

II

Imagerie dans
les pathologies vasculaires

Experts

M. AMIEL, Radiologue, Hôpital cardiologique Louis-Pradel - Lyon - Président du groupe

Y. DUBOURG, Ingénieur, centre hospitalo-universitaire Angers – Rapporteur

O. JEGADEN, Chirurgien cardiaque et vasculaire, Hôpital cardiologique Louis-Pradel- Lyon

J. BITTOUN, Biophysicien, CIERM - centre hospitalo-universitaire Bicêtre – Le Kremlin-Bicêtre

S. ADNOT, Physiologiste, centre hospitalo-universitaire Henri-Mondor Créteil

L. CAPRON, Angiologue, Hôpital Broussais – Paris

E. MOUSSEAUX, Radiologue, Hôpital Broussais – Paris

M. LE CAMUS, Directeur, centre hospitalo-universitaire – Angers

D. MATHIEU, Radiologue, Hôpital Henri-Mondor- Créteil

M. BOURGUIGNON, Biophysicien, service hospitalier Frédéric-Joliot- Orsay

P. CARPENTIER, Angiologue, centre hospitalo-universitaire Nord Albert-Michallon – Grenoble

J.-P. LAISSY, Radiologue, Hôpital Bichat- Paris

J.-C. GAUX, Radiologue, Hôpital Broussais – Paris

D. MUSSET, Radiologue, Hôpital Antoine-Béclère - Clamart

II

Imagerie dans les pathologies vasculaires

Sommaire

Synthèse des travaux du groupe d'expertise	131
Analyse	141
1. Explorations artérielles et veineuses des membres inférieurs	141
2. Lymphœdème	148
3. Imagerie de l'embolie pulmonaire au stade aigu et chronique	151
4. Imagerie de la microcirculation	159
5. Imagerie de l'anévrisme de l'aorte abdominale	161
6. Imagerie des artères rénales - sténoses et hypertension artérielle rénovasculaire	164
7. Imagerie de l'aorte thoracique	167
8. Aspects méthodologiques de l'angiographie par résonance magnétique .	171
9. Vaisseaux du foie échographie, tomodensitométrie ou IRM ?	179
10. Autres vaisseaux de l'abdomen	185
Annexe: Stratégie documentaire	188

Synthèse

Dans le cadre de l'étude «Imagerie», demandée par la Direction des hôpitaux auprès de l'INSERM, le comité scientifique a réuni un groupe d'experts chargés d'étudier l'évolution des techniques d'exploration vasculaire en imagerie par résonance magnétique, et la place prise par cette modalité parmi les techniques existantes.

Les différents champs d'application de l'angiographie par résonance magnétique (ARM) font, pour chacun, l'objet d'une analyse rédigée par un ou plusieurs experts du groupe de travail et figurent à la suite de la synthèse

- Techniques d'ARM.
- Exploration de l'aorte aorte abdominale; aorte thoracique.
- Artères rénales: sténose et hypertension rénale vasculaire
- Exploration de la pathologie vasculaire des membres: pathologie artérielle; pathologie veineuse des membres; lymphœdème.
- Les vaisseaux du foie l'artère hépatique; les veines sus-hépatiques; la veine porte.
- L'artère pulmonaire.
- Microcirculation et perfusion tissulaire.
- L'imagerie des vaisseaux à destinée cérébrale est traitée dans le chapitre rédigé par le groupe d'experts traitant de la neuroradiologie, les explorations cardiaques font l'objet d'un travail spécifique d'un autre groupe d'experts (Cf. p. 191)

Importance du thème en santé publique

Les données épidémiologiques sur les maladies cardiovasculaires en France* font état

- de 176 000 décès par an (1/3 de la mortalité globale); les maladies cardiovasculaires sont la principale cause de mortalité entre 45 et 54 ans (40 %);

* Rapport du Haut Comité de la Santé publique - 1994.

- d'une baisse récente de la mortalité due aux maladies cardio-vasculaires, cette diminution représente dans les pays industrialisés 1/3 de l'amélioration globale observée (campagnes de prévention, amélioration des soins..).
- d'une prévalence des maladies cardio-vasculaires qui est passée, en 10 ans, de 29 à 36%.

Elles représentent 12 % des séjours et 16 % des journées d'hospitalisation en court séjour (elles occupent le deuxième rang après les accidents de différentes origines). Mis à part les maladies veineuses, les pathologies cardiaques et cérébrales paient le plus lourd tribut (en fait, il s'agit le plus souvent de maladies polyvasculaires).

En résumé: la mortalité due aux maladies cardio-vasculaires diminue mais leur prévalence augmente. Or pour ce type de pathologie, il est possible d'intervenir efficacement.

MALADIES CARDIO-VASCULAIRES ET IMAGERIE

Après la clinique, et en complément avec elle, l'imagerie intervient selon toutes ses modalités:

- Écho-Doppler (ED)
- Angiographie par rayons X (ARX)
- Scintigraphie isotopique (SCI)
- Angiotomodensitométrie spiralée (ATDMS)
- Angiographie par résonance magnétique (ARM)

L'imagerie est d'un apport parfois essentiel dans le diagnostic, toujours dans le bilan morphologique et fonctionnel, et souvent dans le choix thérapeutique de ces maladies.

Chaque méthode a ses caractéristiques:

- L'ARX reste, pour l'instant, considérée comme la technique de référence pour l'exploration morphologique des vaisseaux, quel que soit le territoire de l'organisme. Elle est irradiante et, en règle générale, agressive (ponction, cathétérisme, injection de produits de contraste...).
- L'ED est sans danger, facile d'accès, relativement peu coûteuse, très opérateur-dépendante; elle a ses limites par exemple dans l'exploration des artères pulmonaires, et ses échecs, avec l'obésité; c'est, a priori, la méthode de première intention idéale.
- La SCI a un coût relativement élevé; elle est réservée, en France, à des centres « lourds »; elle explore surtout la perfusion des parenchymes, et peu ou mal les vaisseaux.
- L'ATDMS a beaucoup enrichi la tomodensitométrie (TDM) classique pour explorer les gros vaisseaux. Cette évolution récente la place en concurrence directe avec l'ARM pour les vaisseaux du tronc. Mais beaucoup reste à faire en termes d'évaluation de ce point de vue entre les 2 méthodes. Elle est irradiante et utilise des quantités notables de produits de contraste.

- L'ARM, relativement récente, a une place originale (Cf 1 p. 147 et 3 p. 158) Sa place par rapport aux autres méthodes d'imagerie peut s'apprécier:

- *en termes de substitution*: chacun sait, et l'histoire des technologies médicales le montre, que la substitution est rarement totale et s'opère lentement. De ce point de vue, l'ARM doit être évaluée en termes de coût-efficacité par rapport à des méthodes lourdes et comparables (ARX, ATDMS, et éventuellement SCI).

- *en termes de complémentarité*: de ce point de vue, et pour l'imagerie cardiovasculaire, l'ED a, d'une façon générale, une place indiscutable dans le dépistage, et parfois dans le bilan, de ce type de pathologie. L'ARM ne peut donc venir, sauf cas particulier, qu'en complément. Le consensus entre experts est ici particulièrement utile pour fixer une stratégie d'exploration après la phase clinique.

ÉVOLUTION DES MÉTHODES D'IMAGERIE

Toutes les méthodes précédentes, à vrai dire, sont susceptibles d'évolution; et il faut bien préciser que les zones (indications cliniques) de recouvrement sont nombreuses, variables d'une année à l'autre, d'une équipe à l'autre, et même... en fonction des politiques de santé publique de chaque pays !

Ceci explique que les aspects de substitution et de complémentarité soient aussi « labiles » dans le temps, et que les évaluations soient aussi difficiles, même scientifiquement bien conduites; un certain nombre d'idées générales ont pu cependant être dégagées au sein du groupe à ce sujet (Cf. 3, p. 158).

FORMATION DES HOMMES

La rapide évolution des techniques, ici comme dans d'autres domaines de l'imagerie, implique une formation des hommes (initiale et/ou permanente), adéquate pour tirer le meilleur parti des appareils.

En effet les examens sont très consommateurs de temps sur le plan médical et le coût des machines qui doivent avoir d'excellentes performances dans ce type d'application n'est pas négligeable (0,7 à 1 ME).

Idées générales concernant l'ARM

Afin de dégager, au sein de ce groupe d'experts, une vision globale de l'apport de l'IRM destinée à l'exploration cardio-vasculaire, un certain nombre « d'idées-forces » ont été retenues par consensus.

- Dans ce rapport, la disponibilité de l'IRM a été supposée totale, même en urgence. Cette situation est actuellement un peu théorique en France, mais elle est indispensable à envisager dans ce type d'étude. De même, les appareils sont supposés disposer des dernières évolutions techniques.

- L'ARM a acquis droit de cité parmi les différentes méthodes d'exploration des vaisseaux par imagerie; il est possible de dire aujourd'hui que tous les territoires anatomiques vasculaires peuvent être concernés par cette méthode.

- Elle n'est pas agressive et les contraintes de son utilisation et même de son coût tendent à la rendre, idéalement, aussi accessible qu'une autre méthode lourde (ARX, ATDMS, SCI)
- L'ARM a fait l'objet de progrès récents très rapides et très importants au cours des cinq dernières années. Selon l'avis de l'ensemble des experts du groupe, les perspectives dans ce domaine sont très encourageantes et ces progrès vont continuer dans les années à venir.
- Les méthodes d'ARM connaissent un certain nombre de déclinaisons:
 - classiquement, l'ARM peut être réalisée sans produits de contraste: c'est l'imagerie de flux; mais d'ores et déjà, l'utilisation de produits de contraste modifie beaucoup le principe même de la méthode et les résultats obtenus;
 - l'évolution de l'imagerie rapide et ultra-rapide modifie profondément la durée de l'examen; alors que cette dernière représentait jusqu'à présent l'un des inconvénients de cette méthode. A titre d'exemple, une ARM par turbo-flash avec des produits de contraste de l'aorte abdominale et des membres inférieurs peut être pratiquée en 1 à 2 minutes; autre exemple, par séquence EPI, segmentation de l'espace de Fourier, une exploration de l'artère pulmonaire en 3D peut être réalisée en 15 secondes.
- Globalement, mis à part la vision en temps réel en scopie (et encore des améliorations très sensibles sont en cours) et la résolution spatiale (de l'ordre du mm), elle conjugue les avantages de toutes les autres méthodes étude des gros vaisseaux. . et des plus petits; analyse fonctionnelle (des flux vasculaires, de la fonction ventriculaire gauche, de la perfusion tissulaire...). De plus elle permet:
 - à côté des renseignements d'ordre morphologique, des quantifications hémodynamiques, métaboliques...
 - l'exploration de grands champs (cartographie des membres inférieurs), comme avec les rayons X;
 - une exploration qui est non irradiante et non invasive;
 - au-delà de l'étude de la lumière vasculaire et de l'analyse fonctionnelle, l'apport de renseignements sur la paroi des vaisseaux et son environnement, que l'ARX a du mal à colliger.
- C'est une méthode dont les coûts et les contraintes d'implantation ont considérablement diminué depuis quelques années, ce qui permet d'en élargir les indications
- Finalement, pour un certain nombre d'examen, une substitution entre ARX et ARM est en cours (il faut rappeler ici qu'il est supposé, dans ce rapport, que la disponibilité des appareils est totale, en particulier en urgence, et que chaque appareil possède, dans le cadre de sa gamme de champ, les dernières innovations commercialisées). Les méthodes d'ARM apparaissent surtout comme complémentaires des méthodes échographie-Doppler dans beaucoup d'indications. L'ARX devient de plus en plus un examen de recours, en particulier dans le cadre des explorations à visée pré-opératoire ou avant un geste de radiologie interventionnelle.

De ce point de vue, les liens entre acte diagnostique et thérapeutique (dans le cadre de la radiologie interventionnelle) donne une place spécifique à l'ARX

- Enfin, son potentiel évolutif est le plus riche (3D, images en temps réel, imagerie ultra-rapide, matrice 10002...).

Synthèse des rapports d'expertise

Dans le paragraphe précédent, un grand nombre de points sur l'aspect méthodologique de l'ARM ont été soulignés qui ne seront donc pas rappelés ici.

Trois items peuvent caractériser la technique à ce jour

- technique non stabilisée;
- évolution rapide des antennes, des logiciels, des produits de contraste...;
- potentialités considérables (imagerie ultra-rapide, imagerie fonctionnelle, imagerie interventionnelle, imagerie métabolique...).

Ainsi avec les appareils de la nouvelle génération (à partir de 0,5 T et jusqu'à 1,5 T), et les séquences d'imagerie ultra-rapide, l'informatique puissante associée, les nouvelles antennes, une nouvelle «ère» s'ouvre pour l'imagerie vasculaire et cardiaque en 1995. Mais pour ce type d'application, les bas champs (inférieurs à 0,5 T) ne donnent pas de résultats cliniques satisfaisants.

EXPLORATION DE L'AORTE ABDOMINALE

Seule la *pathologie anévrysmale* a été bien étudiée: c'est d'ailleurs la plus fréquente et celle qui bénéficie par excellence de l'imagerie, compte tenu du risque élevé de rupture au-delà de 4-5 cm de diamètre de l'anévrysme

Neuf études comparatives (ARX/ARM) bien faites permettent de souligner que la substitution entre les deux méthodes est possible

Stratégie : l'échographie-Doppler demeure l'examen de dépistage; au-delà, en bilan pré-opératoire, l'ARM s'impose. La confrontation ARM/ATDMS ne bénéficie pas encore de travaux notables. La possibilité pour l'ARM d'explorer, dans un même temps, l'aorte, ses branches terminales et les artères des membres inférieurs, représente un atout important de cette méthode.

EXPLORATION DE L'AORTE THORACIQUE

La pathologie anévrysmale a été étudiée sous toutes ses formes.

La dissection aortique a été l'objet de cinq études bien faites, dont deux excellentes parues en 1993, avant l'avènement de l'ATDMS, et l'ARM apparaît dans ces travaux comme la méthode de référence (sensibilité de l'ordre de 98 % et spécificité équivalente), supérieure à l'ATDM classique. Il n'existe pas, dans ce domaine, d'étude comparative ATDMS/ARM.

Stratégie consensus

- Chez un patient instable, l'ED doit être effectuée au lit. C'est l'examen le plus simple, et qui peut suffire à certains chirurgiens. Si le chirurgien l'exige, ou s'il y a un doute sur l'ED, ARX ou ARM seront pratiquées en seconde intention.
- Chez un patient stable, c'est l'ARM qui doit être pratiquée d'emblée. L'ARX ou l'ATDMS ont des indications qui résultent des échecs des méthodes précédentes.
- Suivi post-opératoire: l'ARM est indiquée d'emblée.

Autres pathologies de l'aorte thoracique:

- coarctation l'ARM est l'examen d'excellence pour le suivi postopératoire de première intention;
- en cas de rupture aortique: chez les malades instables, c'est l'ARX qui semble le meilleur examen; chez les malades stables, l'ARM ou l'ATDMS paraissent avoir des avantages équivalents.

EXPLORATION DES ARTÈRES RENALES ET HYPERTENSION RENALE VASCULAIRE (HTRV)

Quatre études comparatives sont conformes à une expertise correcte (ARX/ARM) La sensibilité est d'environ 95 % et la spécificité de l'ordre de 80 %. Il y a peu ou pas d'études comparatives ARM/ATDMS

Il faut souligner ici l'intérêt des méthodes qui n'utilisent pas de produit de contraste iodé, lors d'explorations effectuées chez des patients présentant souvent une insuffisance rénale.

La stratégie proposée est la suivante:

L'ED est l'examen de première intention si l'équipe médicale connaît bien ce type d'exploration:

- si l'examen est normal: pas d'autre examen; si l'examen est impossible: ARM;
- si l'examen est anormal: ARX par voie artérielle.

EXPLORATION DES VAISSEAUX DES MEMBRES INFÉRIEURS

Artères

- Seules quatre études bien faites concernent la comparaison entre l'ARX et l'ARM. Mais les évolutions rapides en cours ou à venir (produits de contraste, antennes, Phase Array, gradient .., nouvelles matrices...) vont améliorer très rapidement les résultats dans ce domaine.

- L'appréciation du lit vasculaire d'aval serait meilleur en ARM qu'en ARX. Si ce résultat se confirme, l'ARM prendrait une importance majeure en cas d'ischémie critique.

- Pour la quantification des sténoses, comme pour d'autres territoires, l'ARM reste sujette à discussion. L'amélioration viendra probablement de méthodes utilisant les produits de contraste

- **En termes de stratégie:** le premier examen, après la clinique, reste l'échographie-Doppler; se pose d'ores et déjà le problème de la substitution de l'ARX par l'ARM, bien que cela ne paraisse pas logique si un geste de radiologie interventionnelle est envisagé. Par contre, s'il s'agit d'un geste chirurgical, ou dans le cadre d'un bilan aorto-artériographique des membres inférieurs, l'examen par ARM paraît logique.

Veines (dans la maladie thrombo-embolique)

- Il existe peu d'études à ce sujet (4 bien faites). D'ores et déjà l'ARM paraît pouvoir se substituer à l'ARX;

- En termes de stratégie, l'échographie-Doppler reste un examen de première intention; l'ARM se substituant à l'ARX si l'examen est possible, et lorsque les limites de l'exploration par échographie-Doppler sont atteintes

Lymphœdème

Bien qu'il n'existe pas d'étude prospective d'envergure à ce sujet, deux indications se font jour:

- l'IRM fournit des indications complémentaires de la lymphangiographie isotopique par l'analyse du tissu sous-cutané;

- l'IRM permet de dissocier les surcharges graisseuses et liquidiennes dans le suivi de la maladie.

EXPLORATION DE L'ARTÈRE PULMONAIRE ET EMBOLIE PULMONAIRE

La faisabilité de l'ARM dans l'exploration des artères pulmonaires est un fait.

Les progrès sont ici aussi continus. Mais il y a peu d'études cliniques bien faites en termes de substitution ARX/ARM.

• Chez un patient suspect d'embolie pulmonaire aiguë, la sensibilité dans les rares travaux publiés [4] est de 85 à 90 %, la spécificité est de 60 à 80 % par rapport à la référence habituelle à l'ARX:

- il n'existe pas de travail comparant l'ARM et l'ATDMS, mais il faut remarquer que l'ATDMS a une sensibilité excellente, probablement 2 90 %, et une spécificité de 80-90 %;

- en termes de comparaison ARM-SCI, la sensibilité des deux examens serait équivalente, et la spécificité de l'ARM beaucoup plus grande;

- en termes de stratégie: la SCI reste l'examen de première intention; mais ses insuffisances sont bien connues depuis l'étude Pioped (certitude diagnostique dans 50 % des cas environ). La recherche d'un foyer emboligène peut régler le problème diagnostic (Cf. rapport « Explorations artérielles et veineuses des membres inférieurs » p. 141).

Il est probable que dans le futur, l'ARX sera détrônée par l'ATDMS et/ou l'ARM.

Le choix entre les deux techniques se fera en fonction du coût, de l'accessibilité, de l'irradiation, de l'emploi de produit de contraste. Mais l'un des problèmes d'actualité reste de savoir si la SCI doit demeurer l'examen de première intention ? Surtout si l'ATDMS et l'ARM sont disponibles 24 heures sur 24.

- Dans le cas de l'hypertension artériopulmonaire primitive:
 - s'il s'agit d'une complication d'une maladie respiratoire, l'échocardiographie et le cathétérisme restent les références; mais l'ARM fait l'objet de travaux de recherche clinique pour le bilan du cœur droit;
 - si la maladie est primitive, ou secondaire à une maladie thrombo-embolique, trois problèmes se posent en termes de stratégie:
 - Recherche d'une étiologie.* L'ARX reste la référence. La TDM semble insuffisante. Sans doute y a-t-il une place pour l'ARM.
 - Évaluation de l'HTAP* grâce à différents paramètres hémodynamiques et étude du retentissement sur le VD: il existe peu d'études mais elles sont prometteuses.
 - Surveillance évolutive sous traitement*, la place de l'ARM paraît devoir s'imposer à terme.

EXPLORATION DES VAISSEAUX DU FOIE

Ceci concerne l'exploration de 3 types de vaisseaux:

- artère hépatique
- veines sus-hépatiques dont la pathologie est exceptionnelle
- la veine porte et ses branches dont l'étude, fréquente, concerne surtout le syndrome d'hypertension portale.
 - L'exploration des vaisseaux du foie concerne éventuellement le retentissement de leur pathologie sur le parenchyme hépatique (ischémie...).
 - L'échographie Doppler reste toujours l'examen de première intention mais il a ses limites (techniques, anatomiques, capacité de mise en évidence d'une thrombose, inventaire des anastomoses...).
 - Le souci de ne pas faire d'injection de produit de contraste réduit les indications de l'ATDMS (en cas d'insuffisance hépatique qui est associé fréquemment à une insuffisance rénale).
 - L'artère hépatique et les veines sus-hépatiques sont mal vues en ARM (et en ATDM); la veine porte et ses branches sont bien vues en ARM. Les thromboses ainsi que les anastomoses et le sens du flux sont aussi observés.
 - Enfin, pour l'étude du retentissement sur le parenchyme hépatique, l'ARM est au moins équivalente à l'ATDM.

Conclusion générale

L'ensemble du groupe de travail a adopté à l'unanimité les recommandations suivantes:

- Aujourd'hui, les chiffres d'activité des appareils d'IRM ne reflètent en rien les potentialités actuelles de ce mode d'exploration pour les vaisseaux; on peut même dire que le sous-équipement, en France, et l'activité qui en découle, sous-estime de façon dramatique les possibilités de substitution de l'ARX par l'ARM.

- Compte tenu de l'ampleur des enjeux à venir et du travail d'évaluation clinique considérable qui reste à faire, des actions de recherche incitatives fortes, et multicentriques, sous l'égide, et à l'initiative du ministère de la santé, seraient opportunes dans ce domaine
- En termes de planification sanitaire, ce rapport attire l'attention du ministère de la santé, d'ores et déjà, sur la transformation des pratiques, qui ne peut que s'amplifier à l'avenir, avec une baisse des actes d'ARX, une augmentation des actes d'ARM à laquelle sera incapable de faire face le parc actuel d'IRM français.

1

Explorations artérielles et veineuses des membres inférieurs

Etat de la question

Parmi les affections cardio-vasculaires, les maladies des artères représentent 11 % des journées en service hospitalier, soit 1,5 % du total de ces journées. L'activité radiologique vasculaire dans les salles d'angiographie par rayons X (ARX) représente 542 000 actes par an dans les services hospitaliers publics, dont 19,5 % concernent les explorations des membres. L'activité vasculaire, artérielle et veineuse, des radiologues en échographie représente 8 % des 7,8 millions d'actes réalisé par an dans les services publics

L'introduction de l'imagerie par résonance magnétique (IRM) dans les stratégies d'exploration vasculaire devient possible du fait du développement des méthodes d'angiographie par résonance magnétique (ARM). En raison de l'évolution rapide de l'ARM depuis les validations initiales, ses performances sont probablement beaucoup plus importantes que ne le laissent entrevoir les résultats publiés à ce jour.

Exploration de la pathologie artérielle

Nous rapportons essentiellement l'intérêt de l'ARM dans l'étude de l'athérosclérose et de l'artériosclérose dans le cadre du bilan d'une maladie obstructive (anévrismes exclus). Les publications concernent essentiellement des études comparatives entre l'ARM et l'angiographie à rayons X (ARX). L'intérêt de l'ARM dans la pathologie emboligène ou dans la pathologie inflammatoire n'a pas encore fait l'objet d'étude particulière.

ANALYSE DE LA LITTERATURE: ARM VERSUS ARX

Par rapport à l'ensemble des études d'ARM, peu concernent le territoire artériel des membres inférieurs. En effet, seulement neuf études ont été retenues [1-9].

Etant donné les recoupements entre les différentes études, on peut retenir que seules quatre équipes sont à l'origine de ces publications concernant la validation initiale de la méthode: Yucel et coll. [1-2], Carpenter et coll. [3,6-7], Quin et coll. [8], McCauley et coll [9].

Evaluation du lit distal artériel des membres

Deux papiers de la même équipe [3-4] font état d'une supériorité de l'ARM pour la visualisation du lit artériel distal. La limite essentielle de cette étude était l'absence de numérisation lors des examens par l'ARX alors que cette dernière méthode est considérée comme supérieure à l'angiographie conventionnelle. Ce résultat semble toutefois se confirmer dans l'expérience des autres équipes (résultats non publiés), et surtout il semble logique car la sous-estimation du lit d'aval en ARX est classique et bien connue des radiologues et des chirurgiens. Si ce résultat dans l'évaluation du lit distal se confirme, l'ARM pourrait être considérée comme un examen de référence avant d'envisager une revascularisation par radiologie interventionnelle ou par une chirurgie chez un patient atteint d'ischémie critique.

Quantification des sténoses sur l'ARM

L'équipe de Yucel et coll. [1] a obtenu d'excellents résultats comparatifs vis-à-vis de l'ARX. Les résultats en termes de diagnostic d'une occlusion artérielle démontrent une sensibilité de 100 % et une spécificité de 98 %. Pour une sténose supérieure à 50 %, incluant les occlusions, la sensibilité est de 92 % et la spécificité de 88 %. Ces chiffres qui peuvent paraître très satisfaisants sont toutefois pondérés par un éditorial de Borrello dans ce même numéro de *Radiology* [10]. En effet le taux d'erreur pour indiquer au chirurgien la localisation d'un pontage si l'on tient compte de la seule ARM est encore trop important pour que l'on puisse proposer l'ARM comme seul examen préopératoire. Cette impression est partagée par Mac Cauley [9], qui dans une étude récente publiée dans *Radiology* en 1994 trouve que l'ARM possède une sensibilité entre 43 % et 67 % pour le diagnostic des sténoses supérieures à 75 % mesurées en ARX.

ARM en tant que méthode de substitution à l'ARX

Seuls deux articles récents publiés dans des journaux chirurgicaux [2,7] rapportent la possibilité d'une substitution totale de l'ARX par l'ARM. Les différences entre l'ARX et l'ARM préopératoires étaient minimes, et ne semblent pas justifier pour les auteurs un surcoût important imposé par l'ARX (aux Etats-Unis, la différence entre les deux examens est de 1 288 dollars).

Potentialités et perspectives de l'ARM

Dans l'ensemble des articles sus-cités, les auteurs ont quasiment toujours utilisé des méthodes de temps de vol et des coupes axiales, afin d'obtenir un rehaussement vasculaire maximal. Beaucoup d'auteurs ont récemment rapporté, le plus souvent en dehors de l'exploration des membres inférieurs, leur expérience dans l'amélioration des résultats de l'ARM par de nombreux artifices techniques.

Les séquences d'ARM en temps de vol sont améliorées par des acquisition 3D, par l'emploi de désaturation veineuse mobile, par des variations d'angle de bascule de l'aimantation, par des synchronisations ECG (électroencéphalogramme), ou l'incrémentation rapide du plan de Fourier.

L'ARM par contraste de phase semble être plus performante que l'ARM par temps de vol dans l'étude de la distalité, quand les vitesses circulatoires sont faibles.

La synchronisation sur l'ECG semble être indispensable dans l'étude des membres inférieurs aussi bien lors d'acquisition en contraste de phase [11,12], que lors d'acquisition en temps de vol. Ces synchronisations seront plus faciles à manipuler grâce à des incréments rapides du plan de Fourier. Ces séquences rapides permettent, de plus, l'injection de produit de contraste qui rehausse davantage la lumière vasculaire. Les analyses quantitatives seront donc probablement plus pertinentes.

De plus, des modifications technologiques importantes sont à attendre dans les prochaines années, à savoir

- l'évolution vers des gradients beaucoup plus performants;
- l'utilisation d'antennes dédiées à l'étude des membres inférieurs (antennes *phase-array* longues et couvrant la totalité d'un membre inférieur);
- des acquisitions de données sur des matrices plus importantes de 512 x 512 au lieu des 256 x 256 actuelles, ceci afin d'augmenter la résolution spatiale des images d'ARM. Ces perfectionnements permettront rapidement d'améliorer de façon très significative la qualité des images angiographiques en IRM.

Enfin les séquences de vélocimétrie par résonance magnétique deviendront progressivement le complément fonctionnel intéressant dans les analyses morphologiques de l'ARM

MODIFICATIONS POSSIBLES DES STRATÉGIES D'EXPLORATION

Dans une perspective optimiste pour le développement de l'ARM, nous avons voulu étudier les intrications futures et possibles de l'ARM dans une stratégie d'exploration des membres inférieurs. Il est clair que celles-ci seront très dépendantes de la disponibilité des appareils, des performances réelles qui seront obtenues par les méthodes, ou encore des habitudes locales déjà en place notamment l'implication des radiologues dans l'angiographie thérapeutique interventionnelle.

Trois situations cliniques peuvent être dégagées

Ischémie aiguë

Il s'agit d'une urgence thérapeutique, car l'intervention de revascularisation doit survenir dans les 12 premières heures suivant le début des symptômes. La stratégie actuelle comporte un examen d'échographie Doppler à la condition que celui-ci soit réalisé dans les plus brefs délais suivant l'examen clinique initial. Cet examen ne doit pas retarder l'artériographie conventionnelle qui est donc réalisée le plus tôt possible, afin d'envisager une intervention de revascularisation percutanée ou chirurgicale

Celle-ci peut avoir lieu immédiatement, au cours même de l'artériographie, ou secondairement quand une revascularisation chirurgicale est proposée. Les perspectives de l'ARM dans ce contexte d'urgence sont probablement faibles, sauf si la disponibilité des appareils rend compatible les examens dans ce contexte.

Ischémie chronique d'effort

(claudication intermittente stade II de Leriche et Fontaine)

La stratégie actuelle est de proposer à ces patients une échographie-Doppler. Au vu des résultats, la stratégie est orientée par la symptomatologie. Dans une première situation, si les symptômes sont modérés, et si la demande du patient est peu importante, seul un traitement médical est proposé. Si les symptômes sont plus sévères, et surtout si la gêne du patient est invalidante, après l'examen d'échographie-Doppler on propose actuellement une angiographie qui le plus souvent est suivie d'un acte interventionnel. En effet, dans cette situation, les lésions sont très souvent accessibles à un geste d'angioplastie, avec ou sans mise en place d'endoprothèse. Les perspectives de l'ARM dans cette indication sont donc relativement modestes. Ce ne serait qu'en présence d'une échographie Doppler démontrant des lésions inaccessibles à une angiographie thérapeutique que cet examen serait à envisager.

Ischémie critique (ischémie chronique de repos stades III et IV de Leriche et Fontaine)

Cette affection possède une gravité préoccupante, puisqu'elle aboutit à l'amputation du membre atteint dans près de 25 % des cas et au décès du patient à un an, dans 20 % des cas. Des experts, lors de réunions de consensus sur l'ischémie critique, ont recommandé de recourir, chaque fois que cela s'avère possible, à la radiologie interventionnelle en raison de ses résultats immédiats satisfaisants, pour traiter les lésions responsables. La chirurgie peut être proposée d'emblée quand les lésions ne se prêtent pas à un geste endovasculaire ou secondairement en cas d'échec de celui-ci. Dans cette indication, l'angiographie par résonance magnétique apparaît comme fort prometteuse surtout au vu des résultats déjà obtenus dans l'évaluation du lit artériel distal. En effet si ces résultats sont confirmés, la décision d'un geste de revascularisation interventionnelle ou chirurgicale sera beaucoup mieux fondée sur l'étude d'ARM. De plus un certain nombre de patients ne subiront pas d'artériographie conventionnelle si l'ARM révèle des lésions inaccessibles à tous gestes de revascularisation.

Surveillance de pontage ou de traitement de radiologie interventionnelle

Actuellement la stratégie est de proposer une échographie-Doppler uniquement chez les patients symptomatiques. En présence de symptômes, la stratégie peut être de nouveau celle proposée en présence soit de claudication soit d'une ischémie critique.

En l'absence de symptôme, un contrôle angiographique par ARM semble aujourd'hui ne s'avérer d'aucune utilité. Mais, dans le cadre d'une recherche clinique, l'évaluation des patients venant de bénéficier d'un pontage serait intéressante afin de détecter précocement les lésions susceptibles d'entraîner l'occlusion d'un pontage à court terme (sténose anastomotique, boucle, débit au sein du pontage).

En présence de symptômes, outre l'angiographie obtenue par l'IRM [13], l'étude morphologique semble par contre très intéressante dans la détermination d'une extension d'un processus septique péri-artériel ou péri-anastomotique éventuel [14].

SYNTHÈSE

Au vu des seuls résultats publiés il semble encore difficile de reconnaître une totale substitution de l'ARX par l'ARM. Cet examen doit cependant être déjà proposé aux patients porteurs d'une insuffisance rénale, d'une allergie sévère aux produits de contraste iodés et à ceux dont les abords vasculaires sont très difficiles.

Dans une perspective proche, il semble que l'angiographie par résonance magnétique, couplée à la vélocimétrie par résonance magnétique, sera dans l'étude du membre inférieur au moins égale à l'ARX, voire supérieure. La substitution totale de l'ARX n'est toutefois pas envisageable dans un proche avenir, essentiellement en raison de la disponibilité des appareils d'IRM dans un contexte d'urgence, mais aussi en raison de la thérapeutique qui a souvent lieu au cours même de l'ARX. L'ARM, dans certaines situations, pourrait alors être inutile, si une angiographie conventionnelle est prévisible en raison du traitement endovasculaire associé. Le développement de l'ARM, d'une façon générale, devrait à terme supprimer toutes les angiographies diagnostiques. Cette stratégie qui consiste à concevoir l'ARX uniquement comme un acte thérapeutique est déjà de mise dans certains centres, et favorisée en cela par le développement de l'échographie-Doppler.

Exploration de la pathologie veineuse

Il existe quatre études d'ARM bien faites [15,18] comparant les résultats à ceux de la phlébographie couplée ou non à l'échographie-Doppler [15,18]. Les chiffres démontrent une sensibilité de 97 % et une spécificité de 98 % pour le diagnostic des thromboses veineuses uniquement quand l'exploration inclut la totalité des veines depuis la bifurcation iliaque jusqu'au genou.

Les perspectives de l'ARM semblent donc intéressantes dans les compléments possibles à l'échographie-Doppler afin d'éviter les quelques indications d'ARX actuelles. La performance de l'ARM augmente quand la sensibilité de l'échographie-Doppler diminue notamment au niveau des axes iliaques, ce qui va dans le sens de cette complémentarité entre les deux méthodes.

Dans la pathologie veineuse chronique, l'échographie-Doppler, du fait de sa simplicité, de son faible coût et de la faisabilité de manœuvres dynamiques reste la méthode de référence. Aucune étude d'AMR n'a été publiée dans cette indication.

RÉFÉRENCES

- 1 YUCEL E. KAUFMAN J. GELLER S. WALTMAN A. Atherosclerotic occlusive disease of the lower extremity: prospective evaluation with two dimensional time of-flight MR angiography. *Radiology* 1993, **187**: 637-641
- 2 CAMBRIA R. YUCEL E. BREWSTER D et coll. The potential for lower extremity revascularization without contrast arteriography. experience with magnetic resonance angiography. *J Vasc Surg* 1993, **17**: 1050-1057
- 3 OWEN R. CARPENTER J. BAUM R. PERLOFF L, COPE C. Magnetic resonance imaging of angiographically occult runoff vessels in peripheral arterial occlusive disease. *N Engl J Med* 1992, **326**: 1577-1581
- 4 CARPENTER J. OWEN R. BAUM R et coll. Magnetic resonance angiography of peripheral runoff vessels. *J Vascular Surg* 1992, **16**: 807-815
- 5 HERTZ S. BAUM R. OWEN R. HOLLAND G. LOGAN D, CARPENTER J. Comparison of magnetic resonance angiography and contrast arteriography in peripheral arterial stenosis. *Am J Surg* 1993, **166**:112-116
- 6 OWEN R. BAUM R. CARPENTER J. HOUAND G. COPE C. Symptomatic peripheral vascular disease: selection of imaging parameters and clinical evaluation with MR angiography. *Radiology* 1993, **187**: 627-635
- 7 CARPENTER J. BAUM R. HOUAND G. BARKER C. Peripheral vascular surgery with magnetic resonance angiography as the sole preoperative imaging modality. *J Vasc Surg* 1994, **20** : 861-871
- 8 QUINN S. DEMLOW T, HAUIN R. EIDEMILLER L, SZUMOWSKI J. Femoral MR angiography versus conventional angiography: preliminary results. *Radiology* 1993, **189**: 181-184
- 9 MCCAULEY T, MONIB A, DICKEY K et coll. Peripheral vascular occlusive disease: accuracy and reliability of time of-flight MR angiography. *Radiology* 1994, **192**: 351-357
- 10 BORRELLO J. MR angiography versus conventional X-ray angiography in the lower extremities: everyone wins *Radiology* 1993, **187**: 615-617
- 11 LANZER P. GROSS G. NANDA N. POHOST G. Timing of data acquisition determines image quality in femoropopliteal phase-sensitive MR angiography. *Angiology* 1990, **2**: 817-824
- 12 LEE J. Arterial edge artifacts in gated, phase re-ordered phase contrast angiography of the extremities. *Magn Reson Imaging* 1993, **11**: 335-339
- 13 PRINCE M. Gadolinium-enhanced MR aortography. *Radiology* 1994, **191**: 155-164
- 14 TURNIPSEED W. SPROAT I. A preliminary experience with use of magnetic resonance angiography in assessment of failing lower extremity bypass grafts. *Surgery* 1992, **112**: 664-669
- 15 SWAN S. WEBER D, KOROSSEC F. GRIST T, HEINER J. Combined MRI and MRA for limb salvage planning. *J Comput Assist Tomogr* 1993, **17**: 339-342

- 16 EVANS A, SOSTMAN H. KNELSON M, et coll. Detection of deep venous thrombosis: prospective comparison of MR imaging with contrast venography. *Am J Radiol* 1993, **161**: 131-139
- 17 GEHL V, GÜNTHER R. MR angiography of deep vein thrombosis in the lower limbs and pelvis; a comparison with phlebography. *Fortschr Röntgenstr* 1990, **153**: 654-657
- 18 CARPENTER J. HOLLAND G. BAUM R. OWEN R. CARPENTER J. COPE C. Magnetic Resonance venography for the detection of deep venous thrombosis: comparison with contrast venography and duplex ultrasonography. *J Vasc Surg* 1993, **18**: 734-741
- 19 SPRITZER C, NORCONK J. SOSTMAN H. COLEMAN R. Detection of deep venous thrombosis by magnetic resonance imaging. *Chest* 1993, **104**: 54-60

2. Lymphœdème

Les lymphœdèmes des membres touchent environ 300 000 personnes en France. En dehors de quelques centres spécialisés, leur prise en charge diagnostique et thérapeutique est globalement très insuffisante, mais fait actuellement l'objet d'efforts nombreux des structures hospitalières publiques et privées. Les besoins en imagerie diagnostique et de surveillance thérapeutique devraient donc se développer.

D'après la littérature, l'IRM présente des potentialités intéressantes dans ce domaine, mais celles-ci sont énoncées à partir de cas cliniques isolés ou de petites séries, et aucune hypothèse pragmatique n'a encore fait l'objet d'études contrôlées. La convergence des opinions exprimées confère cependant à ces résultats une vraisemblance qui justifie la prise en compte du développement de ce type d'indication dans les années à venir.

Deux indications peuvent donc être dégagées actuellement.

Le diagnostic du lymphœdème, qui se pose devant le problème d'une grosse jambe chronique. Actuellement, ce diagnostic repose en routine sur la clinique et la négativité des explorations fonctionnelles veineuses, mais l'argument de référence est la lymphangioscintigraphie dynamique. Dans environ 10 % des cas cependant, cet examen donne des résultats discordants (lymphœdèmes à débit élevés). Les progrès dans cette démarche diagnostique restent donc nécessaires. Selon l'ensemble des auteurs qui ont publié sur le sujet [1,3,5,7,8,11,13,16], l'IRM montre des images typiques dans cette pathologie, avec épaississement des tissus sous-cutanés présentant un aspect caractéristique en nid d'abeille. Ces informations sont plus précises que celles apportées par la tomodensitométrie [4,9,17], et apparaissent complémentaires de celles fournies par la lymphangioscintigraphie : l'une étudie la fonction lymphatique, et l'autre le retentissement tissulaire d'amont. La surveillance des lymphœdèmes reste fondée sur les mensurations répétées. L'IRM semble permettre une approche volumique plus précise. Surtout, elle permet de distinguer le volume liquidien de la surcharge graisseuse qui vient la compliquer au bout de quelques années, et qui nécessite une prise en charge thérapeutique différente [4, 6, 10, 15].

Ces deux indications vraisemblables restent à valider dans des études contrôlées adéquates. Elles sont réalisées avec des IRM de moyen champ (0,5 Tesla). Par contre, les canaux lymphatiques ne sont visibles qu'en cas de dilatation extrême [18], et les essais de lymphangiographie IRM avec injection de produit de contraste magnétique restent tout à fait du domaine de l'expérimentation [14].

RÉFÉRENCES

- 1 CASE TC, WITTE CL, WITTE MH, UNGER EC, WILLIAMS WH. Magnetic resonance imaging in human lymphedema : comparison with lymphangioscintigraphy. *Magn Reson Imaging* 1992, **10**, 549-550
- 2 CASE TC, UNGER E. BERNAS MJ, WITTE MH, WITTE CL, MAC NEILL G. CRANDALL C, CRANDALL R. Lymphatic imaging in experimental filariasis using magnetic resonance. *Invest Radiol* 1992, **27**, 293-297
- 3 CASTILLO M, DOMINGUEZ R. Congenital lymphangiectatic elephantiasis. *Magn Reson Imaging* 1992, **10**, 321-324
- 4 DIXON AK, WHEELER TK, LOMAS DJ, MACKENZIE R. Computed Tomography or Magnetic Resonance Imaging for Axillary Symptoms Following Treatment of Breast Carcinoma ? A Randomized Trial. *Clin Radiol* 1993, **48**, 371-376
- 5 DUEWELL S. HAGSPIEL KD, ZUBER J. VON SCHULTHESS GK, BOLLINGER A, FUCHS W. Swollen Lower Extremity: Role of MR Imaging. *Radiology* 1992, **184**, 227-231
- 6 FILIPETTI M, SANTORO E. GRAZIANO F. PETRIC M, RINALDI G. Modern therapeutic approaches to postmastectomy brachial lymphedema. *Microsurgery* 1994, **15**, 604-610
- 7 HAAVERSTAD R. NILSEN G. RINCK PA, MYHRE HO. The use of MRI in the diagnosis of chronic lymphedema of the lower extremity. *Int Angiol* 1994, **13**, 115-118
- 8 HAAVERSTAD R. NILSEN G. MYHRE HO, SAETHER OD, RINCK PA. The use of MRI in the investigation of leg œdema. *Eur J Vasc Surg* 1992, **6**, 124-129
- 9 HADJIS NS, CARR DH, BANKS L, PFLUG JJ. The role of CT in the Diagnosis of Primary Lymphedema of the Lower Limb. *Am J Radiol* 1985, **144**, 361-364
- 10 HARADA M, AMANO Y, MATSUZACKI K. HAYASHI Y, NISHITANI H. YOSHIZUMI M, YOSHIDA O, KATOH I. Quantitative evaluation of intraarterial lymphocyte injection therapy for lymphedema using MR imaging. *Acta Radiol* 1994, **35**, 405-408
- 11 HUANG A, FRUAUFF A, DI CARMINE F. SCHUSS A, LOSADA R. GOFFNER L. Case report 861: Primary lymphedema of the left lower extremity. *Skeletal Radiol* 1994, **23**, 483-485
- 12 JABRA AA, TAYLOR GA. MRI evaluation of superficial soft tissue lesions in children. *Pediatr Radiol* 1993, **23**, 425-428
- 13 LOUGHLIN V, WITTE MH, WITTE CL. Massive obesity simulating lymphedema (letter). *N Engl J Med* 1993, **328**, 1496
- 14 OKUHATA Y, XIA T, URAHASHI S. ARIMIZU N. MR lymphography: first application to human. *Nippon Igatu Hoshasen Gakkai Zasshi* 1994, **54**, 410-412

- 15 POTCHEN EJ, FISHER MJ, MEYER RA, GENTRY G. Magnetic resonance assessment of extra. vascular fluid volume in exercised skeletal muscle. *Lymphology* 1990, **23**, 161-163
- 16 VAN LITH JMM, HOECKSTRA HJ, BOEVE WJ, WEITS J. lymphedema of the legs as a result of lymphangiomatosis. A case report and review of the literature. *Neth J Med* 1993, **34**, 310-316
- 17 VAUGHAN BF. CT of Swollen Legs. *Clin Radiol* 1990, **41**, 24-30
- 18 WILLIAMS MP, OLLIFF JFC. Case Report: Computed Tomography and Magnetic Resonance Imaging of Dilated Lumbar Lymphatic Trunks. *Clin Radiol* 1989, **40**, 321-322

3

Imagerie de l'embolie pulmonaire au stade aigu et chronique

Embolie pulmonaire

ÉTAT DE LA QUESTION

L'embolie pulmonaire est une pathologie fréquente. Or, le diagnostic direct des migrations emboliques pulmonaires est difficile. La multiplicité des branches de division des artères pulmonaires est un obstacle à une identification aisée des petits embols pulmonaires. Or ceux-ci ont la même importance en termes de stratégie thérapeutique que les embols proximaux. La sommation des branches artérielles pulmonaires sur une angiographie pulmonaire par rayons X (ARX) nécessite plusieurs incidences pour permettre un diagnostic précis. Conceptuellement, l'imagerie en coupe devrait pouvoir s'affranchir de ces sommations. L'ensemble des méthodes non invasives comprend actuellement la scintigraphie (SCI) pulmonaire de ventilation/perfusion, l'angiographie par résonance magnétique (ARM), l'angio-tomodensitométrie spiralée (ATDMS).

La SCI de ventilation perfusion est un bon examen de dépistage, mais conserve un certain nombre de défaillances en termes de spécificité. C'est pourquoi seule une SCI normale apporte un diagnostic formel.

La SCI pulmonaire de perfusion seule peut être suffisante, à condition d'être effectuée en décubitus dorsal sous 6 incidences. Elle ne donne que des informations sur les éventuelles conséquences d'une embolie pulmonaire, à savoir des troubles de perfusion lobaires, segmentaires ou sous-segmentaires alors que la SCI de ventilation est normale; or, ces signes ne sont pas spécifiques, car ils peuvent se rencontrer au cours de pathologies infectieuses, dégénératives ou tumorales du poumon, et en cas d'épanchements pleuraux. Il est difficile de connaître l'exacte sensibilité et spécificité de cette technique.

D'autres explorations des veines des membres inférieurs contribuent de façon indirecte au diagnostic d'embolie pulmonaire ce sont l'écho-Doppler couleur (ED), l'ARM et l'ARX (phlébographie « classique ») des veines des membres inférieurs.

À l'heure actuelle, l'indication de l'ARX pulmonaire (étude PIOPED *prospective investigation of pulmonary embolism diagnosis*) ne se pose qu'en cas de clinique évocatrice et de SCI équivoque [1]. L'apparition des deux nouvelles techniques va-t-elle modifier ce schéma diagnostique ?

COMPARAISON DE L'ARM AVEC LES AUTRES MÉTHODES

Données sur l'ARM

Les données actuelles sur l'ARM sont peu nombreuses. Une vingtaine d'études concernent la contribution de l'ARM dans l'évaluation de l'embolie pulmonaire, la plupart reposant sur des études de faisabilité. La place actuelle de l'ARM dans le diagnostic d'embolie pulmonaire a correctement été envisagée dans quatre études [2,5].

Dans une étude prospective de 20 patients suspects d'embolie pulmonaire cliniquement [2], on affirme le diagnostic sur la base de l'ensemble des examens complémentaires chez 6 patients, on réalise une ARX numérisée chez les 14 autres patients, parmi lesquels 6 ont une embolie prouvée. La prévalence est de 60 %. Les résultats obtenus par l'ARM ont une sensibilité égale à 90 %, et une spécificité égale à 62 % dans le diagnostic d'embolie pulmonaire.

Dans une autre étude prospective chez 18 patients suspects d'embolie pulmonaire [3], l'ARX ou la chirurgie diagnostique une embolie pulmonaire chez 12 d'entre eux (prévalence 66 %). Au moyen d'acquisitions 2D en année synchronisées à l'ECG, la sensibilité de l'ARM est de 85 % et la spécificité de 50 % (prévalence de 57 %) dans le diagnostic d'embolie pulmonaire proximale.

Chez 23 patients avec suspicion clinique d'embolie pulmonaire, l'ARM est comparée prospectivement à l'ARX digitalisée [4]. Douze ARX sont positives (prévalence 58 %) démontrant 13 thrombus proximaux, 6 thrombus périphériques. Les résultats obtenus par ARM ont une sensibilité de 0,75, une spécificité de 1 dans le diagnostic d'embolie pulmonaire. Dans la détection des embols, la sensibilité et la spécificité de l'ARM sont de 1 lorsqu'ils sont centraux, mais de 0,7 et 1 lorsque toutes les topographies sont confondues (centraux + périphériques).

Dans une étude expérimentale [5] employant l'administration d'embols calibrés (n = 18) dans la circulation artérielle pulmonaire de 15 lapins sur 21 (6 lapins contrôles), l'ARM est effectuée avec injection de produits de contraste paramagnétiques à rémanence vasculaire avant sacrifice de l'animal. L'ARM démontre une précision diagnostique des embols de 16/18 (89 %).

Données sur l'ATDMS

Trois études comparent l'ATDMS [6-8] à l'ARX pulmonaire sélective.

Chez 44 patients dont 18 (prévalence 41 %) ont une embolie pulmonaire [6], les artères segmentaires sont toujours analysables en ATDMS. Dans la détection des thrombus proximaux, comprenant les artères segmentaires, la sensibilité de l'ATDMS est de 18/18 (100 %) et la spécificité de 23/24 (96 %)

Chez 38 autres patients [17], un agrément est obtenu entre ATDMS et ARX numérisée dans les 30 cas avec embolie pulmonaire et les 8 cas normaux (prévalence 79 %). Les caillots sont vus en ATDMS dans les artères segmentaires mais 17 % des caillots adhérents ou partiellement obstructifs sont ignorés par cette méthode.

Dans l'étude prospective la plus récente [8] portant sur 20 patients, l'ARX confirme le diagnostic chez 11 (prévalence 55 %). La sensibilité dans le diagnostic d'embolie pulmonaire est de 63 % et la spécificité de 89 % (86 % et 92 % respectivement, lorsque seules les embolies pulmonaires proximales sont analysées, le diagnostic d'embolie pulmonaire étant encore difficile au niveau des artères sous-segmentaires).

Données comparatives ARM/ATDMS

Cette étude expérimentale [9] concerne une comparaison de l'ATDMS et de l'ARM en acquisitions 2D et 3D chez 8 chiens, parmi lesquels 7 d'entre eux reçoivent des embols. L'anatomopathologie après sacrifice des chiens révèle la présence de 50 embols dans les artères pulmonaires, dont le diamètre s'échelonne entre 1 et 5,5 mm et la longueur entre 3 et 60 mm. Globalement ces embols sont mieux reconnus et un plus grand nombre est recensé en ATDMS qu'en ARM.

L'évolution de l'IRM et du scanner passe obligatoirement par des améliorations en résolution spatiale pour permettre l'évaluation de la vascularisation pulmonaire distale. L'avantage du scanner est d'objectiver d'autres pathologies pulmonaires ayant pu se manifester par des signes cliniques compatibles avec ceux d'une embolie.

Données sur la SCI

Deux études PIOPED [1,10] ont démontré que, dans l'investigation prospective des embolies pulmonaires, 14 % seulement des patients ont une scintigraphie (SCI) normale. Une SCI avec forte probabilité (13 % des patients PIOPED) est associée à une probabilité globale d'embolie de 85 % (15 % de faux positifs). À l'inverse, 41 % des patients ayant une embolie pulmonaire angiographiquement prouvée ont une SCI avec forte probabilité. Une SCI avec faible probabilité s'accompagne de 15 % de faux négatifs. Un des faux négatifs classiques s'observe lorsque les gros troncs sont partiellement obstrués de façon symétrique. La plus grande partie des cas (42 %) avec probabilité intermédiaire ne permet pas, en règle générale, de diagnostic formel, obligeant à recourir à l'ARX pulmonaire.

Comparaison ARM/SCI

Une seule étude a comparé l'ARM à la SCI [11]. Dans cette étude, les sensibilités de l'ARM et de la SCI de ventilation/perfusion étaient similaires, mais seule l'ARM était spécifique.

Chez 64 patients avec suspicion clinique d'embolie pulmonaire (dont 35 avec embolie pulmonaire, prévalence 55 %), la présence ou l'absence d'embolie pulmonaire est affirmée sur l'ARX ou sur la SCI associée à la clinique [11].

Dans le premier groupe, où l'ARM est comparée à l'ARX (n = 34), la sensibilité est égale à 90 % et la spécificité à 77 %.

Dans le groupe où l'ARM est comparée à la SCI et la clinique (n=30) la sensibilité est égale à 100 % et la spécificité à 78 %.

La SCI comparée à l'ARX est quant à elle créditée d'une sensibilité de 90 % et d'une spécificité de 15 % dans les probabilités intermédiaires.

Méthode	Sensibilité %	Spécificité %
SCI (probabilité intermédiaire)	90	15
ARM	70-100	62-100

SYNTHÈSE

Par rapport à l'examen de référence que reste l'ARX, l'ARM a une sensibilité élevée, elle est de bonne spécificité pour les thrombus proximaux mais non pour les thrombus distaux. Ce problème rencontré dans les études les plus anciennes est en voie de résolution grâce à l'utilisation de nouvelles méthodologies (meilleure résolution spatiale, différenciation des débits intrapulmonaires...).

Par rapport à la SCI, l'ARM offre une meilleure spécificité. L'ARM peut se positionner en complément de la SCI, peu spécifique mais très sensible. L'ARM peut en outre évaluer la pression artérielle pulmonaire, et détecter les thrombus veineux périphériques au cours du même examen.

L'ATDMS quant à elle reconnaît les caillots jusque dans les artères sous-segmentaires, ce qui n'est pas encore possible avec l'ARM mais devrait l'être dans un avenir proche.

Quelle que soit la technique, les études citées en référence ont un taux de prévalence d'embolie pulmonaire élevé, ce qui limite les conclusions que l'on peut en tirer.

En résumé, il est prématuré de déterminer si l'ARM pourra se développer dans le diagnostic de l'embolie pulmonaire, ce d'autant qu'elle risque de trouver une sérieuse concurrence avec l'ATDMS. Elle pourra dans l'avenir devenir un très bon examen si l'on obtient une amélioration de la sensibilité permettant de détecter des thrombus de petit calibre, une acquisition des images plus rapide (patients tachypnéiques), et une différenciation des flux intrapulmonaires: rapides/lents.

STRATÉGIE CONSENSUS

La SCI reste l'examen de première intention en cas de suspicion clinique d'embolie pulmonaire. Son efficacité diagnostique n'est pas remise en cause pour éliminer une embolie pulmonaire, ou au contraire lorsque la SCI de perfusion montre d'importantes anomalies avec une SCI de ventilation normale.

Dans les cas douteux (anomalies de ventilation et de perfusion dans des territoires identiques et/ou différents, segmentaires ou surtout non segmentaires, sur des poumons remaniés et/ou en présence d'un épanchement pleural), la priorité va à l'exploration directe des artères pulmonaires par l'ARX.

Il est encore trop tôt pour voir des consensus publiés sur l'intérêt d'intercaler l'ARM ou l'ATDMS entre la SCI et l'ARX.

L'évolution des différentes techniques pourrait amener d'ailleurs à revoir rapidement cet arbre décisionnel, en particulier si l'ARM autorise des examens plus rapides. En effet, c'est la seule technique actuellement qui permette raisonnablement de faire un examen groupé des artères pulmonaires, de la veine cave inférieure et des veines périphériques.

Hypertension artérielle pulmonaire

ETAT DE LA QUESTION

Le diagnostic et la prise en charge de l'hypertension artérielle pulmonaire (HTAP) de l'adulte s'envisagent différemment selon que celle-ci complique l'évolution d'une maladie respiratoire chronique ou apparaît indépendamment, soit isolément (HTAP primitive), soit dans le cadre d'une pathologie générale (maladie thromboembolique, maladie de système ...).

COMPARAISON DE L'ARM AVEC LES AUTRES MÉTHODES

HTAP compliquant l'évolution d'une maladie respiratoire chronique

La recherche d'une HTAP est ici guidée par la clinique, notamment dans le suivi de patients porteurs d'une insuffisance respiratoire chronique hypoxémiante. On fait le plus souvent appel à l'échocardiographie ou au cathétérisme. La prise en charge thérapeutique est avant tout celle de l'affection respiratoire sous-jacente. L'HTAP compliquant ce type de pathologie est souvent modeste, et son impact sur la symptomatologie fonctionnelle discuté.

L'évaluation fonctionnelle du cœur droit est difficile chez ces patients. La ciné-RM utilisée comme méthode de référence de l'exploration de la fonction ventriculaire droite peut être utile, elle ne peut cependant être considérée comme un examen indispensable. L'IRM dans ce type de pathologie est actuellement utilisée essentiellement comme moyen d'investigation à titre de recherche clinique, encore qu'elle apporte des éléments précoces sur la décompensation cardiaque droite [12]

HTAP sans pathologie respiratoire associée

Il s'agit, soit d'une HTAP isolée, dite primitive, soit d'une HTAP évoluant dans le cadre d'une pathologie générale (maladie thromboembolique, maladie de système...). Dans ce dernier cas, l'HTAP peut être révélatrice.

Dans la plupart des cas, l'HTAP est découverte au cours d'un examen échocardiographique pratiqué en raison d'une symptomatologie fonctionnelle d'effort inexplicée. L'appréciation des paramètres hémodynamiques pulmonaires par le cathétérisme droit est indispensable permettant par ailleurs d'évaluer la réversibilité de l'HTAP au cours d'épreuves pharmacologiques.

La limitation de cette approche concerne le suivi de patients traités au long cours par des vaso-dilatateurs. L'échocardiographie n'estimant que la pression artérielle pulmonaire systolique est insuffisante. La répétition des cathétérismes est contraignante. Il est nécessaire de préciser qu'un très petit nombre de patients justifie cette procédure.

L'avantage potentiel de l'IRM concerne plusieurs aspects

- Recherche d'une étiologie

Le problème se pose surtout de reconnaître une hypertension artérielle pulmonaire primitive d'une hypertension artérielle pulmonaire chronique postembolique. Cette distinction est parfois difficile, notamment en cas d'HTAP évoluée. L'examen de recours est l'ARX, très dangereuse chez les patients porteurs d'une hypertension artérielle pulmonaire chronique. L'utilisation de l'IRM (cine-IRM) peut être ici très intéressante: elle permet d'avoir accès aux paramètres hémodynamiques pulmonaires et de rechercher la présence d'obstructions artérielles pulmonaires. Ce type d'évaluation n'a jamais fait l'objet d'études contrôlées. En revanche, l'IRM a été utilisée dans la détection du cœur pulmonaire chronique postembolique et dans le suivi de patients porteurs d'une maladie thromboembolique.

L'IRM a été étudiée dans la détection du cœur pulmonaire chronique postembolique [13] chez 12 patients avec hypertension artérielle pulmonaire (ARX = 7; sensibilité = 88 %, spécificité = 100 %). Le problème est la différenciation entre faibles débits et thrombus.

Le scanner semble insuffisant, en cas de caillots proximaux, pour affirmer le diagnostic de cœur pulmonaire chronique postembolique car des thromboses proximales peuvent accompagner des HTAP primitives (alluvionnage par ralentissement du flux). Le recours à l'ARX pulmonaire est actuellement nécessaire car c'est sur la qualité de la vascularisation distale que repose le diagnostic étiologique [14]

- Bilan de la sévérité de l'HTAP et du retentissement ventriculaire droit

Bien que la méthode la plus fiable pour apprécier la pression pulmonaire, mesurer le débit cardiaque et calculer les résistances vasculaires pulmonaires soit le cathétérisme cardiaque, l'IRM peut apporter des données complémentaires intéressantes sur certains aspects dynamiques du flux pulmonaire et sur l'évaluation de la fonction ventriculaire droite inaccessible par le cathétérisme.

En ce qui concerne l'évaluation de l'hypertension artérielle pulmonaire, l'étude de référence actuelle est une étude française [15]. Cette étude s'adresse essentiellement aux paramètres hémodynamiques pulmonaires et non aux conséquences de l'hypertension artérielle pulmonaire sur le ventricule droit. Treize patients avec HTAP primitive et 10 contrôles ont été explorés, avec comparaison cathétérisme droit et IRM.

Les paramètres étudiés sont les suivants :

- mesure comparée des débits sanguins pulmonaire et aortique;
- évaluation dynamique du flux pulmonaire, antérograde et rétrograde;
- distensibilité artérielle pulmonaire;
- temps d'accélération du flux systolique artériel pulmonaire.

Les anomalies décrites chez les patients porteurs d'une HTAP sont:

- une inhomogénéité du flux sectionnel artériel pulmonaire;
- un flux artériel pulmonaire égal ou inférieur au flux aortique, alors qu'il est supérieur chez les contrôles du fait de la perfusion coronaire;
- un profil de flux différent: flux rétrograde mésosystolique et protodiastolique chez les patients, télésystolique chez les contrôles;
- les vitesses moyennes, temps d'accélération et distensibilité pulmonaire sont plus faibles chez les patients, la fraction de régurgitation pulmonaire est supérieure;
- malgré une bonne corrélation de la mesure de pression artérielle pulmonaire (PaP) par les 2 méthodes, l'évaluation de la PaP par l'IRM reste imprécise pour des valeurs comprises entre 45 et 65 mm Hg;
- en ce qui concerne l'évaluation de la fonction cardiaque droite, l'IRM pourrait devenir une méthode reconnue, voire la méthode de référence pour l'évaluation de la volumétrie et de la fonction du cœur droit.

SUIVI EVOLUTIF DE PATIENTS PORTEURS D'UNE HYPERTENSION ARTÉRIELLE PULMONAIRE

Qu'il s'agisse du suivi évolutif d'une HTAP de gravité moyenne ou du suivi thérapeutique d'une HTAP traitée, les examens actuellement disponibles ne donnent pas entièrement satisfaction. L'échocardiographie est insuffisante et le cathétérisme droit contraignant et non dénué de danger. Le recours à l'IRM paraît ici approprié bien qu'aucune étude actuellement disponible ne permette d'évaluer cet aspect.

STRATÉGIE CONSENSUS

L'IRM apparaît comme une méthode fiable permettant de diagnostiquer la présence d'une hypertension artérielle pulmonaire, d'apprécier l'aspect du lit vasculaire pulmonaire, et d'évaluer le retentissement sur la fonction du ventricule droit.

La présence d'une HTAP est aisément suspectée devant une inhomogénéité du flux artériel pulmonaire, une augmentation du flux rétrograde, une réduction de la distensibilité artérielle pulmonaire.

L'évaluation de la PaP reste encore imprécise, notamment en utilisant le temps d'accélération du flux systolique artériel pulmonaire. Cet examen ne peut se substituer au cathétérisme droit dans l'évaluation précise de l'hémodynamique pulmonaire. En revanche, il donne des informations complémentaires, notamment en ce qui concerne le retentissement sur le ventricule droit.

RÉFÉRENCES

- 1 The PIOPED investigator s. Value of ventilation/ perfusion scan in acute pulmonary embolism. Results of the prospective investigation of pulmonary embolism diagnostic (PIOPED). *JAMA* 1990, **263**: 2753-2759
- 2 GRIST TM. Pulmonary angiography with HR imaging: preliminary clinical experience. *Radiology* 1993, **189**: 523-530
- 3 SCHIEBLER ML. Suspected pulmonary embolism: prospective evaluation with pulmonary MR angiography. *Radiology* 1993, **189**: 125-131
- 4 LOUBEYRE P. Dynamic contrastenhanced MR angiography of pulmonary embolism: comparaison with pulmonary angiography. *Am J Roentgenol* 1994, **162**: 1035-1039
- 5 FRANK H. Detection of pulmonary emboli by using MR angiography with MPEG-PD GdDTA: an experimental study in rabbits. *Am J Roentgenol* 1994, **162**: 1041-1046
- 6 REMY JARDIN M. Central pulmonary thromboembolism: diagnostic with spiral volumetric CT with the single-breath-hold-technique. Comparison with pulmonary angiography. *Radiology* 1992, **185**: 381-387
- 7 STEINER P. Primary diagnosis of follow-up in acute pulmonary embolism: comparison of digital subtraction angiography and spiral CT. *Rofu Fortschr Geb Rontgenstr Nenen Bildgeb Verfah* 1994, **161**: 285-291
- 8 GOODMAN LR Detection of pulmonary embolism in patients with unresolved clinical and scintigraphic diagnosis: helical CT versus angiography. *Am J Roentgenol* 1995, **164**: 1369-1374
- 9 WOODARD PK. Detection of pulmonary embolism: comparison of contrast enhanced spiral CT and time-of-flight MR techniques. *J Thorac Imaging* 1995, **10**: 59-62
- 10 SOSTMAN HD. Evaluation of revised criteria for ventilation-perfusion scintigraphy in patients with suspected pulmonary embolism. *Radiology* 1994, **193**: 103-107
- 11 ERDMAN WA. Pulmonary embolism: comparison of MR images with radionuclide and angiographic studies. *Radiology* 1994, **190**: 499-508
- 12 PATTYNAMA PM. Early diagnosis of cor pulmonale with MP imaging of the right ventricle. *Radiology* 1992, **182**: 375-379
- 13 HATABU H. MR imaging with spatial modulation of magnetization in the evaluation of chronic central pulmonary thromboemboli. *Radiology*, 1994, **190**: 791-796
- 14 MOSER KM. Do patients with primary pulmonary hypertension develop extensive central thrombi ? *Circulation* 1995, **91**: 741-745
- 15 TARDIVON AA. Quantification of hemodynamics in primary pulmonary hypertension with magnetic resonance imaging. *Am J Respir Crit Care Med* 1994, **150**: 1075-1080

4

Imagerie de la microcirculation

Nous nous situons dans le cadre de l'imagerie médicale non invasive, à l'exclusion de techniques spécifiques et limitées comme la capillaroscopie périunguëale, l'angiographie fluorescéinée de la rétine ou la microangiographie de pièces anatomiques injectées.

La microcirculation ne peut pas être explorée directement. En effet, les capillaires qui ont un diamètre de l'ordre de 5 microns ne peuvent pas être visualisés par imagerie directe numérique avec des pixels qui sont de l'ordre de 1 mm au mieux. L'exploration des capillaires ne peut être qu'indirecte. Le scanner permet de voir les artérioles et les veinules à condition de réaliser des coupes fines de 3 mm à 120 kV, mais ne permet pas d'atteindre les capillaires.

L'évaluation indirecte de la microcirculation par imagerie médicale peut être obtenue de plusieurs façons complémentaires:

- La technique de « premier passage » d'un produit injecté par voie veineuse permet d'obtenir des courbes de circulation des différentes régions que l'on veut étudier. Pour que cette évaluation ait un sens, il faut que le produit injecté présente des caractéristiques particulières: - ne créer aucune modification des vaisseaux du fait de propriétés chimiques particulières, - se mélanger uniformément dans le sang et - rester strictement intra-vasculaire.

Les courbes obtenues permettent une modélisation de la circulation, sous la forme d'équations de convolution: la fonction de transfert de l'organe convoluée avec la fonction d'entrée donne la fonction réellement observée sur l'organe. La fonction d'entrée est aisément obtenue en amont de l'organe. Par déconvolution, on obtient la fonction de transfert de l'organe, qui sur le plan purement circulatoire a bien une composante microcirculatoire importante.

Les différentes techniques d'imagerie médicale susceptibles d'explorations de premier passage de la microcirculation, sont le scanner rapide, l'angiographie numérisée et l'IRM. Pour des raisons de dosimétrie et de sensibilité, la médecine nucléaire n'est pas optimale dans cette approche.

- Imagerie fonctionnelle et métabolique. Deux approches différentes de l'imagerie fonctionnelle peuvent être envisagées:

En médecine nucléaire, un produit radiopharmaceutique injecté par voie veineuse traverse la paroi capillaire pour se fixer sur sa cible spécifique tissulaire s'il en existe une.

La compréhension des cinétiques observées requiert une modélisation compartimentais qui permet le calcul de différents paramètres, dont les constantes de transfert d'un compartiment à l'autre; en particulier, les échanges à travers les parois capillaires peuvent être étudiés.

Ces modélisations exigent la démonstration de façon certaine de la validité du modèle. Un modèle trop simple ne permettra pas de rendre compte de façon univoque et donc certaine des résultats. Un modèle trop complexe ne pourra pas être utilisé en pratique.

Les méthodes de tomographie d'émission de positons (TEP) et de tomographie d'émission monophotonique (TEMP) permettent l'une et l'autre cette approche, la TEP étant plus favorable pour ce type d'étude avec modélisation, du fait d'une meilleure sensibilité. La TEMP permet des études qualitatives qui, dans bien des cas, sont suffisantes pour donner une information importante sur une fonction tissulaire, mais sans que l'on soit alors capable de séparer ce qui revient aux seuls capillaires.

- L'IRM permet une imagerie fonctionnelle de grande qualité par l'observation d'un produit naturellement présent et abondant. Jusqu'ici, ce sont surtout les protons de l'eau qui sont observés permettant des modélisations de la perfusion et de la diffusion de l'eau. Plus récemment, c'est l'observation du changement des propriétés magnétiques du fer de l'hémoglobine, selon son état d'oxygénation, qui a permis une imagerie fonctionnelle de perfusion cérébrale; en particulier, des zones d'activation cérébrale sous stimulation sont clairement mises en évidence.

5

Imagerie de l'anévrisme de l'aorte abdominale

Etat de la question [1, 2]

- La prévalence chez l'homme de 65 à 75 ans est égale à 2 %.
- La prévalence augmente régulièrement, ainsi que la mortalité causée par l'anévrisme de l'aorte abdominale (AAA). Elle a été multipliée par 5 en 30 ans.
- La croissance de l'AAA est estimée à 4 à 5 mm par an.
- Souvent asymptomatique jusqu'à la rupture, elle est alors mortelle dans 85 % des cas
- Une taille de 5 cm est le seuil critique au-delà duquel le risque de rupture est considérable (diamètre normal de l'aorte = 2 à 2,5 cm).
- Opéré tôt, à froid, par des chirurgiens expérimentés, la mortalité ne dépasse pas 1 %.
- Au total, le dépistage précoce par l'imagerie, et le suivi régulier de la taille de l'anévrisme, est un élément déterminant du pronostic.

Comparaison des performances de l'ARM par rapport aux autres méthodes

Neuf publications ont été retenues, conformes à des expertises correctes 13-III (tableau 1).

La valeur d'un examen d'ARM a été jugée dans ces travaux sur différents critères:

Tableau 1: Pourcentage de précision de l'anévrisme de l'aorte abdominale, caractéristiques par ARM

Tableau 1 : Pourcentage de précision de l'anévrisme de l'aorte abdominale, caractéristiques par ARM

Étude	Nombre de patients	Extension proximale	Extension distale	Artères rénales Acc.	Artères rénales Sténose	Artères iliales Anévrisme	Artères iliales Sténose
Kaufman [5]	27	100	100	70	90	100	100
Ecklund [9]	40	100	100	50	90	100	100
Durham [7]	28	93	67	28	0	45	45
Sallevelt [8]	69	84	84	58	14	-	-
Kaufman [5]	23	86	-	64	67	-	-

- Extension de l'anévrisme vers le haut (possibilité de voir l'extension par rapport à l'origine des artères rénales), et vers le bas (limite inférieure de l'anévrisme); facilité d'apprécier une pathologie sur les artères iliaques (sténose, anévrisme); dans certains articles, l'analyse des artères des membres inférieurs sur toute leur longueur a été également envisagée.

- Possibilité de voir les collatérales, et donc de rechercher une sténose (non seulement sur les artères rénales, mais sur le tronc cœliaque et les deux artères mésentériques).

- Capacité de l'examen à visualiser un thrombus intra-luminal et à mettre en évidence des processus inflammatoires péri-anévrysmaux.

Pour la plupart des auteurs, les performances de l'ARM sont supérieures à celles d'ARX (travail de Rosenthal en 1991, chez 50 patients [3]; de Kandapa en 1992 chez 20 patients [11]; de Kaufman en 1993 chez 27 patients [5]; de Sallevelt en 1994 chez 69 patients [8]; de Durham en 1993 chez 28 patients [7]).

Dans un seul travail, l'ARM est considérée comme équivalente à l'angiographie classique (Sivanantham en 1993 [10] chez 17 patients).

Stratégie consensus

Il s'agit de propositions du groupe de travail.

- L'échographie Doppler (ED) représente un bon examen de dépistage (mais même dans ce cadre, l'ED méconnaît 10 % des ulcérations de la paroi [11]).

- L'ARM représente un bon examen au stade pré-opératoire.

- Elle est capable de bien analyser la présence ou non d'un thrombus; de bien fixer les limites de l'anévrisme; d'analyser les collatérales et les artères rénales; c'est un excellent examen de caractérisation dans l'inflammation péri-anévrysmale; certaines modalités d'ARM permettent même d'analyser de façon correcte l'extension de la maladie athéromateuse vers les artères iliaques et celle des membres inférieurs.

- L'ARM est un bon examen pour le suivi post-opératoire.

- L'ARX, classique ou numérisée de préférence, reste un examen complémentaire utile en cas de doute après la pratique de l'ED, de l'ARM, et en particulier dans certains cas pour étudier la périphérie des vaisseaux.

RÉFÉRENCES

- 1 ANIDJAR S. Pathogenesis of acquired abdominal aortic aneurysms. *Presse Med* 1991, **20**: 859-65
- 2 NEWITT MP. Prognosis of abdominal aortic aneurysms. A population based study. *New England J Med* 1989, **321**: 1009-1014
- 3 ROSENTHAL Intravenous digital subtraction angiography versus computed tomography in the assessment of abdominal aortic aneurysms. *Vasc Surg* 1991, **30**: 203-9
- 4 SALAMAN RA. *Br J Surg* 1994, **81**: 661-3
- 5 KAUFMAN JA. MR imaging (including MR angiography of abdominal aortic aneurysms: comparison with conventional angiography. *Am J Roengenol* 1994, **163**: 203-10
- 6 TENNANT WG. Radiologic investigation of abdominal aortic aneurysm disease: comparison of three modalities in staging and the detection of inflammatory change. *J Vasc Surg* 1993, **17**: 703-9
- 7 DURHAM JR. Magnetic resonance angiography in the preoperative evaluation of abdominal aortic aneurysms. *Am J Surg* 1993, **166**: 173-78
- 8 SALLEVELT PE. Role of MR imaging in the preoperative evaluation of atherosclerotic abdominal aortic aneurysms. *Radiographics* 1994, **14**: 87-98
- 9 ECKLUND K. MR angiography as the sole method in evaluating abdominal aortic aneurysms: correlation with conventional techniques and surgery. *Radiology* 1994, **192**: 345-50
- 10 SIVANATHAM UM. Fast magnetic resonance angiography using turbo FLASH sequences in advanced aortiliac disease. *Br J Radiol* 1994, **66**: 1103-10
- 11 KANDAPA K. Prospective double blinded comparison of MR imaging and aortography in the preoperative evaluation of abdominal aortic aneurysms. *J Vasc Interv Radiol* 1992, **3**: 83-9

6

Imagerie des artères rénales - sténoses et hypertension artérielle rénovasculaire

Etat de la question [1,2]

- Les sténoses des artères rénales (SAR) sont la cause la plus fréquente d'hypertension artérielle (HTA) secondaire; l'athérome est en cause dans 75 % des cas.
- La prévalence des SM dans la population hypertendue est mal connue (1 à 10 %); habituellement, 5 % dans une consultation spécialisée hospitalière; la mise en cause d'une lésion athéromateuse représente alors la moitié des cas ainsi repérés.
- L'imagerie a un rôle déterminant dans l'identification, la caractérisation, la qualification, et éventuellement l'imputabilité de la SAR Enfin elle intervient dans le choix du traitement, et parfois sa mise en œuvre (angioplastie).

Comparaison de l'ARM avec les autres méthodes

Six études seulement ont été retenues comme conformes à des expertises correctes [3-81]. En 1992, une excellente étude de méta-analyse de Davidson [3] a apporté les points d'information suivants sachant qu'à l'époque il n'existait pas d'étude prospective bien faite pour juger de l'apport de l'ARM par rapport aux autres méthodes

- Davidson [3] considère que les études rétrospectives ou les cas cliniques rapportés dans la littérature permettent de conclure que, comme examen de dépistage, l'ARM est supérieur à l'échographie Doppler.
- Mais, en même temps, il considère qu'il n'y a pas de critère universel pour l'exploration de sténose de l'artère rénale par la méthode de l'ARM.
- Enfin, selon cette méta-analyse, l'ARM en temps de vol (TOF) 3D donnent des résultats supérieurs aux méthodes 2D.

D'autres études ont été publiées depuis cette analyse: mais il y a peu de travaux bien faits; les séries sont assez courtes en général; la plupart concernent des comparaisons entre l'ARM et l'ARX classique.

Dans cette expertise, seules quatre études ont été retenues comme correctes sur le plan scientifique:

- Celle de Loubeyre [7] en 1993, concernant 53 patients:
 - Il n'y a aucun faux négatif (sensibilité 100 %).
 - Il y a 20 faux positifs (spécificité 76 %).
 - La valeur prédictive négative est donc de 100 %, et la valeur prédictive positive de 54 %.
 - En conclusion, selon ces auteurs il s'agit d'un bon examen de dépistage mais l'ARX pré-opératoire reste nécessaire.

- Celle de Menu [8], en 1994, qui a concerné 21 patients: La sensibilité est de 70 % et la spécificité de 70 %.
- Celle de Debatin [6], en 1993, qui concerne l'évaluation de 39 donneurs de reins pour des greffes rénales. Selon ce travail, le dénombrement des artères rénales accessoires par ARM n'est que de 50 % par rapport à l'ARX.
- Celle de Gedroyc [4], en 1992, qui concerne 50 malades transplantés. La sensibilité de la méthode est de 83 %, la spécificité de 97 % pour détecter une sténose de l'artère rénale.

Stratégie consensus

Le groupe d'experts propose les conclusions suivantes:

- Le premier examen à mettre en œuvre pour détecter une sténose de l'artère rénale (s'il existe un bon expert médical de cet examen) est l'échographie Doppler.
- S'il y a un échec de cette méthode (impossibilité pratique d'analyser le pédicule rénal ou le hile du rein), le deuxième examen proposé, comme examen de dépistage, doit être l'ARM.
- Si l'ARM est négative (absence de sténose sur les 3 à 5 premiers centimètres de l'artère des 2 côtés), on peut arrêter les examens.
- Sinon il faut faire une ARX par voie artérielle; cet examen doit toujours être réalisé à titre pré-opératoire.

RÉFÉRENCES

- 1 MICHEL JB. Logical basis for the diagnosis of renovascular hypertension. Application to the treatment of atheromatous stenosis of the renal arteries. *Presse Med* 1990, **19**: 420-25
- 2 HILLMAN BJ. *Am J Roentgenol* 1989, **153**: 5-14
- 3 DAVIDSON RA. Newer tests for the diagnosis of renovascular disease. *JAMA* 1992, **268**: 3353-58
- 4 GEDROYC WM. Magnetic resonance angiography of renal transplants. *Lancet* 1992, **339**: 789-91
- 5 DEBATIN JF. Renal magnetic resonance angiography in the preoperative detection of supernumerary renal arteries in potential kidney donors. *Invest Radiol* 1993, **28**: 882-9
- 6 DEBATIN JF. Renal artery blood flow: quantification with phase contrast MR imaging with and without breath holding. *Radiology* 1994, **190**: 371-8
- 7 LOUBEYRE P. Screening patients for renal artery stenosis: value of three-dimensional time-of-flight MR angiography. *Am J Roentgenol* 1994, **162**: 847-52
- 8 MENU Y. Two dimensional time-of-flight magnetic resonance angiography of renal arteries without maximum intensity projection: a prospective comparison with angiography in 21 patients screened for renovascular hypertension. *Cardiovasc Intervent Radiol* 1994, **17**: 138-42

Imagerie de l'aorte thoracique

La grande majorité des travaux portent sur le diagnostic par ARM de la dissection aortique.

Dissection aortique

ETAT DE LA QUESTION [1,2]

- Prévalence de l'ordre de 5 à 10 pour 1 million d'habitants
- Rares mais graves (décès supérieurs à 40 % dans les 48 premières heures): c'est donc une urgence en cardiologie
- Le taux de survie après chirurgie est de 70 % ou plus, justifiant un diagnostic rapide et précis pour faciliter le geste thérapeutique.
- À côté du type (A ou B) de l'anévrisme, le bilan par l'imagerie doit préciser la présence d'une insuffisance aortique (82 % des cas), éventuellement une atteinte des coronaires, l'extension aux différentes collatérales thoraciques et/ou abdominales de l'aorte, et aux artères iliaques, enfin la présence d'un épanchement péricardique.
- L'imagerie est prééminente pour le diagnostic différentiel avec dépression symptomatique, pour d'autres maladies de l'aorte, ou des pathologies voisines, (embolie pulmonaire, infarctus); il en est de même dans le suivi de la maladie, en particulier postopératoire.

COMPARAISON DE L'ARM AVEC LES AUTRES MÉTHODES [3-7]

Il y a cinq références importantes dans la littérature dont deux études d'excellente qualité, celle de Nienaber [5] en 1993 et celle de Cigarroa [6] en 1993.

Les examens pratiqués sont l'angiographie par résonance magnétique (ARM), l'angio-tomodensitométrie en modalité spiralée (ATDM), l'échographie-Doppler trans-œsophagienne (EDTO).

- L'étude de Nienaber concerne 110 patients. Il s'agit d'une étude multicentrique prospective. La référence pour le diagnostic est constituée par l'angiographie, l'autopsie, la chirurgie.

	ARM	ATDM	EDTO
% Sensibilité	98,3	93,8	97,7
% Spécificité	97,8	87,1	76,9

- L'étude de Cigarroa est une revue générale qui analyse différents travaux de la littérature et ses résultats sont les suivants:

	ARM	ATDM	ARX*	EDTO
% Sensibilité	96	83	88	97,10
% Spécificité	100	100	94	77,87

* Angiographie par rayon X.

STRATÉGIE CONSENSUS

Le groupe d'experts propose la stratégie suivante:

- Chez les patients instables et suspects de dissection de l'aorte thoracique, le premier examen à réaliser est l'EDTO.
- Chez les patients stables, le premier examen à réaliser est l'ARM.
- L'ARX ainsi que l'ATDMS doivent être réservées aux échecs et aux insuffisances des deux méthodes précédentes.
- Dans le suivi postopératoire, l'examen le plus performant est l'ARM.
- Il faut cependant remarquer qu'aucune étude scientifique valable ne concerne la confrontation dans ce type de pathologie entre ATDMS et ARM.

Coarctation aortique

ETAT DE LA QUESTION [8,10]

- Malformation rare de l'isthme aortique, découverte dans l'enfance, rarement à l'âge adulte.
- C'est la cause possible d'une HTA dont le diagnostic précis dépend de l'imagerie,

COMPARAISON ENTRE ARM ET LES AUTRES MÉTHODES

Seules trois publications peuvent être retenues à ce sujet comme scientifiquement valables. Elles concernent le suivi post-opératoire ou post-angioplastie de la lésion.

Les plus importantes des études comportent la comparaison du diamètre de l'aorte après traitement avec différentes méthodes. Le rapport entre le diamètre de l'aorte mesuré par ARM et ARX est de 0,97 [8-9]; et de 0,89 entre ARM et EDTO [8-9] La corrélation de l'index d'obstruction entre ARM et EDTO est de 0,92 [10].

STRATÉGIE CONSENSUS

L'ARM représente l'examen de suivi postopératoire de première intention le plus approprié.

Rupture traumatique de l'aorte

ETAT DE LA QUESTION

- Diagnostic évoqué en règle chez un polytraumatisé en urgence.
- À distance de l'accident, découverte lors d'une complication seconde ou un aspect pseudotumoral sur le téléthorax.

COMPARAISON ENTRE ARM ET LES AUTRES MÉTHODES

Il n'y a pas de travail prospectif publié à ce sujet, seuls quelques cas cliniques [11, 13].

STRATÉGIE CONSENSUS

L'avis des experts est le suivant:

- Chez les malades instables: pratiquer une ARX.
- Chez les malades stables où il n'y a qu'une suspicion: pratiquer une ARM ou une ATDMS.

RÉFÉRENCES

- 1 ROUX PM. Acute dissection of the aorta in 1986. Proposal for a new anatomopathological classification. *Presse Med* 1986, **15**: 1924-27
- 2 PINET F. Prognostic factor and indications for surgical treatment of acute aortic dissections: a report based on 191 observations. *Cardiovasc Intervent Radiol* 1984, **7**: 257, 266
- 3 NIENABER CA. The diagnosis of thoracic aortic dissection by noninvasive imaging procedures. *N Engl J Med* 1993, **328**: 1-9
- 4 CIGARROA JE Diagnostic imaging in the evaluation of suspected aortic dissection old standards and new direction. 1993, **328**: 35-43
- 5 HARTNELL GG. MR imaging of thoracic aorta: comparison of spin echo, angiographic and breath-hold techniques. *Radiology* 1994, **191**: 697-704

- 6 PUCILLO AL Postoperative evaluation of ascending aortic prosthetic conduits by magnetic resonance imaging. *Chest* 199., **97**: 106110
- 7 THOMPSON BH. Utility of ultrafast computed tomography in the detection of thoracic aortic aneurysms and dissections. *Seminars in US, CT and MRI* 1993, **14**: 117-128
- 8 MUHLER EG. Evaluation of aortic coarctation after surgical repair: role of magnetic resonance imaging and Doppler ultrasound. *Br Heart J* 1993, **70**: 285-290
- 9 TEIEN DE. Evaluation of anatomical obstruction by Doppler echocardiography and magnetic resonance imaging in patients with coarctation of the aorta. 1993, **69**: 352-355
- 10 FAWZY ME. Magnetic resonance imaging compared with angiography in the evaluation of intermediate-term result of coarctation balloon angioplasty. *Am Heart J* 1993, **126**: 1380-1384
- 11 FISHER RG. Diagnosis of injuries of the aorta and brachiocephalic arteries caused by blunt chest trauma: CT vs aortography. *Am J Roentgenol* 1994, **162**: 1047-1052
- 12 TOMIAK MM. Use of CT for diagnosis of traumatic rupture of the thoracic aorta. *Ann Chir Vasc* 1993, **7**: 130-139
- 13 CURTIN n. Aortic traumatic lesion. Has tomodensitometry a role ? *J Radiol* 1993, **74**: 523-530

8

Aspects méthodologiques de l'angiographie par résonance magnétique

Rappel des principes de l'imagerie par résonance magnétique

Le signal de résonance magnétique nucléaire est situé dans le domaine des radiofréquences (RF) dont la longueur d'onde est de l'ordre du mètre. Il ne peut donc pas être localisé avec la précision de 1 mm requise par les applications médicales. C'est pourquoi Lauterbur a proposé en 1973 une méthode de codage de l'espace par la fréquence de résonance qui devait donner naissance à l'imagerie par résonance magnétique (IRM). Utilisant la relation de Larmor selon laquelle la fréquence de précession des spins ou fréquence de résonance, est proportionnelle à l'intensité du champ magnétique appliqué, le codage de l'espace se fonde sur une variation simple de l'intensité du champ magnétique dans l'espace. Ainsi, en présence d'un gradient constant de champ magnétique, c'est-à-dire d'une variation linéaire de l'intensité du champ magnétique dans l'espace, la fréquence de résonance d'un élément de volume donné est fonction de sa position le long de la direction du gradient. Cette relation simple entre distance et fréquence est utilisée de différentes manières dans les trois directions de l'espace pour aboutir à la formation de l'image soit d'une tranche isolée, soit d'un volume.

Cependant, toute la théorie de la localisation et de la formation de l'image est basée sur une fixité des éléments de volume à localiser. Celle-ci n'étant pas respectée par les liquides en déplacement, des artefacts peuvent apparaître. Depuis quelques années, des méthodes d'imagerie permettent d'exploiter l'effet des déplacements du sang en IRM afin de visualiser les vaisseaux.

Deux principales méthodes d'angiographie

Le déplacement des fluides au cours de l'acquisition des images en IRM donne naissance à deux types de phénomènes à l'origine de deux méthodes d'ARM: les phénomènes de temps de vol et les phénomènes de déphasage.

ANGIOGRAPHIE PAR TEMPS DE VOL (TOF POUR *TIME OF FLIGHT*)

Principes

La formation d'une image nécessitant l'acquisition de plusieurs signaux, de multiples impulsions radiofréquences sont appliquées sur une même coupe ou un même volume. Elles ont pour effet de saturer l'aimantation des tissus étudiés, d'où une diminution de signal global, fonction de la capacité des tissus à récupérer leur aimantation. Le phénomène d'entrée (*inflow*) a pour origine l'arrivée de sang dont l'aimantation n'est pas saturée, au niveau des vaisseaux entrant dans le volume exploré [1]. Ces vaisseaux apparaissent alors particulièrement intenses sur les images, permettant de les reconnaître [2,3]. Des méthodes de segmentation permettent d'isoler l'image des vaisseaux au sein des tissus fixes.

Méthodes de reconstruction

La reconstruction des angiographies par temps de vol se fait essentiellement à partir de l'algorithme de projection du maximum d'intensité (MIP pour *Maximum Intensity Projection*). Il consiste à projeter l'ensemble du volume exploré sur un plan en ne gardant que les pixels de plus haute intensité qui, en raison du phénomène d'entrée, correspondent aux vaisseaux. Cet algorithme a l'avantage de n'être pas opérateur-dépendant, mais il est encore imparfait dans la mesure où il peut faire disparaître du signal sanguin diminué à cause de turbulences ou de volume partiel par exemple. Afin d'éviter l'effacement des petits vaisseaux par le simple seuillage que représente la méthode MIE, d'autres auteurs ont proposé des méthodes. Celle de Standout [4] permet à l'opérateur de faire varier un seuil en observant le résultat sur l'écran, et de plus en conservant sur la projection, la notion de profondeur du vaisseau au moyen d'une échelle de gris.

Enfin, des algorithmes de connexité en cours d'étude [5] permettent de reconstruire des angiographies sans intervention de l'opérateur simplement en détectant la continuité des vaisseaux.

Acquisition bidimensionnelle (coupes) ou tridimensionnelle (volume)

La nécessité de visualiser tout un arbre vasculaire a amené les constructeurs à proposer des acquisitions d'angiographie tridimensionnelle. L'impulsion RF excite alors tout un volume dans lequel les vaisseaux pourront être retrouvés. L'inconvénient d'une telle acquisition est une saturation progressive du sang se trouvant dans le volume, supprimant ainsi l'effet d'entrée dans les vaisseaux trop lents c'est-à-dire les petits vaisseaux. C'est pourquoi à côté de l'imagerie tridimensionnelle, les constructeurs ont mis en œuvre des méthodes d'angiographie par coupe, ne permettant pas de visualiser l'arbre vasculaire mais montrant très bien les petits vaisseaux dans une coupe donnée où le sang est rapidement renouvelé. Pour pallier cet inconvénient, une technique intermédiaire a été décrite permettant d'acquérir plusieurs tranches épaisses divisées en coupes fines [6-8].

Le volume exploré est alors suffisamment réduit pour éviter une saturation du sang dans les petits vaisseaux; le volume est par ailleurs divisé lui-même en coupes fines permettant d'obtenir des images de bonne résolution. Un volume est alors reconstruit à partir de multiples tranches épaisses se recouvrant (méthode *MOTSA* pour *Multiple Overlapping Thin Slab Acquisition*). Chacune des trois méthodes présente sur les autres des avantages et des inconvénients [9] .

Par ailleurs, afin de diminuer encore le phénomène de saturation progressive du sang et de voir les vaisseaux de plus en plus petits, des techniques sont en cours d'étude utilisant soit des temps de répétition variables [10], soit des impulsions dont l'angle augmente à travers le volume excité, dans le sens de circulation du sang [11].

ANGIOGRAPHIE PAR CONTRASTE DE PHASE (PC POUR PHASE CONTRAST)

Principe

Ce qui est étudié ici n'est plus l'intensité de l'aimantation, mais sa position angulaire, ou phase, au moment d'un écho. Un écho se forme chaque fois que des spins initialement déphasés se rephasent. Un écho de gradient par exemple consiste à déphaser les spins par l'application d'un gradient, puis à les rephaser par inversion du gradient. Si deux impulsions de gradient symétrique sont ainsi appliquées, les aimantations des éléments de volume fixes ont une phase nulle. Par contre, les éléments de volume mobiles correspondant à une fréquence de précession variable au cours du temps, ne seront pas rephasés. On montre de plus que la phase de ces éléments est simplement proportionnelle à la vitesse, si celle-ci peut être considérée comme constante [12]- Ce principe permet la réalisation de cartographies des vitesses circulatoires dans les vaisseaux [13-15]. L'angiographie par contraste de phase privilégie l'apport qualitatif de ce principe.

Méthodes

A partir du principe de déphasage, deux images sont acquises l'une au moyen de deux lobes positif puis négatif de gradient, l'autre avec les mêmes lobes appliqués dans un ordre inverse. Cette inversion des lobes de gradient ne change rien à la phase des éléments fixes, mais inverse la phase des éléments mobiles. Une simple soustraction des deux images ainsi obtenues provoque l'annulation des tissus fixes et l'addition du sang circulant dans les vaisseaux. La soustraction est alors directement une image d'angiographie [16, 17]. Cependant, on utilise encore la méthode de projection du maximum d'intensité pour renforcer le rapport contraste/bruit des vaisseaux.

COMPARAISON DES DEUX MÉTHODES

Comme on l'a vu, le principal inconvénient de l'angiographie par temps de vol consiste en la saturation des petits vaisseaux qui sont donc difficilement visualisés alors que l'angiographie par contraste de phase ne faisant pratiquement pas intervenir le phénomène d'entrée ne présente pas ce problème de saturation.

Par contre, l'application d'un gradient sensibilisant à l'effet de vitesse ne permet de visualiser que les vaisseaux dont la vitesse d'écoulement a une composante le long de ce gradient. La visualisation de tout l'arbre vasculaire dans un volume, nécessite donc l'acquisition de trois images angiographiques chacune sensibilisée dans une des trois directions de l'espace. De ce fait, le temps d'acquisition d'une angiographie par contraste de phase est plus long qu'en temps de vol. Par ailleurs, en angiographie par contraste de phase, l'opérateur doit entrer l'ordre de grandeur de la vitesse des vaisseaux que l'on veut visualiser. Ceci peut représenter un avantage si l'on veut sélectionner certains types de vaisseaux. En angiographie par temps de vol, un tel paramètre n'est pas demandé, mais intervient tout de même par les paramètres d'acquisition tel que le temps de répétition, ou l'angle de basculement.

Du point de vue de l'efficacité technique, le problème est assez difficile à trancher. En effet, il faut savoir qu'historiquement l'angiographie par temps de vol a été mise au point par la société Siemens tandis que l'angiographie par contraste de phase a été mise au point par la société General Electric. Chacune des sociétés ayant particulièrement soigné la mise au point de sa propre méthode tout en proposant tout de même les deux méthodes, il semble que les utilisateurs des appareils Siemens préfèrent l'angiographie par temps de vol, alors que les utilisateurs d'appareil General Electric préfèrent l'angiographie par contraste de phase. Il est donc nécessaire, pour obtenir une comparaison clinique efficace, d'attendre que tous les constructeurs aient bien maîtrisé les deux méthodes d'angiographie.

Evolution et perspectives

Il est évident que l'angiographie par résonance magnétique ne permet pas de visualiser des vaisseaux aussi fins que l'angiographie conventionnelle. Ceci est dû d'une part à la résolution spatiale habituelle de l'imagerie par résonance magnétique qui est de l'ordre du millimètre, d'autre part aux imperfections des méthodes. L'angiographie elles-mêmes. En particulier, les différents auteurs s'accordent sur le fait que l'angiographie par résonance magnétique surestime la taille des sténoses. Ceci est dû essentiellement à l'existence de turbulences en amont et en aval des sténoses provoquant des déphasages et des pertes de signal. C'est en raison de telles imperfections que les constructeurs et les différents laboratoires de recherches poursuivent leurs travaux sur l'amélioration des techniques d'ARM.

AMÉLIORATION DU CONTRASTE VAISSEAUX / TISSUS FIXES

Bien que, par leur principe, les deux méthodes d'ARM fournissent d'emblée un contraste de bonne qualité entre vaisseaux et tissus fixes, toute méthode permettant d'améliorer encore ce contraste permet la visualisation de détails plus fins.

Utilisation de produits de contraste

Les deux méthodes d'ARM ne nécessitent pas l'utilisation de produit de contraste, cependant, pour améliorer la qualité des images, certaines équipes emploient de surcroît des produits de contraste [18-20]. L'augmentation du contraste liée à ces produits s'ajoute à l'augmentation de signal due à l'effet d'entrée; l'algorithme de MIP est alors d'autant plus efficace.

Plus récemment, avec l'avènement de séquences rapides et ultra-rapides, certains auteurs réalisent des angiographies par simple soustraction d'une image prise avant injection de produit de contraste et après injection de produit de contraste [21]. Cette méthode d'angiographie est basée sur un principe équivalent à celui de l'angiographie numérisée par rayons X.

Une technique dite de transfert d'aimantation a récemment permis d'améliorer encore le contraste entre sang et tissus fixes [22-24]. Dans cette technique, on sature au moyen d'une impulsion radiofréquence les noyaux d'hydrogène des macromolécules et de l'eau liée; ces protons s'échangeant avec ceux de l'eau libre, il résulte une diminution de signal dans les tissus concernés. Etant donné que cet effet est beaucoup plus important dans les parenchymes que dans le sang, on observe une diminution nette du signal des tissus fixes. L'angiographie en est d'autant améliorée entraînant ainsi l'apparition des vaisseaux de plus petite taille

Acquisitions ultra-rapides et en apnée

Les performances des systèmes d'imagerie s'améliorant régulièrement, de nouvelles bobines de gradient avec des alimentations électriques plus performantes ont permis de raccourcir considérablement tous les délais inclus dans une séquence d'acquisition. C'est ainsi que le temps minimum d'acquisition d'une image, qui était de quelques minutes il y a quelques années, est progressivement passé à quelques secondes puis quelques fractions de secondes avec *l'écho planar*. Les techniques utilisant au moins partiellement ces nouveautés permettent actuellement d'obtenir des images d'angiographie en une quinzaine de secondes, permettant ainsi de réaliser des images en année. C'est à partir de ces images qu'ont pu être obtenues récemment des angiographies de l'arbre vasculaire pulmonaire ou même des coronaires [25-27].

Utilisation d'antennes spécialisées

Afin d'obtenir le maximum d'intensité de signal nécessaire à la visualisation de petits vaisseaux ou en acquisition ultra-rapide, certaines antennes spécialisées ont été conçues pour l'angiographie. C'est le cas d'antennes en réseau permettant d'obtenir des angiographies pulmonaires en apnée [28]

D'autres antennes permettent d'examiner l'ensemble de la tête et du cou pour la réalisation d'angiographie carotidienne ou l'ensemble des membres [29].

Problèmes de l'intensité du champ magnétique

Actuellement tous les constructeurs proposent des séquences d'angiographie quelle que soit l'intensité de champ magnétique.

Une étude angiographique à bas champ, à partir de 31 patients, a montré que la sensibilité et la spécificité étaient aussi bonnes qu'à champ intense [30]. Cependant, il est à noter aussi que la quasi-totalité des publications sur l'ARM ont été effectuées à champ intense c'est-à-dire à 1 Tesla et plus. Cela peut vouloir dire que les centres de recherche produisant la majorité des publications sont équipés d'appareils à champ intense. Mais il faut tout de même noter que, dans la mesure où l'ARM est basée sur une suppression de signal, il est essentiel que le signal de départ soit le plus intense possible, ce qui n'est réalisé qu'à haut champ. S'il est vrai que la publication sur les bas champs a eu autant de faux positifs que de faux négatifs, il est aussi vrai que les acquisitions en trois dimensions duraient environ 20 minutes alors qu'actuellement une angiographie 3D à champ intense peut se faire en moins d'une dizaine de minutes. De plus, l'évolution majeure vers les matrices de plus grande taille pour améliorer la résolution, et vers des temps d'acquisition plus courts, va apporter des besoins supplémentaires de signal que ne pourront certainement pas fournir les appareils à bas champ. Il semble donc inéluctable que l'écart de qualité entre les angiographies obtenues à champ intense et à champ faible doive se creuser.

Conclusion

Ce qui frappe quand on étudie la littérature sur la technologie de l'ARM, c'est le nombre important de publications apportant des nouvelles techniques ou des améliorations de techniques anciennes. Par conséquent, l'évaluation du rôle clinique de l'ARM, et sa position par rapport à l'angiographie conventionnelle, qui nécessitent l'étude de grandes séries de patients, ne peut être réalisée que pour une technique donnée à un moment donné. Il est donc clair que, tant que la technologie de l'ARM ne sera pas stabilisée, il sera difficile de déterminer sa place exacte dans l'arsenal des méthodes diagnostiques des pathologies vasculaires, et des réévaluations devront être régulièrement effectuées.

RÉFÉRENCES

- 1 WEHRLI FW, SHIMAKAWA A, GULLBERG GT, MACFALL JR. Time-of-Flight MR Flow Imaging: Selective Saturation Recovery with Gradient Refocusing. *Radiology* 1986, **160**: 781-785
- 2 LAUB GA, KAISER WA. MR angiography with gradient motion rephasing. *J Comput Assist Tomogr* 1988, **12**: 377-382
- 3 RUGGIERI PM, LAUB GA, MASARYK TJ, MODIC MT. Intracranial Circulation: Pulse. Sequence Considerations in Three dimensional [Volume] MR Angiography. *Radiology* 1989, **171**: 785-791
- 4 ATLAS SW, LISTERUD J, CHUNG W, FLAMM E.S. Intracranial Aneurysms: Depiction on MR Angiograms with a Multifeature Extraction, Ray-tracing Postprocessing Algorithm. *Radiology* 1994, **192**: 129-139

- 5 CLINE HE, DUMOULIN CL, LORENSEN WE, SOUZA SP, ADAMS WJ. Volume Rendering and Connectivity Algorithms for MR Angiography. *Magn Reson Med* 1990, **18**: 384-394
- 6 PARKER DL YUAN C, BLATTER DD. MR Angiography by Multiple Thin Slab 3D Acquisition. *Magn Reson Med* 1991, **17**: 434-451
- 7 BLATTER DD, PARKER DL, ROBISON RO. Cerebral MR angiography with Multiple Overlapping Thin Slab Acquisition. 1. Quantitative Analysis of Vessel Visibility. *Radiology* 1991, **179**: 805-811
- 8 BLATTER DD, PARKER DL, AHN SS et coll. Cerebral MR angiography with Multiple Overlapping Thin Slab Acquisition. 2. Early Clinical Experience. *Radiology* 1992, **183**: 379-389
- 9 LEWIN JS, LAUB G. Intracranial MR Angiography - A Direct Comparison of Three lime of-Flight Techniques. *Am J Roentgenol* 1992, **158**: 381-387
- 10 TKACH JA, LIN W. DUDA JJ, HAACKE EM, MASARYK TJ. Optimizing Three dimensional Time of Flight MR Angiography with Variable Repetition Time. *Radiology* 1994, **191**: 805-811
- 11 ATKINSON D, BRANT-ZAWADZKI M, GILLAN G. PURDY D, LAUB G. Improved MR Angiography: Magnetization Transfer Suppression with Variable Flip Angle Excitation and Increased Resolution. *Radiology* 1994, **190**: 890-894
- 12 MORAN PR. A Flow Velocity Zeugmatographic Interlace For NMR Imaging in Humans. *Magn Reson Imaging* 1982, **1**: 197-203
- 13 BRYANT DJ, PAYNE JA, FIRMIN DN, LONGMORE DB. Measurement of Flow with NMR Imaging Using a Gradient Pulse and Phase Difference Technique. *J Comput Assist Tomogr* 1984, **8**: 588-593
- 14 PELC LR, PELC NJ, RAYHILL SC et coll. Arterial and Venous Blood Flow Noninvasive Quantitation with MR Imaging. *Radiology* 1992, **185**: 809-812
- 15 BITTOUN J. BOURROUL E. JOLIVET O et coll. High-Precision MR Velocity Mapping by 3D. Fourier Phase Encoding with a Small Number of Encoding Steps. *Magn Reson Med* 1993, **29**: 674-680
- 16 DUMOULIN CL HART HR. Magnetic Resonance Angiography. *Radiology* 1986, **161**: 717-720
- 17 DUMOULIN CL, SOUZA SP, WALKER MF, WAGLE W. Three-Dimensional Phase Contrast Angiography. *Magn Reson Med* 1989, **9**: 139-149
- 18 MARCHAL G. MICHIELS J. BOSMANS H. VANHECKE P. Contrast Enhanced MRA of the Brain. *J Comput Assist Tomogr* 1992, **16**: 25-29
- 19 BOGDANOV AA, WEISSLEDER R. FRANCK HW et coll A New Macromolecule as a Contrast Agent for MR Angiography Preparation, Properties, and Animal Studies. *Radiology* 1993, **187**: 701-706
- 20 PRINCE MR. Gadolinium-enhanced MR Aortography. *Radiology* 1994, **191**: 155-164
- 21 LOUBEYRE P. REVEL D, DOUEK P et coll. Dynamic Contrast-Enhanced MR Angiography of Pulmonary Embolism: Comparison with Pulmonary Angiography. *Am J Roentgenol* 1994, **162**: 1035-1039
- 22 EDELMAN RR, AHN SS, CHIEN D et coll. Improved lime of-Flight MR Angiography of the Brain with Magnetization Transler Contrast. *Radiology* 1992, **184**: 395-399

- 23 LIN W, TRACH JA, HAACKE EM, MASARYK TJ. Intracranial MR Angiography: Application of Magnetization Transfer Contrast and Fat Saturation to Short Gradient-Echo, Velocity-compensated Sequences. *Radiology* 1993, **186**: 753
- 24 LI D, PASCHAL CB, HAACKE EM, ALDLER R LP. Coronary Arteries: Three dimensional MR Imaging with Fat Saturation and Magnetization Transfer Contrast. *Radiology* 1993, **187**: 401-406
- 25 EDELMAN RR, MANNING WJ, BURSTEIN D, PAULIN S. Coronary Arteries - Breath-Hold MR angiography. *Radiology* 1991, **181**: 641-643
- 26 MANNING WJ, LI W, BOYLE NG, EDELMAN RR. Fat-Suppressed Breath-Hold Magnetic Resonance Coronary Angiography. *Circulation* 1993, **87**: 94-104
- 27 EDELMAN R, MANNING WJ, PEARLMAN J. Human Coronary Arteries: Projection Angiograms Reconstructed from Breath-hold Two dimensional MR Images. *Radiology* 1993, **187**: 719-722
- 28 FOO TKF, MACFALL JR, HAYES CE, SOSTMAN HD, SLAYMAN BE. Pulmonary Vasculature-Single Breath-Hold MR Imaging with Phased-Array Coils. *Radiology* 1992, **183**: 473-477
- 29 MONROE JW, SCHMAUBROCK P, SPIGOS DG. Phased Array Coils for Upper Extremity MRA. *Magn Reson Med* 1995, **33**: 224-229
- 30 PAVONE P, MARSIU L, CATALANO C et coll. Carotid Arteries - Evaluation with Low-Field. Strength MR angiography. *Radiology* 1992, **184**: 401-404

Vaisseaux du foie: échographie, tomодensitométrie ou IRM ?

Introduction

Les vaisseaux afférents du foie sont représentés par: l'artère hépatique et la veine porte. Les vaisseaux afférents du foie sont représentés par les veines sus-hépatiques

Rappelons en introduction que cet exposé est valable à ce jour et uniquement, ne tenant pas compte de l'évolutivité des différentes techniques mais également de certains manques de résultats objectifs publiés concernant l'acquisition hélicale en tomодensitométrie. En effet les résultats publiés sur cette technique n'ont pas concerné la visualisation directe de l'artère hépatique, de la veine porte ou des veines sus-hépatiques mais se sont intéressés au rehaussement du parenchyme entraîné par ces vaisseaux pour optimiser, en fonction . - de la quantité de produit de contraste - du débit d'injection - et du déclenchement de la spirale, les phases artérielle et portale afin de déterminer le nombre des lésions hépatiques et leur caractérisation

Les maladies intéressant l'artère hépatique et les veines sus-hépatiques sont exceptionnelles, alors que les anomalies qui intéressent la veine porte sont plus fréquentes et marquées par plusieurs complications .

- la thrombose;
- la conséquence de la thrombose représentée par le cavernome;
- l'hypertension portale avec flux en va-et-vient, puis inversion complète et comme conséquence le développement des voies de dérivation de l'hypertension portale

En général, les points suivants apparaissent dans la littérature:

- l'écho-Doppler couleur est la première méthode d'examen des vaisseaux du foie car elle permet, à elle seule, d'examiner tous les vaisseaux du foie. artère hépatique, veines sus-hépatiques et système porte, tant en morphologie qu'en fonction

L'écho-Doppler permet par ailleurs d'apprécier le retentissement sur les parenchymes, représenté par les altérations d'échostructure et les modifications de la morphologie.

Cet examen est fiable, reproductible et ayant de nombreux avantages par rapport aux autres techniques. En effet, étant donné la finesse des vaisseaux, notamment veineux sus-hépatiques, cet examen permet

- de visualiser les thromboses intra-luminales notamment veineuses sus-hépatiques ou les sténoses;
- des thromboses partielles non occlusives de la veine porte ou de ses branches lobaires;
- les flux en va-et-vient observés au cours de l'hypertension portale;
- et peut révéler, en urgence, l'existence ou non d'un anévrisme de l'artère hépatique, souvent observé au décours d'une transplantation du foie, nécessitant alors un geste angiographique afin de déterminer exactement le siège de l'anévrisme, les segments d'aval et d'amont sains, la taille du collet et d'affirmer qu'il ne s'agit pas d'une simple boucle ou *kinking* de cette artère.

Ses limites tiennent essentiellement aux problèmes techniques observés en rapport soit avec le malade (année impossible...), soit avec la pathologie (atrophie hépatique, ascite...).

- La TDM explore mal les vaisseaux, soit du fait de leur orientation (veine sus-hépatique VSH), soit du fait de leur petite taille (artère hépatique). Elle explore uniquement le retentissement sur le parenchyme des maladies qui touchent ces vaisseaux. Par contre, elle explore parfaitement les thromboses récentes de la veine porte. Aucune donnée n'est disponible concernant le MIP (*Maximum Intensité Projection*) du système porte en mode hélicoïdal.

- L'IRM explore mal les vaisseaux comme l'artère hépatique, ou les veines sus-hépatiques essentiellement du fait de leur petite taille, mais explore bien la veine porte, les thromboses ainsi que les voies de dérivation de l'hypertension portale.

Artère hépatique

Les anomalies de l'artère hépatique sont essentiellement représentées par

- L'anévrisme artériel, qui touche les segments intra ou extra-hépatiques de l'artère hépatique;
- par les infarctus artériels, observés au décours d'un anévrisme de l'artère hépatique et donc par migration d'embolies

ANÉVRYSME DE L'ARTÈRE HÉPATIQUE

Les cas publiés apparaissent isolés, souvent observés au cours des maladies athéromateuses ou dans le cas particulier de la greffe du foie.

Toutes les études portant sur des cas isolés ou sur les complications vasculaires liées à la greffe ont bien montré que l'écho-Doppler artériel hépatique était suffisant à ce diagnostic, complété au mieux par une angiographie en urgence, et un traitement de restructuration artérielle.

Les cas publiés en scanner et en IRM sont anecdotiques.

INFARCTUS HÉPATIQUES D'ORIGINE ARTÉRIELLE

Ces infarctus surviennent souvent au décours d'un contexte post-opératoire et sont liés à un bas débit cardiaque ou chez des patients ayant un flux portai hépatofuge. Ils peuvent être observés également à la suite de migration d'embolies issues d'une thrombose d'un anévrisme de l'artère hépatique. Là encore, l'échotomographie fait le diagnostic d'anévrisme et les seules publications sur l'infarctus hépatique d'origine artérielle sont des publications de tomodensitométrie avec injection de produit de contraste permettant de différencier un rehaussement, absent à la phase artérielle et faible à la phase portale.

L'échographie est en défaut car l'infarctus est souvent iso-échogène par rapport au foie et il n'existe pas dans la littérature de données IRM sur ces infarctus hépatiques.

Veines sus-hépatiques

La maladie de Budd-Chiari est rare puisque environ cinq nouveaux cas sont observés dans chaque centre d'hépatologie ou de radiologie digestive par année, au maximum.

Les études rapportées dans la littérature ont été ponctuelles ou souvent multicentriques et se sont intéressées plus aux modifications morphologiques ou hémodynamiques du foie qu'aux vaisseaux eux-mêmes.

L'avantage de l'échographie est de mettre en évidence directement les anomalies des veines sus-hépatiques à savoir les thromboses intra-luminales ou les irrégularités ou les sténoses observées dans les obstructions anciennes des veines sus-hépatiques. L'échographie permet par ailleurs de mettre en évidence les conséquences de ces obstructions, à savoir les voies de dérivation veino-veineuses bien appréciées au niveau des segments restant drainés tel que le lobe caudé.

Aucune étude comparative n'a été faite entre l'échographie, le scanner et l'IRM, étant donné la faiblesse de l'IRM et du scanner pour la détection des thromboses intra-luminales de ces petits vaisseaux.

Par contre, la tomodensitométrie et l'IRM se sont intéressées aux modifications morphologiques du foie et aux modifications de rehaussement du foie liées aux secteurs où le flux portai reste hépatopète et à ceux où le flux portai est devenu hépatofuge; ces modifications ont été étudiées en fonction du degré, du siège et de l'ancienneté de l'obstruction.

Veine porte

Les maladies intéressant la veine porte sont représentées par la thrombose, le cavernome et l'hypertension portale. Néanmoins, en dehors de toute pathologie vasculaire proprement dite, la cartographie du tronc porte est souvent demandée dans un but pré-opératoire de chirurgie d'exérèse des tumeurs du foie ou du pancréas mais également avant toute chirurgie de dérivation sur hypertension portale ou avant transplantation hépatique

L'écho-Doppler couleur permet grâce au codage couleur de déceler mieux que toute autre méthode les thromboses partielles et par l'analyse spectrale montrer les flux en « va-et-vient » observés au cours d'hypertension portale débutante

Il faut rappeler néanmoins que ni l'échotomographie ni l'IRM ne permettent le diagnostic de thrombus récent de la veine porte; le caractère récent est seul mis en évidence par la tomodensitométrie sans injection montrant l'hyperdensité spontanée du caillot. Cependant ce phénomène est rare mais il doit être connu afin d'instaurer un traitement anti-coagulant en urgence qui peut restaurer la lumière vasculaire.

L'apport de l'IRM est donc de pouvoir visualiser le tronc porte ainsi que ses branches lobaires à condition d'effectuer, comme l'ont montré deux travaux initiaux [9,10], les séquences en écho de gradient à TR court, à TE court et à petit angle de bascule entraînant un haut signal dans la lumière vasculaire en cas de perméabilité (phénomène d'entrée de coupe)

Ces deux études ont montré néanmoins qu'il pouvait exister des artéfacts notamment au niveau du confluent spléno-mésentérique, c'est-à-dire à la partie basse du tronc porte et en cas de flux lent, c'est-à-dire en cas d'hypertension portale.

Dans ces conditions, ces auteurs ont couplé ces séquences d'écho de gradient à des séquences en écho de spin T1 avec bandes de pré-saturations inférieures et supérieures pour ôter tout artéfact sur ces séquences

Comparaison entre l'IRM et l'écho-Doppler en pathologie vasculaire hépatique portale

POUR L'ÉVALUATION D'UNE THROMBOSE

Dans une étude portant sur 14 thromboses portales (dont 14 patients avec hypertension portale) vues en TDM sans mode hélical, et en échographie sans Doppler, l'IRM permet dans tous les cas ce diagnostic. L'avantage de l'IRM est de mieux préciser les circulations collatérales observées au cours de l'HTP (24 % en plus que la TDM, 50 % en plus que l'échographie) [11]. La meilleure visualisation des circulations collatérales extra-hépatiques est soulignée dans un autre article comparant IRM, TDM et ultrasons [12].

POUR LE BILAN D'UNE HYPERTENSION PORTALE

Dans l'étude de Finn et coll., l'angio IRM (2D temps de vol) a été comparée au Doppler chez 60 malades ayant une cirrhose. Si les obstructions portales sont peu nombreuses dans cette série (5 patients), les auteurs ont montré une corrélation significative entre le grade des varices gastriques vues en IRM et la chirurgie, alors que cette corrélation n'existe pas en Doppler. Les shunts sont correctement analysés en IRM alors qu'ils ne le sont pas en Doppler [13]. Ces résultats sont confirmés par l'étude de Lomas et coll. [14] comparant ces deux techniques chez 23 malades avant greffe, détectant mieux la circulation collatérale et son siège (31 sites chez 17 malades en IRM versus 24 sites en ultrasons). Il n'existe actuellement aucune étude comparant IRM et TDM en mode hélicoïdal.

Comparaison entre l'IRM et l'angiographie dans l'hypertension portale

L'IRM a été réalisée dans l'étude de Rodgers et coll., après injection de contraste (FLASH, plan coronal oblique), et comparée à l'angiographie conventionnelle chez 18 malades. Sur les 84 vaisseaux étudiés, des résultats identiques ont été observés dans 90 % des vaisseaux. Ces résultats confirment que l'IRM en EG (en écho de gradient) avec injection de produit de contraste paramagnétique peut remplacer l'angiographie conventionnelle [15].

Conclusion

- L'écho-Doppler est la première méthode d'imagerie à réaliser lorsque une maladie des vaisseaux intra-hépatiques est suspectée. L'IRM est meilleure que l'échographie, identique à l'angiographie, en termes de visualisation:
 - de circulation collatérale extra-hépatique,
 - de perméabilité des shunts.

Rappelons qu'il n'existe actuellement aucune étude comparant IRM et TDM en mode hélicoïdal.

Pour le retentissement sur le parenchyme (infarctus, zones ischémiques et/ou nécrotiques), l'IRM est équivalente à la TDM.

Rappelons également le souci toujours présent de ne pas faire d'injection de produit de contraste chez des malades cirrhotiques ou ayant une HTP, qui ont fréquemment une insuffisance rénale.

- L'écho-Doppler et l'IRM semblent donc être les deux méthodes de référence actuelles pour l'exploration des vaisseaux du foie et de leur éventuel retentissement sur le parenchyme hépatique.

RÉFÉRENCES

- 1 VOLGELZANG RL et coll. Budd Chiari syndrome: CT observations. *Radiology* 1987, **163**: 329-333
- 2 MATHIEU D et coll. Budd Chiari syndrome: Dynamic CT. *Radiology* 1987, **165**: 409-413
- 3 VAN BEERS B et coll. Hepatic heterogeneity on CT in Budd Chiari syndrome. *Gastrointest Radiol* 1988, **13**: 61-66
- 4 Acute thrombosis of the inferior vena cava and hepatic veins in patients with Budd Chiari syndrome. *Am J Roentgenol* 1989, **153**: 987-991
- 5 MENU Y et coll. Budd Chiari syndrome US evaluation. *Radiology* 1985, **157**: 761-764
- 6 STARK DD et coll. MRI of the Budd Chiari syndrome. *Am J Roentgenol* 1985, **157**: 761-764
- 7 MILLER WJ et coll. Budd Chiari syndrome: imaging with pathologic correlation. *Abdom Imaging* 1993, **18**: 329-335
- 8 SOYER P et coll. MRI of Budd Chiari syndrome. *Abdom Imaging* 1994, **19**: 325-329
- 9 ANGLADE M-C et coll. Abdominal venous thrombosis: applications of gradient echo magnetic resonance imaging. *Diagn Interv Radiol* 1989, **1**: 61-67
- 10 ARRIVÉ L et coll. Diagnosis of abdominal venous thrombosis by means of spin echo and gradient echo MR imaging: analysis with receiver operating characteristic curves. *Radiology* 1991, **181**: 661-668
- 11 ZIRINSKY K et coll. MR imaging of portal venous thrombosis: correlation with CT and sonography. *Am J Roentgenol* 1988, **150**: 283-288
- 12 MARTINOU C et coll. Gradient echo MRI of portal vein thrombosis. *J Comput Assist Tomogr* 1992, **16**: 226-234
- 13 FINN JP et coll. Imaging of the portal venous system in patients with cirrhosis: MR angiography vs Duplex Doppler sonography. *Am J Roentgenol* 1993, **161**: 989-994
- 14 LOMAS DJ et coll. A comparison of MR and Duplex Doppler ultrasound for vascular assessment prior to orthotopic liver transplantation. *Clin Radiol* 1994, **49**: 307-310
- 15 RODGERS PM et coll. Dynamic contrast enhanced MR imaging of the portal venous system: comparison with x-ray angiography. *Radiology* 1994, **191**: 741-745

10

Autres vaisseaux de l'abdomen

Etude des débits sanguins mésentériques

- Cette évaluation a un double objectif: évaluer l'apport sanguin mésentérique dans l'ischémie digestive,
- apporter des facteurs prédictifs à l'apparition de métastases hépatiques au cours des cancers colorectaux

EVALUATION DE L'ISCHÉMIE MÉSENTÉRIQUE

Dans une étude prospective [1] de 10 volontaires asymptomatiques et 10 patients, examinés au moyen d'une ciné-IRM en contraste de phase à jeun et après un repas standardisé, il apparaît des différences significatives entre les volontaires et les patients porteurs d'ischémie mésentérique, l'augmentation maximale du flux mésentérique veineux au cours de la digestion étant de 245 % au niveau de la veine mésentérique supérieure chez les volontaires contre 64 % chez les patients.

Le même type d'étude en contraste de phase par ciné-MR [2] a été employé au niveau de l'artère mésentérique supérieure et de la veine mésentérique supérieure chez six volontaires et huit patients dont six asymptomatiques et deux symptomatiques. L'augmentation du rapport de débit veine/artère après ingestion d'un repas standardisé montre une augmentation du rapport de 1,7 pour les volontaires et les sujets asymptomatiques contre une chute de 0,7 chez les patients symptomatiques.

DÉTECTION DES MICROMÉTASTASES HÉPATIQUES

Dans deux études effectuées par la même équipe [3, 4], l'évaluation du débit artériel hépatique par écho-Doppler a été corrélée à l'apparition de métastases hépatiques chez des patients opérés pour cancers colorectaux. Cette étude montre une corrélation étroite entre l'augmentation du débit hépatique au moment de la découverte du cancer primitif et l'apparition de métastases hépatiques au cours des deux années suivantes.

Analyse de perfusion des parenchymes

Plusieurs études se sont penchées sur la cinétique de rehaussement du signal des parenchymes et des tumeurs en IRM dynamique utilisant des séquences d'écho de gradient à TE et TR courts, après injection de produits de contraste paramagnétiques. Ces études se rapprochent de celles consacrées plus spécifiquement à la perfusion tissulaire.

Ces études concernent le foie, la rate, l'estomac et le pancréas de volontaires sains. Dans l'une d'elles [15], les auteurs montrent un rehaussement du foie, de la rate, du pancréas, des reins et de la paroi gastrique de 78, 144, 75, 216 et 96 %, 45 secondes après l'administration intraveineuse du produit de contraste. D'autres études fournissent des renseignements similaires [6, 7].

Parallèlement, d'autres études se sont penchées sur des tentatives de caractérisation tissulaire en particulier au niveau du foie, au moyen des mêmes techniques d'IRM dynamique.

Dans le cadre d'une étude ROC à partir d'une étude prospective de 42 patients [8], la sensibilité est de 89 % et la spécificité de 93 % dans la différenciation des hémangiomes, des métastases et des carcinomes hépatocellulaires.

Dans une autre étude de 36 patients [9], les lésions d'hyperplasie nodulaire focale se différencient de façon significative des lésions tumorales malignes grâce à la dynamique du produit de contraste. Cette étude s'appuie sur des données exposées préalablement [9].

Conclusion

La cinétique du produit de contraste paramagnétique au niveau des organes intra-mais également extra-abdominaux apparaît intéressante comme critère de référence par rapport à la cinétique de produit de contraste dans des processus tumoraux ou infectieux. L'accent est mis actuellement sur des tentatives de caractérisation tissulaire au moyen de l'IRM, technique beaucoup plus sensible que le scanner en termes de résolution en contraste dont le bénéfice à terme devrait être une amélioration de la spécificité.

RÉFÉRENCES

- 1 BURKART DJ, JOHNSON CD, READING CC, EIHMAN RL MR measurements of mesenteric venous flow: prospective evaluation in healthy volunteers and patients with suspected chronic mesenteric ischemia. *Radiology* 1995, **194**: 801-806
- 2 LI KCP, HOPKINS KL, DAL RL SONG CK Simultaneous measurements of flow in superior mesenteric vein and artery with cine phase contrast MR imaging: value in diagnosis of chronic mesenteric ischemia. *Radiology* 1995, **194**: 327-330
- 3 LEEN E. GODBERG JA, ROBERTSON J et coll. Detection of hepatic metastases using Doppler color sonography. *Ann Surg* 1991, **214**: 599-604
- 4 LEEN E. ANGERSON WJ, WOTHERSPOON H. MOULE B. COOK TG, MCARDLE CS. Detection of colorectal liver metastases: comparison of laparotomy, CT, US, and Doppler perfusion index and evaluation of postoperative follow-up results. *Radiology* 1995, **195**: 113-116
- 5 HAMED MM, HAMM B. IBRAHIM ME, TAUPITZ M, MAHFOUZ AE. Dynamic MR imaging of the abdomen with gadopentetate dimeglumine: normal enhancement patterns of the liver, spine, stomach and pancreas. *Am J Roentgenol* 1986, **158**: 303-307
- 6 MIROWITZ SA, LEE JKT, GUTIERREZ E. BROWN GJ, HEIKEN JP, EILENBERG SS. Dynamic gadolinium-enhanced rapid acquisition spin echo MR imaging of the liver. *Radiology* 1991, **179**: 371-376
- 7 PETTIGREW RI, AVRUCH L, DANIELS W. COUMANS J. BERNARDINO ME. Fast field-echo MR imaging with Gd-DTPA: physiologic evaluation of the kidney and liver. *Radiology* 1986, **160**: 561-563
- 8 EGGLIN TK, RUMMENY E. STARK DD, WITTENBERG J. SAW S. FERRUCCI JT. Hepatic tumors: quantitative tissue characterization with MR imaging. *Radiology* 1990, **176**: 710
- 9 MAHFOUZ AE, HAMM B. TAWITZ M, WOLF KJ. Hypervascular liver lesions: differentiation of focal nodular hyperplasia from malignant tumors with dynamic Gadolinium-enhanced MR imaging. *Radiology* 1993, **186**: 133-138
- 10 MATHIEU D, RAHMOUNI A, ANGLADE MC, FALISE B. BEGES C, GHEUNG P. MOLLET JJ, VASILE N. Focal nodular hyperplasia of the liver: assessment with contrast-enhanced Turboflash MR imaging. *Radiology* 1991, **180**: 25-30

Annexe :stratégie documentaire

Le nombre de références sélectionnées a été d'environ 1 650.

La recherche documentaire a porté:

- sur l'imagerie dans:
 - la pathologie vasculaire des membres inférieurs
 - l'étude de la microcirculation et des lymphatiques
 - la pathologie de l'aorte à ses différents étages (thoracique, abdominal)
 - la pathologie de la circulation rénale
 - l'étude des vaisseaux pulmonaires
 - l'étude des vaisseaux du foie et du pancréas

la méthodologie de l'angiographie par résonance magnétique, le scanner spirale.

L'interrogation des bases de données a été faite, chez l'homme:

- depuis 1985, 1990 ou 1995 suivant les domaines
- dans toutes les langues
- dans les bases de données Medline, Excerpta Medica, Inspec, DISS, Pascal, DHSS, HPLA (économie de la santé).

Les mots-clés utilisés ont été pour :

a - Medline	b - Excerpta Medica
Vascular disease (et ses termes spécifiques) Blood vessels (et ses termes plus spécifiques) Microcirculation Lymphatic system 1 Lymphangitis Lymphangiectasis Lymphangiome Lymphedema Magnetic resonance imaging Tomography Tomography emission computed Tomography scanners, X-Ray computed Gamma cameras 2 Radionuclide imaging Radionuclide angiography Ultrasonography	Vascular disease (et ses termes spécifiques) Lymph flow Lymphatic drainage Lymphedema 1 Lymphatic system Lymphangitis Microcirculation Muscle blood flow Nuclear magnetic resonance Nuclear magnetic resonance imaging Computer assisted tomography Emission tomography Angiography 2 Tomoscintigraphy Echotomography Echography

a - Medline	b - Excerpta Medica
Angiography (et ses termes spécifiques) Lymphography Spiral (AV), scan+T Stratégie 1 et 2	Lymphography Scintigraphy Stratégie 1 et 2
c - Pascal	d - Inspec
1 Homme Appareil circulatoire ou Artère ou veine ou Aorte Ischemia Thrombose Thromboembolie Arteriopathie Athérosclérose Anévrisme Imagerie IRM Tomodensitométrie Angiographie Artériographie Aortographie Phlébographie 2 Portographie Echographie Exploration ultrason Scanner Stratégie 1 et 2	1 Vascul\$ ou vessel\$ ou circulation ou arter\$ ou vein\$ Scanner\$ Imaging 2 Magnetic and resonance and imag\$ Tomodensitometr\$ Radiology units X Ray radiography equipment Stratégie 1 et 2
	e - HPLA
	1 Vascul\$ ou vessel\$ ou cardiovascular diseases Magnetic resonance imaging 2 Tomography scanners X Ray computed Radiology department hospital Scanner\$ 3 Economics ou equipment ou cost\$ ou prospective Stratégie 1 et 2 et 3