on peut espérer dans un très proche avenir que des transferts de la technologie TEP se feront vers la scintigraphie conventionnelle. Un travail récent [44] a montré la possibilité d'étudier simultanément le flux myocardique et le métabolisme glucidique avec une caméra conventionnelle (SPECT), en utilisant, comme traceur, du thallium et du FDG. La qualité des images était satisfaisante malgré l'utilisation d'un isotope émetteur de positons et les résultats préliminaires encourageants. Cependant deux caractéristiques physiques apparaissent défavorables: une médiocre résolution spatiale et une sensibilité de détection très faible, autour de 10 % par rapport à la TEP. D'autres voies sont explorées, en particulier la détection en coïncidence avec une caméra SPECT non collimatée. Les premiers résultats cliniques sont attendus.

Comparaison avec les techniques non isotopiques

ÉCHOCARDIOGRAPHIE

La stimulation bêta-adrénergique, réalisée par la perfusion de dobutamine à faible dose, permet de mettre en évidence une amélioration de la contractilité myocardique au sein du myocarde hibernant: c'est « la réserve contractile » [45].

Des études récentes [46,47] ont montré des performances proches de celles du thallium pour la prédiction de la récupération de la contractilité post-revascularisation. Il faut cependant noter que les patients peu échogènes ont été systématiquement exclus de ces travaux (tableau 2)

L'échographie trans-œsophagienne, si elle rend la procédure plus inconfortable, permet de contourner cet écueil et d'améliorer la qualité de l'image Baer et coll. trouvent alors, sur une série de 17 patients, une concordance diagnostique dans 90 % des cas avec l'imagerie en émission de positons [48,49]

L'échographie de contraste, réalisée par injection intra-coronaire d'une suspension de microbulles échogènes, est une approche différente de la viabilité myocardique Elle repose sur l'hypothèse que la mise en évidence d'une microvascularisation intacte implique la présence de myocarde viable [50, 52]. Cette technique est particulièrement lourde puisqu'elle nécessite la réalisation d'un cathétérisme cardiaque gauche

Tableau 2: Résultats comparés de l'échographie sous dobutamine et de la scintigraphie myocardique au thallium de repos dans le diagnostic de viabilité myocardique [47] (n= 17).

	Sensibilité	Spécificité	VPP*	VPN*
Echo-Dobutamine 5mcg/kg/mn	78 %	86 %	78 %	86 %
Echo-Dobutamine 10mcg/kg/mn	71 %	93 %	92 %	74 %
Thallium de repos	95 %	85 %	90 %	92 %

VPP: valeurs prédictives positives; VPN: valeurs prédictives négatives.

Avantages de l'échographie de stress

C'est une technique non invasive, ne nécessitant pas l'administration d'un isotope Son coût est relativement faible. Cette technique est facilement disponible. En théorie, elle fournit des informations réellement fonctionnelles, c'est-à-dire la capacité à la récupération

Inconvénients

Il est nécessaire d'interrompre les bêta bloquants ce qui n'est pas toujours sans risque C'est une technique qui est relativement dépendante de l'investigateur et qui peut être limitée par l'échogénicité du patient

IMAGERIE PAR RÉSONANCE MAGNÉTIQUE NUCLÉAIRE

Les méthodes d'acquisition rapide en IRM permettent de mesurer l'épaisseur des parois myocardiques et d'apprécier la réserve contractile sous dobutamine. Ses performances diagnostiques sont encore à évaluer mais une étude très récente met en évidence une bonne corrélation avec l'imagerie en émission de

positons [53] dans la détection de myocarde viable L'étude des temps de relaxation tissulaire semble pouvoir faire une distinction entre fibrose et myocarde viable [54, 55]. D'autres techniques de caractérisation tissulaire sont actuellement à l'étude, faisant appel à la spectrométrie ou à l'utilisation de produits de contraste paramagnétiques. Ces techniques sont encore loin d'être applicables en routine chez l'homme. De grands efforts de recherche et développement doivent être consentis dans cette direction car cette modalité d'imagerie permet potentiellement un double abord fonctionnel et structural/métabolique de la question de la viabilité.

Intérêt de la détermination de la viabilité myocardique

Le coût élevé de certaines de ces explorations comme la TEP implique que leur utilisation repose sur un bénéfice clinique important dans la prise en charge thérapeutique des patients Sur une étude rétrospective portant sur 83 patients, porteurs de cardiopathies ischémiques à fraction d'éjection basse, explorés en tomographie par émission de positons (¹⁸FDG) Eitzman et coll. [56] ont clairement démontré ce bénéfice. Il apparaît en effet que les individus présentant du myocarde viable et ischémique non revascularisé ont un taux de complications cardiaques de 50 % alors que ce taux chez les patients revascularisés est de 12 %. La tomographie par émission de positons apparaît donc comme une technique efficace de sélection pour la revascularisation coronaire chez les patients présentant une altération importante de la contractilité (tableau 3).

Tableau 3: Valeurs prédictives comparées des études SPECT et PET dans le diagnostic de viabilité myocardique.

Auteurs	n	VPP (%)*	VPN (%)*	Traceurs
Tillich et coll.	17	85	92	FDG/NH3
Gropler et coll.	32	73	78	FDG/H2O
Gropler et coll.	32	82	88	Acetate/H2O
Dilsizian et coll.	21	85	100	Tl-201 (réinjection)
Othani et coll.	24	71	85	Tl-201 (réinjection)
Kat et coll.	21	95	63	Tl-201 (Temps tardif)

*VPP: valeurs prédictives positives; VPN: valeurs prédictives négatives.

D'autre part, la scintigraphie au thallium permet une évaluation pronostique des patients en post-infarctus, en particulier, Gibson et coll. [57] ont comparé le thallium d'effort à l'ECG d'effort et à la coronarographie chez 140 patients, 15 jours après un infarctus du myocarde dans le cadre de la prédiction d'événements défavorables (décès, récurrence ou angor instable ou invalidant) La scintigraphie

au thallium visait à apprécier l'étendue de la nécrose et à mettre en évidence une ischémie résiduelle asymptomatique post-infarctus, c'est-à-dire du myocarde hibernant. Après un suivi de 15 mois en moyenne, le meilleur test pronostique s'est avéré être le thallium d'effort

Conclusion

La détection de tissu viable en post-infarctus, au sein d'une région myocardique hypocontractile, a des implications pronostiques et thérapeutiques importantes. Elle permet d'individualiser un sous-groupe de patients particulièrement à risque et d'orienter ces patients vers une revascularisation myocardique. L'enjeu est d'autant plus important que la fraction d'éjection est basse (< 30 %). En effet ces patients, à fort risque opératoire, tireront le meilleur bénéfice d'une revascularisation réalisée à bon escient.

Il apparaît que toutes ces techniques pochent par manque de sensibilité. C'est pourquoi, face à un résultat négatif, il ne faut pas hésiter à combiner les explorations.

Dans la très grande majorité des cas, la scintigraphie au thallium, avec réinjection ou image tardive, apporte une réponse fiable au clinicien [58]. L'échographie cardiaque sous dobutamine est appelée à prendre une place de plus en plus grande dans le domaine de la viabilité myocardique. Ces deux techniques sont relativement complémentaires dans la mesure où elles ne présentent pas les mêmes limitations (problème de disponibilité pour l'une, problème d'échogénicité pour l'autre).

La tomographie par émission de positons est la technique actuellement la plus fiable, mais son coût de fonctionnement et sa faible disponibilité font que cet examen doit être utilisé en dernière intention chez des patients à mauvaise fonction ventriculaire gauche, quand le doute subsiste après utilisation des techniques conventionnelles et, bien entendu, après s'être assuré que le patient est revascularisable

Il faut noter pour finir que l'étude de la viabilité posée chez les patients ischémiques avec atteinte de la fonction contractile, pour coûteuse qu'elle puisse apparaître, est en fait probablement la meilleure attitude en termes de qualité de soins et d'économie de santé: revasculariser systématiquement tous les patients techniquement revascularisables sur des arguments non démontrés n'est certainement pas une attitude valide.

RÉFÉRENCES

- [1] REES G, BRISTOW JD, KREMKAU EL, GREEN GS, HERR RH, GRISWOLD HE, STARR A. Influence of aortocoronary bypass surgery on left ventricular performance. *N Engl J Med* 1971, 284: 1116-1125
- [2] CHATTERJEE K, SWAN HJC, PARMLEY WW, SUSTAITA H, MARCUS HS, MATLOFF J. Influence of direct myocardial revascularization on left ventricular asynergy and function in patients with coronary heart disease. *Circulation* 1973, 47: 276-286
- [3] ROZANSKI A, BERNAN DS, GRAY R, LEVY R, RAYMOND M, MADDAHI J, PANTELO N, WAXMAN AD, SWAN HJC, MATLOFF J. Use of thallium-201 redistribution scintigraphy in the preoperative differentiation of reversible and nonreversible myocardial asynergy. *Circulation* 1981, 64: 936-944
- [4] BRUNDAGE BH, MASSIE BM, BOTVINICK EH. Improved regional ventricular function after successful surgical revascularization. *J Am Coll Cardiol* 1984, 3: 902-908
- [5] DILSIZIAN V, BONOW RO, CANNON RO, TRACY CM, VITALE DF, MCINTOSH CL, CLARK RE, BACHARACH SL, GREEN MV. The effect of coronary artery bypass grafting on left ventricular systolic function at rest: Evidence for preoperative subclinical myocardial ischemia. *Am J Cardiol* 1988, 61: 1248-1254
- [6] BONOW RO, DILSIZIAN V. Thallium-201 for assessing myocardial viability. *Semin Nucl Med* 1991, 21: 230-241
- [7] NESTOR RW, COHN LH, COLLINS JJ JR, WYNNE J, HOLMAN L, COHN PF. Inotropic contractile reserve: A useful predictor of increased 5-year survival and improved postoperative left ventricular function in patients with coronary artery disease and reduced ejection fraction. *Am J Cardiol* 1982, 50: 39-44
- [8] ALDERMAN EL, FISHER LD, LITWIN P, KAISER GC, MYERS WO, MAYNARD C, LEVINE F, SCHLOSS M. Results of coronary artery surgery in patients with poor left ventricular function (CASS). *Circulation* 1983, 68: 785-795
- [9] PIGOTT JD, KOUCHOUKOS NT, OBERMAN A, CUTTER GR. Late results of surgical and medical therapy for patients with coronary artery disease and depressed left ventricular function. *J Am Coll Cardiol* 1985, 5: 1036-1045
- [10] BRAUNWALD E, KLONER RA. The stunned myocardium: Prolonged, posts ischemic ventricular dysfunction. *Circulation* 1982, 66: 1146-1149
- [11] RAHIMTOOLA SH. A perspective on the three large multicenter randomized clinical trials of coronary bypass surgery for chronic stable angina. *Circulation* 1985, 72 (suppl V): V-123-V-135
- [12] BRAUNWALD E, RUTHERFORD JD. Reversible ischemic left ventricular dysfunction.- Evidence for the « hibernating myocardium. » *J Am Coll Cardiol* 1986, 8: 1467-1470
- [13] ROSS J Jr. Myocardial perfusion contraction matching: Implications for coronary heart disease and hibernation. *Circulation* 1991, 83: 1076-1082
- [14] POHOST GM, ZIR LM, MOORE RH, McKUSICK KA, GUINEY TE, BELLER GA. Differentiation of transiently ischemic from infarcted myocardium by serial imaging after a single dose of thallium-201. *Circulation* 1977, 55: 294-302
- [15] BLOOD DK, MCCARTHY DM, SCIACCA RR, CANNON PI. Comparison of single-dose and double dose thallium-201 myocardial perfusion scintigraphy for the detection of coronary artery disease and prior myocardial infarction. *Circulation* 1978, 58: 777-788

- [16] RITCHIE JL, ALBRO PC, CALDWELL JH, TROBAUGH GB, HAMILTON GW. Thallium 201 myocardial imaging. A comparison of the redistribution and rest images. *J Nucl Med* 1979, **20**: 477-483
- [17] BELLER GA, WATSON DD, ACKEU P, POHOST GM. Time course of thallium-201 redistribution after transient myocardial ischemia. *Circulation* 1980, **61**: 791-797
- [18] CLONINGER KG, DEPUY EG, GARCIA EV, ROUBIN GS, ROBBINS WL, NODY A, DEPASQUALE EE, BERGER HJ. Incomplete redistribution in delayed thallium 201 single photon emission computed tomographic images: An overestimation of myocardial scarring *J Am Coll Cardiol* 1988, **12**: 955-963
- [19] KIAT H, BERMAN DS, MADDAHI J, YANG LD, VAN TRAIN K, ROZANSKI A, FRIEDMAN J. Late reversibility of tomographic myocardial thallium-201 defects: An accurate marker of myocardial viability. *J Am Coll Cardiol* 1988, **12**: 1456-1463
- [20] GUTMAN J, BERMAN DS, FREEMAN M, ROZANSKI A, MADDAHI J, WAXMAN A, SWAN HJC. Time to completed redistribution of thallium-201 in exercise myocardial scintigraphy: Relationship to the degree of coronary artery stenosis. *Am Heart J* 1983, **106**: 989-995
- [21] DILSIZIAN V, Rocco TP, FREEDMAN NM, LEON MB, BONOW RO. Enhanced detection of ischemic but viable myocardium by the reinjection of thallium after stress-redistribution imaging. *N Engl J Med* 1990, **323**: 141-146
- [22] OHTANI H, TAMAKI N, YONEKURA Y, MOHIUDDIN IH, HIRATA K, BAN T, KONISHI J. Value of thallium-201 reinjection after delayed SPECT imaging for predicting reversible ischemia after coronary artery bypass grafting. *Am J Cardiol* 1990, **66**: 394-399
- [23] TAMAKI N, OHTANI H, YONEKURA Y, NOHARA R, KAMBARA H, KAWAI C, HIRATA K, BAN T, KONISHI J. Significance of fill-in after thallium 201 reinjection following delayed imaging: Comparison with regional wall motion and angiographic findings. *J Nucl Med* 1990, **31**: 1617-1623
- [24] ISKANDRIAN AS, HAKKI A, KANE SA, GOEL IP, MUNDTH ED, HAKKI A, SEGAL BL, AMENTA A. Rest and redistribution thallium 201 myocardial scintigraphy to predict improvement in left ventricular function after coronary artery bypass grafting. *Am J Cardiol* 1983, **51**: 1312-1316
- [25] MORI T, MINAMIJI K, KUROGANE H, OGAWA K, YOSHIDA Y. Restinjected thallium 201 imaging for assessing viability of severe asynergic regions. *J Nucl Med* 1991, **32**: 1718-1724
- [26] CUOCOLO A, PACE L, RICCIARDELLI B, CHIARIELLO M, TRIMARCO B, SALVATORE M. Identification of viable myocardium with chronic coronary artery disease. Comparison of Thallium-201 scintigraphy with reinjection and technetium-99m-methoxyisobutyl isonitrile (MIBI). *J Nucl Med* 1992, **33**: 505-511
- [27] DILSIZIAN V, ARRIGHI JA, DIODATI JG, QUIYUMI AA, AIAVI K, BACHARAD SL, MARIN-NETO JA, KATSIYIANNIS PT, BONNOW RO. Myocardial viability in patients with chronic coronary artery disease: Comparison of Technetium-99m Sestamibi with Thallium reinjection and (18F)Fluorodeoxyglucose. *Circulation* 1994, **89**: 578-588
- [28] SAWADA SG, AUMAN KC, MUZIK O, BEANLANDS RB, WOLFE ER, GROSS M, FIGL L, SCHWAIGER M. Positron emission tomography detects evidence of viability in rest technetium-99m Sestamibi defects. *J Am Coll Cardiol* 1994, **23**: 92-98
- [29] ALTEHOEFER C, KAISER HJ, DOERR R. Fluorine-18 deoxyglucose PET for assessment of viable myocardium in perfusion defects in 99m-TMIBI SPECT. A comparative study in patients with chronic coronary artery. *Eur J Nucl Med* 1992, **19**: 334-342
- [30] MACHULLA HJ, MARSMANN M, DUTSCHKA K. Biochemical concepts and synthesis of radiolabeled phenyl fatty acid for in vivo metabolic studies of the myocardium. *Eur J Nucl Med* 1980, **5**: 171-173

- [31] MURRAY GL, SCHAD NC, MAGILL HL ZWAAG RV. Myocardial viability assessment with dynamic low dose Iodine-123-10dophenylpentadecanoic acide metabolic imaging. Comparison with myocardial biopsy and reinjection SPECT Thallium after myocardial infarction. *J Nucl Med* 1994, **35**: 43S-48S
- [32] CAMICI P, FERRANMM E, OPIE LH. Myocardial metabolism in ischemic heart disease: Basic principles and application to imaging by positron emission tomography. *Prog Cardiovasc Dis* 1989, **32**: 217-238
- [33] NEELY IR, ROVETTO MJ, ORAM IF. Myocardial utilization of carbohydrate and lipids. *Prog Cardiovasc Dis* 1972, **15**: 289-329
- [34] PHELPS ME, SCHELBERT HR, MAZZIOTTA JC. Positron computer tomography for studies of myocardial and cerebral function. *Ann Intern Med* 1983, **98**: 339-359
- [35] TILLISCH JH, BRUMCEN R, MARSHALL R, SCHWAIGER M, MANDELKORN M, PHELPS M, SCHELBERT H. Reversibility of cardiac wall-motion abnormalities predicted by positron emission tomography. *N Engl J Med* 1986, **314**: 884-888
- [36] TAMAKI N, YOM KURA Y, YAMASHITA K, SAII H, MAGATA Y, SEMDA M, KOMSHI Y, HIRATA K, BAN T, KOMSHI J. Positron emission tomography using fluorine-18 deoxyglucose in evaluation of coronary artery bypass grafting. *Am J Cardiol* 1989, **64**: 860-865
- [37] BROWN M, MARSHALL DR, SOBEL BE, BERGMANN SR. Delineation of myocardial oxygen utilization with carbon 11-labeled acetate. *Circulation* 1987, **76**: 687-696
- [38] GROPLER JR, GELTZMAN EM, SAMPATHKUMARAN K, PEREZ JE, MOERLEIN SM, SOBEL BE, BERGMANN SR, SIEGEL BA. Functional recovery after coronary revascularisation for chronic coronary artery disease is dependent on maintenance of oxidative metabolism. *J Am Coll Cardiol* 1992, **20**: 569-577
- [39] SCHWAIGER M, SCHELBERT HR, ELLISON D. Sustained regional abnormalities in cardiac metabolism after transient ischemia in the chronic dog model. *J Am Coll Cardiol* 1985, **6**: 336
- [40] KNABB RM, BERGMAN SR, Fox KAA, SOBEL BE. The temporal pattern of recovery of myocardial perfusion and metabolism delineated by positron emission tomography after coronary thrombolysis *J Nucl Med* 1987, **28**: 1563
- [41] LECH RA, BERGMANN SR. Non invasive assessment of myocardial fatty acid metabolism with positron emission tomography and gamma imaging. In: *New concepts in cardiac imaging Editions Year Book Medical Publishers* 1988, **4**: 91
- [42] GOULD KL, YOSHIDA K, HESS MJ, HAYME M, MULLANY M, SMALLING RW. Myocardial metabolism of fluorodeoxyglucose compare to cell membrane integrity for the potassium analogue rubidium-82 For assessing infarct size in man by PET. *J Nucl Med* 1991, **32**: 1-9
- [43] YAMAMOTO Y, DE SILVA R, RHODES CG, ARAUJO LL, LIDA H, RECHAVIA E, NIHOUANNOPOULOS P, HACICETT D, GALASSI AR, TAYLOR CJV, LAMMERTSMA AA, JONES T, MASERI A. A new strategy for the assessment of viable myocardium and regional myocardial blood flow using ¹⁵Owater and dynamic positron emission tomography. *Circulation* 1992, **86**: 167-178
- [44] BAX JJ, VISSER FC, VAN LINGEN A, HUITINC J M, KAMP O, VAN LEEUWEN GR, VISSER GWM, TEULE JJ, VISSER CA. Feasibility of assessing regional uptake of 18F-fluorodeoxyglucose using single photon emission computed tomography. *Eur Heart J* 1993, **14**: 1675-1682

- [45] ZHANG J. PATH G. CHEPURI V, HOMANS D, MERKLE H. HENDRICH K. UGURBIL K. BACHE RJ, From AHL. Effect of dobutamine on myocardial blood flow contractile function, and bioenergetic responses distal to coronary stenosis: Implications with regard to dobutamine stress testing. *Am Heart J* 1995, **129**: 330-342
- [46] LA CANNA G. ALFIERI O, GIUBBINI R. GARGANO M, FERRARI R. VISIOLINI O. Echocardiography during infusion of dobutamine for identification of reversible dysfunction in patients with chronic coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 1994, **23**: 617-626
- [47] CHARNEY R. SCHWINGER ME, CHUNG J. COHEN MV, NANNA M, MENEGUS MA, WEXLER J. FRANCO HS, GREENBERG MA. Dobutamine echography and resting-redistribution thallium-201 scintigraphy predicts recovery of hibernating myocardium after coronary revascularisation. *Am Heart J* 1994, **128**: 865-869
- [48] VOCI P. BILOTA F. CARETTA Q. MERCANTI C, MARINO B. Low Dose dobutamine echography predicts the early response of dysfunctional myocardial segments to coronary artery bypass grafting. *Am Heart J* 1995, **129**: 521-526
- [49] BAER FM, VOTH E. DEUTSCH HJ, SCHNEIDER CA, SCHICHA H. SECHTEM V. Assessment of viable myocardium with dobutamine echocardiography and comparison with fluorine-18 fluorodeoxyglucose positron emission tomography. *J Am Coll Cardiol* 1994, **24**: 343-353
- [50] AGATI L, VOCI P. BILOTTA F. LUONGO R. AUTORE C, PENCO M, IACOBONI C, FEDELE F. DAGIANTI A. Influence of residual perfusion within the infarct zone on the natural history of the left ventricular dysfunction after acute myocardial infarction: A myocardial contrast echography study. *J Am Coll Cardiol* 1994, **24**: 336-342
- [51] CAMARANO G. RAGOSTA M, GIMPUE LW, POWERS ER, KAUL S. Identification of viable myocardium with contrast echography in patients with prior left ventricular systolic dysfunction caused by recent or remote myocardial infarction. *Am J Cardiol* 1995, **75**: 215-219
- [52] RAGOSTA M, CAMARANO G. KAUL S. POWERS ER, SAREMBOCK IJ, GIMPUE LW. Microvascular integrity indicates myocellular viability in patients with recent myocardial infarction. *Circulation* 1994, **89**: 2562-2569
- [53] BAER MF, VOTH E. SCHNEIDER CA, THEISSEN P. SCHICHA H. SECHTEM U. Comparison of low dose dobutamine echo magnetic resonance imaging and positron emission tomography with (18F)fluorodeoxyglucose in patients with chronic coronary artery disease. A functional and morphological approach to the detection of myocardial viability. *Circulation* 1995, **91**: 1006-1015
- [54] HIGGINS CB, HERFKENS R. LIPTON MJ, SIEVERS R. SHELDON P. KAUFMAN L, CROOKS LE. Nuclear magnetic resonance imaging of acute myocardial infarction in dogs.- Alterations in magnetic relaxation times. *Am J Cardiol* 1983, **52**: 184-188
- [55] RATNER AAV, OKADA RD, NEWELL JB, POHOST GM. The relationship between proton nuclear magnetic resonance relaxation parameters and myocardial perfusion with acute coronary arterial occlusion and reperfusion. *Circulation* 1985, **71**: 823-828
- [56] EITZMAN D, AL-AOUAR Z. KANTER HL, VOM DAHL J. KIRSH M, DEEB GM, SCHWAIGER M. Clinical outcome of patients with advanced coronary artery disease after viability studies with positron emission tomography. *J Am Coll Cardiol* 1992, **20**: 559-565
- [57] GIBSON RS, WATSON DD, CRADDOCK GB. Prediction of cardiac events after uncomplicated myocardial infarction: A prospective study comparing predischARGE exercise thallium-201 scintigraphy and coronary angiography. *Circulation* 1983, **68**: 321-324
- [58] SCHOEDER H. FRIEDRICH M, TOPP H. Myocardial viability; What do we need ? *Eur J Nucl Med* 1993, **20** :792-803

Imagerie des artères coronaires

État de la question

L'angiographie coronaire par rayons X (ARX) est la technique de référence actuelle dans l'imagerie des artères coronaires à titre diagnostique. L'intérêt thérapeutique de cette technique est également très important puisqu'elle permet au cours de la même procédure de réaliser, dans près d'un cas sur deux, une revascularisation myocardique par angioplastie coronaire ou d'autres techniques de reperméabilisation coronaire.

Les inconvénients de cette technique sont le coût et le caractère invasif. Ces inconvénients sont majorés en cas d'examen de contrôle après l'application d'une technique de revascularisation myocardique par angioplastie ou par chirurgie. Il faut souligner que 10 à 20 % des ARX sont réalisés « par excès » ne montrant pas de lésion coronarienne.

Les limites de l'ARX sont un manque de sensibilité et de spécificité lorsqu'il existe une pathologie coronarienne ostiale ou une naissance anormale des troncs coronaires.

L'orientation et l'intérêt des nouvelles techniques d'imagerie des artères coronaires se font dans trois directions

- technique de *screening* pour le dépistage des patients porteurs de lésions coronariennes, avant ARX;
- technique d'imagerie diagnostique en alternative à l'ARX;
- technique complémentaire à l'ARX afin de pallier ses limites.

Apport de l'échographie trans-oesophagienne pour le diagnostic des lésions coronaires ostiales ou tronculaires

Il existe une seule étude [1] réalisée chez 67 patients. Elle concerne le diagnostic des sténoses du tronc coronaire gauche par ETO (Échographie trans-oesophagienne); la technique de référence est l'ARX. La sensibilité est de 91 % et la spécificité de 100 % avec un taux d'échec de 10 %.

Ces résultats ne sont confirmés par aucune autre étude et sont démentis dans l'expérience quotidienne de centres spécialisés.

En conclusion l'ETO n'est pas une technique alternative à l'ARX pour le diagnostic des lésions coronaires ostiales ou tronculaires; elle peut constituer une alternative à l'ARX pour les contrôles morphologiques postopératoires après plastie chirurgicale des troncs coronaires,

Apport de la tomодensitométrie en modalité spiralée (TDMS) dans le dépistage des lésions coronaires

Trois études ont été retenues [2-4], Seule l'étude de Bielak [2] a été réalisée in vivo chez 160 patients; sont analysées par TDMS les calcifications coronaires supérieures à 2 mm², et leurs caractères prédictifs de lésions coronaires le sont par l'ARX, La sensibilité (88 %) et la spécificité (85 %) du TDMS sont pondérées par la taille des calcifications et la sévérité de la pathologie coronaire,

L'intérêt de cette technique reste limité au dépistage circonstanciel d'une maladie coronarienne potentielle au cours d'examen TDMS d'indication non coronarienne et aux études d'épidémiologie,

Apport de l'IRM dans l'imagerie des artères coronaires

ETUDES MORPHO-ANATOMIQUES

Les études morpho-anatomiques du réseau coronaire par IRM comparées aux données de l'ARX [5-8] montrent la faisabilité de l'imagerie par IRM pour les troncs coronaires, la coronaire droite et l'IVA (Artère ventriculaire antérieure) (identification du vaisseau, quantification de son diamètre et de sa longueur); par contre, l'analyse de leurs branches et de l'artère circonflexe est très limitée (Cf. tableau ci-dessous).

Observations IRM/ARX	TCG		TCD		IVA		Cx	
	*	**	*	**	*	**	*	**
Identification (%)	95	96	95	100	91	100	76	76
Diamètre (mm)	4.8	4.8	3.9	3.7	3.7	3.6	2.9	3.5
Longueur (mm)	10.4	10	53.7	58	46.7	44	26.3	25

TCG: tronc coronarien gauche; TCD: tronc coronarien droit; IVA: artère ventriculaire antérieure; CX: circonflexe. valeurs d'après Penneld [5]; ** valeurs d'après Manning [6].

ÉTUDE DES LÉSIONS STÉNOSANTES PAR IRM

Trois études ont été retenues [9-11]; la valeur de l'examen IRM (gradient-écho) est jugée dans ces travaux sur l'identification des sténoses coronaires supérieures à 50 %; l'ARX est l'examen de référence,

L'étude de Manning [9] porte sur 39 patients dont 29 avec des lésions coronariennes significatives. La sensibilité et la spécificité de l'IRM sont respectivement 100 % pour le tronc coronaire gauche, 87 % et 92 % pour l'IVA, 71 % et 90 % pour la circonflexe, 100 % et 78 % pour la coronaire droite; au total, une sensibilité de 97 % et une spécificité de 70 %.

L'étude de Duerinckx [10] porte sur 20 patients dont 17 avec des lésions coronariennes significatives. La sensibilité et la spécificité de l'IRM sont respectivement 50 % et 84 % pour le tronc coronaire gauche, 73 % et 37 % pour l'IVA, 62 % et 56 % pour la coronaire droite, 0 % et 82 % pour la circonflexe. Ces résultats sont pondérés par le niveau de confiance de la réalisation et de l'interprétation de l'examen IRM.

Il s'agit d'études préliminaires de centres spécialisés qui posent le problème de la fiabilité de la technique et de résultats opérateurs-dépendants. Les études de la vélocité du flux coronaire et de la réserve coronaire par IRM qui seraient susceptibles d'améliorer la sensibilité et la spécificité de l'IRM sont au stade de prémices. Par ailleurs, les limites de la techniques IRM sont nombreuses et concernent l'étude des lésions distales, des réinjections coronaires, du retentissement hémodynamique des lésions et de la circulation collatérale.

ÉTUDE DES ARTÈRES CORONAIRES ANORMALES PAR IRM

Seule l'étude de Doorey [12] a été retenue; elle montre que l'analyse par IRM des artères coronaires de trajet anormal entre l'aorte et l'artère pulmonaire est plus performante que l'ARX dans tous les cas. Cette étude porte sur 5 cas, mais elle est confirmée par des publications de cas isolés. Ces données sont à mettre en parallèle avec les études morpho-anatomiques des artères coronaires par IRM (Cf. supra).

En conclusion, l'imagerie des artères coronaires par IRM est encore au stade de recherche clinique; l'IRM ne constitue pas actuellement une technique substitutive ou alternative à l'ARX. L'apport de l'IRM est limité à quelques cas exceptionnels d'anomalies d'origine ou de trajet des artères coronaires, en complément de l'ARX.

Apport de l'IRM dans l'imagerie des pontages coronaires

Quatre publications ont été retenues [13-16]; la valeur d'un examen IRM est jugée sur l'occlusion de pontages aorto-coronaires; la technique de référence est l'ARX.

	Nb patients	Nb greffes	Nb occlusions	Sensibilité (%)	Spécificité (%)
Rubinstein [13]	20	47	18	90	72
White [14]	25	72	22	89	100
Reichek [15]	22	49	14	89	100
Hoogendoorn [16]	18	23	6	100	88

Dans l'étude de Hoogendoorn, l'analyse de la vélocité (*flow mapping*) du flux dans le pontage permet d'améliorer la sensibilité de la technique.

Globalement et dans l'absolu, les résultats de ces études en termes de sensibilité et de spécificité sont intéressants; mais le critère d'occlusion ou non de pontages aorto-coronaires est d'un apport décisionnel clinique pauvre. D'autre part, les pontages artériels mammaires internes n'ont pas été étudiés.

Conclusion

L'imagerie par IRM des artères coronaires est encore au stade de recherche clinique. Les limites de la technique sont encore très importantes. Au mieux, on peut dire que la meilleure des coronarographies IRM correspondrait à la pire des coronarographies ARX. L'apport des autres techniques (ETO, TDMS) est anecdotique. Actuellement, il n'existe pas de technique alternative ou substitutive à l'ARX dans l'imagerie des artères coronaires.

RÉFÉRENCES

- [1] YOSHIDA K. Detection of left main coronary artery stenosis by transesophageal color Doppler and twodimensional echocardiography. *Circulation* 1990, **81**: 1271-1276
- [2] BIELAK LF. Small lesions in the heart identified at electron beam CT: calcification or noise ? *Radiology* 1994, **192**: 631-636
- [3] MAUTNER GC. Coronary artery calcification: assessment with electron beam CT and his tomorphometric correlation. *Radiology* 1994, **192**: 616-623
- [4] MAUTNER SL Coronary artery disease: prediction with in vitro electron beam CT. *Radiology* 1994, **192**: 625-630
- [5] PENNELD J. Magnetic resonance imaging of coronary arteries: technique and preliminary results. *Br Henrt J* 1993, **70**: 315-326
- [6] MANNING WJ. Fat-suppressed breath-hold magnetic resonance coronary angiography. *Circulation* 1993, **87**: 94104
- [7] LI D. Coronary arteries: threedimensional MR imaging with fat saturation and magnetization transfer contrast. *Radiology* 1993, **187**: 401-406
- [8] SAKUMA H. Breath hold MR cine angiography of coronary arteries in healthy voluntects: value of multiangle oblique imaging planes. *Am J Roentgenol* 1994, **163**: 533 537
- [9] MANNING WJ. A preliminary report comparing magnetic resonance coronary angiography with conventional angiography. *N Engl J Med* 1993, **328**: 828-832
- [10] DUERINCKX AJ. Twodimensional coronary MR angiography: analysis of initial clinical results. *Radiology* 1994, **193**: 731-738
- [11] PASCHAL CB. Thrcedimensional MR imaging of the coronary arteries: preliminary clinical experience. *Magn Reson Imaging* 1993, **3**: 491-500
- [12] DOOREY AJ. Usefulness of magnetic resonance imaging for diagnosing an anomalous coro nary artery coursing between aorta and pulmonary trunk. *Am J Cardiol* 1994, **74**: 198-199

- [13] RUBINSTEIN RI. Magnetic resonance imaging to evaluate patency of aortocoronary bypass grafts. *Circulation* 1987, **76** : 786-791
- [14] WHITE RD. Coronary artery by pass graft patency: non invasive évaluation with MR imaging. *Radiology* 1987, 164: 681-686
- [15] REICHEK N. Antianginal effects of intravenous nitroglycerin over 24 hours. *Circulation* 1988, **78**: 11-591
- [16] HOOGENDOORN LE Non invasive évaluation of aortocoronary bypass grafts with magnetic resonance flow mapping. *Am J Cardiol* 1995, **75**: 845 848

Apport de l'échocardiographie à la détection de la maladie coronarienne

L'apport apparemment le plus simple concerne la détection des infarctus du myocarde: il s'agit de mettre en évidence un segment myocardique cinétique. Cette approche est ancienne mais elle continue d'évoluer car elle bénéficie largement des progrès de la technologie (capteurs large bande, formateurs de faisceau numérique, capteurs haute-fréquence). Compte tenu de ces progrès et de la nécessité de diagnostics rapides et précis (à l'heure de la thrombolyse et de l'angioplastie directe), on peut s'attendre à une augmentation de la prescription dans ce domaine.

L'échocardiographie de stress est une alternative à la médecine nucléaire pour le diagnostic de l'ischémie myocardique et la recherche de viabilité.

Pour la recherche de l'ischémie, elle s'appuie sur la mise en évidence d'une anomalie de la contraction au cours du stress. A ce titre, elle se situe, dans la cascade de l'ischémie, en aval des traceurs radioactifs myocardiques et à un niveau comparable à l'angioscintigraphie cavitaire.

Le stress idéal en termes de travail myocardique est l'effort en position assise ou debout. Il ne permet que des analyses au décours immédiat de l'effort. Cette approche a fait l'objet de très nombreux articles qui lui accordent des performances nettement supérieures à celles de l'ECG (électro-échocardiographie) d'effort et discrètement inférieures à celles de la scintigraphie. De nouvelles tables spéciales semblent susceptibles d'améliorer la situation en permettant une échographie au cours de l'effort en décubitus.

Plusieurs stress pharmacologiques ont été validés, le plus utilisé est la perfusion de dobutamine. A faible dose, il permet de détecter une viabilité, à haute dose, il permet de détecter l'ischémie.

- La détection de la viabilité est faite en démontrant qu'un segment hypo- ou akinétique améliore sa contractilité en cours de perfusion. Ceci est obtenu avec des doses de 5, 7,5 ou 10 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{mn}$.

- La recherche de l'ischémie se fait par la détection de segment rendu hypo ou akinétique par le stress. Pour ce faire, on injecte des doses qui vont de 10 à 40 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{mn}$, quitte à rajouter de l'atropine jusqu'à concurrence de 1 mg par paliers de 0,25, de façon à obtenir une accélération du cœur proche de la fréquence maximale théorique recherchée au cours de l'effort. Cette méthode a une sensibilité qui se rapproche de celle de l'effort. Du fait des conditions techniques beaucoup plus favorables, ce test tend à se développer malgré un risque rythmique plus élevé que celui de l'effort et malgré l'absence de valeur de l'ECG simultané

Par rapport aux techniques scintigraphiques, toutes ces méthodes d'échographie de stress ont en commun des limites liées à l'échogénicité des patients et des qualités liées à l'absence de faux positifs chez les patients avec hypertrophie ventriculaire gauche, bloc de branche gauche ou prolapsus valvulaire mitral. Elles ont, de plus, l'avantage d'une réponse immédiate L'évolution de leur diffusion dépendra de la disponibilité matérielle et/ou pratique de la médecine nucléaire Elle sera forte dans les centres où cette dernière est absente ou mal organisée.

Apport de l'échocardiographie à l'analyse des valvulopathies

L'analyse des valvulopathies suppose la possibilité d'obtenir des réponses à plusieurs questions l'état anatomique de la valve, l'étiologie de l'anomalie, la sévérité de la lésion et, enfin, sa tolérance

L'état anatomique de la valve est particulièrement important quand une plastie par ballon ou par chirurgie est envisagée. Compte tenu de la finesse des feuillets valvulaires, la résolution des sources d'images et leur capacité à voir de petites structures (quitte à surestimer leurs dimensions) est importante. Dans ce domaine, l'échographie qui combine le temps réel et une « amplification » des interfaces sang-tissu gardera pendant quelques années un avantage certain L'analyse étiologique est, le plus souvent, supportée par l'anatomie et elle entre donc dans le même cadre.

Les études de sévérité combinent des analyses des jets et de leur extension, des études des flux proximaux, des mesures de gradients et de rapport de débits et des études sur les flux d'amont ou d'aval. Ces approches sont dominées par l'échocardiographie qui tend à supplanter le cathétérisme, même pour les décisions chirurgicales

	Cathétérisme	Échocardi.	IRM	Scanner et isot.
Extension des jets	++	++	++	-
Flux proximaux	+	+/-	-	-
Gradients	++	+++	-	-
Rapport de débit	++	++	+	-
Flux à distance	+	++	+	-

+++ : excellent, ++ : bon, + : moyen, +/- : médiocre, - : inutile.

La tolérance combine l'analyse des cavités, les mesures de débit et les mesures de pression.

	Cathétérisme	Échocard.	IRM	Scanner et isot.
cavités	++	+++	+++	++
débites	+++	++	+	-
pressions	+++	++	+/-	-

+++ : excellent ; ++ : bon ; + : moyen ; +/- : médiocre ; - : inutile.

L'autre grande force de cette technique par ultrasons est apportée par la capacité de suivi des patients du fait de leur innocuité chez les adultes.

A classer à part, l'échographie transœsophagienne qui représente 5 à 10 % de l'activité d'un laboratoire d'échocardiographie en hôpital ou en clinique Elle a pris une place majeure pour le diagnostic des dissections aortiques, des dysfonctions de prothèses valvulaires, des tumeurs et thromboses intracardiaques, des endocardites et des sources cardiaques d'embolies

Annexe : stratégie documentaire

La recherche documentaire a porté sur

- l'étude de la perfusion et de la viabilité myocardique dans la maladie coronaire (SPECT, IRM, échocardiographie dobutamine)
- l'évaluation de la fonction globale et segmentaire myocardique (scintigraphie conventionnelle SPECT, IRM)
- les nouvelles modalités d'imagerie des artères coronaires
- la toxicité cardiaque des anthracyclines
- l'imagerie dans le bilan des valvulopathies en particulier la place de l'IRM par rapport aux autres techniques
- les explorations des cardiopathies congénitales anténatales
- l'imagerie dans les cardiopathies congénitales (cathétérisme, écho-Doppler, IRM)
- les techniques d'imagerie des masses cardiaques et du péricarde.

L'interrogation des bases de données a été faite

- depuis 1990 ou 1992 suivant les domaines
- en langues française et anglaise
- dans les bases de données Medline (essentiellement) et Excerpta Medica sur les serveurs Questel et Data Star.

Les mots-clés utilisés ont été

a - Medline	b - Excerpta Medica
Myocardial ischemia	Heart muscle ischemia
Myocardial reperfusion injury	Heart muscle injury
Myocardial (AV) perfusion	Cardiomyopathy
Viability (AV) Myocard+	1 Pericardial disease
Stunned ou stunning	Pericardium
Coronary disease	Heart tumor
Coronary vessels	Heart function
Ventricular function	Nuclear magnetic resonance
1 Ventricular dysfunction	2 Nuclear magnetic resonance imaging
Wall (AV) motion	Spectroscopy

a - Medline	
	Wall (AV) thickness Heart defects, congenital Cardiomyopathy Heart neoplasms Pericardium Pericarditis Pneumopericardium (Cardiac ou intracardiac) AV thrombus Thrombosis et heart diseases Fetal diseases ou in (AV) utero ou fetus et cardiovascular system/abnormalities Antibiotics, anthracycline/adverse effects Nuclear magnetic resonance Magnetic resonance imaging Tomography Echoplanar imaging Magnetic resonance angiography Tomography, emission-computed Tomography, emission-computed, single photon 2 Tomography, X-Ray computed Ultrasonography Echocardiography Echocardiography, doppler Echocardiography, doppler, color Echocardiography, doppler, pulsed Echocardiography, transesophageal Radionuclide imaging Radionuclide angiography Spectrum analysis

Les doublons entre les 2 bases ont été éliminés.

Le nombre de références sorties et transmises au DPES a été de:

- 1010 références pour viabilité myocardique et fonction cardiaque
- 158 références pour artères coronaires
- 173 références pour cardiopathies congénitales
- 234 références pour cardiopathies valvulaires
- 92 références pour cardiopathies fœtales
- 151 références pour cardiomyopathies
- 174 références pour tumeurs e
- 100 références pour thromboses intracardiaques
- 188 références pour péricarde
- 26 références pour anthracyclines/toxicité cardiaque
- 220 références pour la spectroscopie du cœur.