

TRAITEMENT DES TUMEURS DU REIN PAR RADIOFRÉQUENCE

par

J.M. CORREAS*, A. MÉJEAN**, D. JOLY*** et O. HÉLÉNON*

Le développement du traitement faiblement invasif des cancers du rein repose sur trois éléments : 1) la tumorectomie chirurgicale a fait la preuve de son efficacité carcinologique ; 2) la préservation du capital néphronique est une nécessité pour limiter la proportion de patients présentant une insuffisance rénale, ce problème devenant particulièrement aigu pour les sujets âgés ; 3) la fréquence des petites tumeurs du rein (par définition d'un diamètre de moins de 3 cm) de découverte fortuite qui ne cesse d'augmenter pour dépasser aujourd'hui 30 p. 100 [1]. Cette augmentation est liée d'une part à la croissance de l'incidence du cancer du rein dans les pays industrialisés et d'autre part à la pratique croissante de l'imagerie abdominale et rénale par ultrasons, tomодensitométrie ou résonance magnétique.

Deux techniques d'ablation sont aujourd'hui disponibles : l'ablation radiofréquence (ARF) et la cryothérapie. L'ARF sera seule discutée, car elle est beaucoup plus utilisée par voie percutanée en raison du calibre des électrodes et de son efficacité. Le traitement faiblement invasif apparaît comme un traitement de choix pour les patients présentant un cancer du rein héréditaire, pour lesquels les tumeurs sont volontiers récidivantes et bilatérales (comme la maladie de von Hippel-Lindau), ainsi que pour les patients présentant des contre-indications chirurgicales [2]. Les patients âgés représentent une proportion croissante de patients porteurs de cancers du rein. Ils sont aussi d'excellents candidats pour la radiofréquence, car ils sont porteurs de multiples facteurs de co-morbidité et particulièrement exposés au risque d'insuffisance rénale. Parmi les nouvelles techniques qui deviennent disponibles, le traitement par

* Service de Radiologie adultes, Groupe hospitalier Necker Enfants-Malades, Paris. ** Service d'Urologie, Groupe hospitalier Necker Enfants-Malades, Paris. *** Service de Néphrologie adultes, Groupe hospitalier Necker Enfants-Malades, Paris.

micro-ondes paraît le plus prometteur car il permet d'augmenter l'efficacité de l'ablation sans recourir à des électrodes d'un diamètre excessif qui contre-indiquerait une mise en place par voie percutanée.

PRINCIPE DE L'ARF

L'ARF repose sur l'application d'un courant alternatif de 350 à 480 kHz à partir d'une électrode insérée dans la tumeur. L'agitation ionique entraîne un échauffement de la tumeur au-delà de 55 °C, température considérée comme létale pour les cellules [2, 3]. Elle aboutit à la formation d'une nécrose de coagulation. Pour être carcinologiquement efficace, la température létale doit être atteinte dans tout le volume tumoral et si possible au-delà, afin de créer une marge de sécurité de quelques millimètres. L'énergie appliquée peut varier de 30 W à plus de 250 W selon les générateurs utilisés.

On distingue plusieurs systèmes en fonction du circuit électrique. Pour les systèmes monopolaires, le courant électrique circule entre la partie dénudée de l'électrode et les plaques de conduction appliquée sur les cuisses ou les fesses. L'électrode peut être unique et doit, dans ce cas, être refroidie afin de ne pas carboniser les tissus à son contact immédiat, ce qui limiterait la dissipation de la chaleur dans la tumeur (électrode « Cool-Tip™ », *Tyco Healthcare Group LP Mallinckrodt, Boulder, USA*). Plusieurs électrodes peuvent être insérées afin d'augmenter le diamètre de la zone traitée. Celles-ci sont, soit jointes ensemble (« *cluster electrode* ») et doivent être introduites simultanément, soit indépendantes (« *switching controller* »). Le dépôt de l'énergie calorifique peut aussi être obtenu par un nombre plus élevé d'électrodes qui, comme des baleines de parapluie, se déploient soit dans l'axe de l'aiguille porteuse (*RITA Medical Systems, Fremont, USA*), soit reviennent vers la sonde sous la forme de parapluie (*Boston Scientific Corporate, Natick, MA*). L'énergie dissipée par chacune des électrodes est plus faible et il n'est plus nécessaire de les refroidir pour éviter la carbonisation tissulaire de contact.

Plus récemment, les systèmes bipolaires et multipolaires ont été développés (*Celon ProSurge, Olympus KeyMed Ltd, Essex, UK*). La même électrode comporte alors les deux pôles (système bipolaire) et les plaques de conduction cutanées ne sont plus nécessaires. Lorsque plusieurs électrodes bipolaires sont introduites dans la tumeur, le courant circule alternativement entre chacun des dipôles qui seront formés entre les différents pôles. Cette nouvelle approche minimise la dissipation du courant électrique dans le corps humain et s'applique plus aisément aux patients porteurs de prothèses métalliques (prothèses aortiques, prothèses de hanche), celles-ci perturbant la circulation de l'énergie, ainsi qu'aux patients porteurs de pace-maker, qui peuvent être déréglés par la procédure.

Les algorithmes de traitement des tumeurs du rein dérivent de ceux développés pour les tumeurs du foie. Ils doivent prendre en compte les différences qui caractérisent la perfusion des deux organes et la vascularisation intrinsèque des tumeurs traitées. En particulier, le caractère hypervasculaire des cancers à cellules claires (en particulier dans la maladie de von Hippel-Lindau) entraînent un refroidissement rapide de la tumeur, ce d'autant que la dissipation

thermique du rein normal est très supérieure à celle du foie, en raison d'une part d'un débit sanguin supérieur, et d'autre part de l'importance des éléments dissipateurs thermiques du sinus rénal (artères et veines, lymphatiques, voie excrétrice).

INDICATIONS D'ARF RÉNALE

Les dossiers des patients pouvant bénéficier d'une ARF rénale doivent être discutés par un comité multidisciplinaire comprenant des urologues, oncologues et radiologues pratiquant cette technique. L'ARF est indiqué chez les patients présentant des contre-indications chirurgicales (en particulier liées à l'âge) car le traitement de référence reste chirurgical, par néphrectomie totale ou si possible partielle. Il s'agit [2-5] :

- de patients âgés, présentant des contre-indications à l'anesthésie générale, et pour lesquels la préservation de la fonction rénale est importante ;
- des tumeurs solides. Ce concept est actuellement remis en cause puisque les tumeurs contenant une portion kystique ou nécrotique limitée présentent un taux de succès équivalent. Les indications pourraient même être étendues à certaines tumeurs kystiques et aux kystes rénaux bénins symptomatiques ;
- de tumeurs de moins de 4 cm de diamètre, selon leur localisation (taux de succès de 92 à 100 p. 100). Les tumeurs centrales présentent une dissipation thermique élevée. Le taux de succès primaire (nécrose tumorale complète après une seule session de ARF) est plus faible (61-78 p. 100) et la tumeur ne doit pas dépasser 3 cm de diamètre. Les tumeurs exorénales de taille plus importante peuvent être traitées complètement avec une seule session même si leur diamètre dépasse 3 cm (jusqu'à 5,5 cm). En effet, leur refroidissement est plus limité par un contact faible avec le parenchyme rénal sain et par l'isolation qu'entraînent la capsule tumorale et la graisse rétropéritonéale ;
- de patients porteurs de cancers du rein héréditaires, pour lesquels le risque de récurrence homo- et controlatérale est très élevé (maladie de von Hippel-Lindau, cancers papillaires héréditaires, sclérose tubéreuse de Bourneville...) ;
- patients porteurs d'un rein unique ou ayant une insuffisance rénale.

Les contre-indications relatives sont la présence d'un large contact avec la voie excrétrice ou le tube digestif (tumeurs antérieures). Cependant, le traitement des tumeurs centrales en contact avec la voie excrétrice doit être précédé par la mise en place d'une sonde urétérale afin de réaliser un rinçage de l'arbre pyélocaliciel par du sérum glacé. La mobilisation du patient (décubitus latéral, procubitus, compression externe par des draps roulés) permet le plus souvent de réduire le contact avec le tube digestif afin d'éviter toute lésion de celui-ci par l'échauffement. En cas de contact persistant, on peut réaliser une dissection. Une aiguille fine de 22 G est insérée entre la structure digestive et la tumeur rénale et permet l'injection d'air, de sérum physiologique ou glucosé hypertonique [6]. Dans notre expérience, l'air diffuse largement dans le rétropéritoine et peut gêner considérablement la mise en place des électrodes sous échographie. Notre préférence va au sérum glucosé hypertonique, qui, de plus, n'est pas conducteur électrique.

La présence de prothèses totales de hanche ou de tiges vertébrales métalliques va modifier le trajet du courant électrique. La position des plaques de

conduction devra être modifiée en conséquence. Par ailleurs, il faudra prendre des précautions particulières chez les patients porteurs de pace-maker car ceux-ci peuvent être déréglés lors de la procédure d'ARF.

RÉALISATION PRATIQUE DE L'ABLATION RADIOFRÉQUENCE

Bilan avant traitement

Le bilan avant radiofréquence comporte chez les patients une étude de la fonction rénale, de la coagulation et surtout une étude précise de la nature, taille position et vascularisation de l'ensemble des lésions rénales. L'examen TDM avec injection (sauf en cas d'insuffisance rénale avancée), l'IRM et l'échographie de contraste sont complémentaires (fig. 1 et 2 ; Planches en couleurs p. 237 et 238).

La TDM est l'examen de référence, qui sera aussi utilisé lors de la procédure. Elle comprend une étude sans injection, puis aux temps de la néphrographie corticale et tubulaire, ainsi qu'au temps excrétoire tardif (*voir* fig. 1). L'appréciation de la position de la tumeur par rapport aux structures vasculaires et digestives, ainsi qu'avec la voie excrétrice est essentielle et repose sur l'étude en 3D à partir des reconstructions multiplanaires et en MIP. Aux mesures traditionnelles, s'ajoutent celles du volume tumoral en 3D et la mesure de l'importance du rehaussement après injection. La voie d'abord est étudiée par rapport aux autres organes, sans oublier le cul-de-sac pleural [2-5].

L'IRM sera utilisée dans le suivi, soit de façon prépondérante ou unique chez les patients en insuffisance rénale modérée (clairance de la créatinine > 40 ml/min), soit de façon exclusive si l'insuffisance rénale est sévère (clairance de la créatinine < 40 ml/min). Elle comporte une séquence en écho de spin en pondération T2 avec saturation du signal de la graisse et une séquence dynamique en écho de gradient en pondération T1 avec saturation du signal de la graisse. Si le plan axial est choisi afin de faciliter la superposition avec l'étude TDM, une séquence tardive est effectuée dans un plan coronal afin de mieux visualiser la position de la tumeur. La position de la lésion est soigneusement étudiée dans les trois plans, afin de déterminer précisément ses rapports avec le sinus, la voie excrétrice, les gros vaisseaux et le tube digestif.

L'échographie réalisée avant la procédure permet d'évaluer l'accessibilité de la tumeur pour la mise en place des électrodes. Le guidage s'effectue en temps réel et permet le positionnement de l'électrode même pour des lésions profondes de taille infracentimétriques. L'administration d'un agent de contraste (SonoVue[®], Bracco, Milan, Italie) améliore la visibilité de certaines petites lésions et surtout permet d'étudier, d'une part les rapports vasculaires, et d'autre part l'importance de la néovascularisation tumorale (*voir* fig. 2c). De plus, elle constitue l'examen de référence pour le contrôle effectué au cours de la procédure d'ARF. En l'absence de toxicité rénale, elle peut constituer un examen utile au cours de la surveillance.

À l'issue du bilan, le patient peut poser les questions qui lui semblent nécessaires et une feuille d'information et de consentement lui est remise.

Déroulement de l'ARF

La mise en place des électrodes peut être effectuée par voie percutanée sous guidage TDM et/ou ultrasonore, ou durant une procédure chirurgicale (laparotomie ou cœlioscopie). Dans notre expérience, la très large majorité des procédures sont effectuées par voie percutanée et sous sédation consciente.

Dans notre équipe, la procédure d'ARF se déroule sous sédation consciente, dans la salle de TDM. En cas de mauvaise tolérance, le niveau de l'analgésie peut être augmenté et aboutir au maximum à une anesthésie générale avec intubation (aucun cas sur les trois dernières années). Après un repérage TDM sans injection et une étude échographique, le patient est soigneusement positionné de façon à optimiser le trajet de l'électrode, repérer le cul-de-sac pleural et à éloigner les structures digestives. L'indication de la biopsie dépend du contexte clinique et de l'aspect de la tumeur en imagerie. Son trajet doit être soigneusement choisi pour ne pas gêner l'ARF ultérieure par l'apparition d'un saignement péri-tumoral et l'introduction de bulles de gaz. Elle peut être réalisée immédiatement avant l'ARF ou à distance :

- en cas de cancer du rein familial ou de tumeur rénale homo- ou contre-latérale traitée récemment par chirurgie, la biopsie n'est pas effectuée ;

- dans les autres cas, la biopsie est effectuée, soit immédiatement avant la procédure afin de profiter de l'analgésie par voie intraveineuse et améliorer l'impact de la prise en charge de cette tumeur pour le patient (hospitalisations, durée d'immobilisation...). L'ARF est réalisée sans attendre les résultats de la biopsie. Néanmoins, les contrôles TDM et échographiques réalisés immédiatement après la biopsie avant l'ARF montre la présence d'un hématome quasi constant. Associé à la présence de microbulles d'air, ils gênent le positionnement de l'électrode ;

- la biopsie est réalisée à distance avant l'ARF lorsque la tumeur est de petite taille (< 2 cm) et sa présentation atypique en imagerie (absence de caractère hyper-vasculaire).

Le choix du type de système et de l'électrode dépend étroitement de l'expérience des équipes, de la taille et de la position de la tumeur. De principe, le contrôle du déploiement des baleines des électrodes expansibles est difficile et ces systèmes doivent être évités lorsque la tumeur est en position sinusale ou au contact de structures sensibles (voie excrétrice, gros vaisseaux, tube digestif). Le diamètre d'ablation affiché par les constructeurs a le plus souvent été déterminé pour le traitement des tumeurs du foie. En raison de l'hypervascularisation des tumeurs et du parenchyme rénal, il ne faudra pas hésiter à privilégier des électrodes de diamètre supérieur. Si pour les tumeurs de diamètre inférieur à 2 cm, les électrodes uniques donnent de bons résultats, il faudra utiliser les systèmes multi-électrodes pour les lésions de plus de 2 cm (« *cluster electrode* » et « *switch* » de 2 ou 3 électrodes).

La position de l'électrode (simple ou multiple) est optimisée en combinant le guidage TDM et ultrasonore. Celle-ci doit demeurer au centre de la tumeur sur toute sa course et atteindre la capsule distante du point d'entrée. En effet, les marges de sécurité sont extrêmement limitées par la dissipation thermique élevée du rein normal et tumoral. Le diamètre de l'électrode est choisi en fonction du diamètre de la lésion, de la proximité des structures nobles (vaisseaux, voie excrétrice, tube digestif). Il doit dépasser le diamètre typiquement recommandé pour une ARF hépatique d'une tumeur de diamètre équivalent. Pour les

tumeurs périphériques, les différents systèmes nous paraissent équivalents. En revanche, les électrodes « parapluie » ont un risque de lésion vasculaire ou de la voie excrétrice supérieure lorsqu'il s'agit de tumeurs centrales ou de tumeurs dont la partie profonde dépasse dans le sinus rénal.

Le contrôle immédiat de l'efficacité est limité. L'apport de l'échographie est limité par le dégagement gazeux qui gêne l'étude du territoire traité. En mode B et harmonique tissulaire, le nodule devient hétérogène et hyperéchogène. Les modes Doppler couleur et puissance ne sont pas suffisamment sensibles pour détecter les flux au sein des portions tumorales non traitées. Ils sont d'autre part très artéfactés par la présence des bulles gazeuses. Lorsque le dégagement gazeux est modéré, l'administration d'un produit de contraste permet de rechercher la persistance d'un territoire hypervasculaire correspondant à un tissu tumoral résiduel. Cette technique a pour avantage de pouvoir être répétée et de guider en temps réel le repositionnement de l'électrode.

La TDM sans injection est inutile pour évaluer l'efficacité du traitement. Typiquement le nodule est hétérogène et discrètement hyperdense. En revanche, elle montre bien le dégagement gazeux et recherche les complications hémorragiques. Après injection, la TDM permet de rechercher la persistance d'un tissu tumoral vascularisé. La comparaison avec une série sans injection est indispensable en raison de l'aspect hétérogène et hyperdense du territoire traité. Cependant, l'injection d'un produit de contraste iodé ne peut pas être effectuée en cas d'insuffisance rénale modérée ou avancée car la dégradation de la fonction rénale est à ce stade inconnue. D'autre part, cette évaluation ne peut être réalisée qu'une seule fois car le rehaussement persiste pendant plusieurs heures. Celui-ci est parfois d'interprétation équivoque et il ne faudra pas confondre une colonne de Bertin avec un tissu tumoral résiduel. Le parenchyme rénal normal adjacent à la tumeur et qui a été échauffé présente le plus souvent un rehaussement limité comparé au parenchyme rénal distant. La comparaison avec l'examen de référence réalisé avant l'ARF est absolument fondamentale pour évaluer à ce stade le traitement. La zone traitée doit apparaître parfaitement avasculaire et donc non rehaussée et doit englober la totalité de la tumeur.

L'IRM est la seule méthode d'imagerie qui permet d'évaluer le degré d'échauffement de la tumeur au cours de la procédure grâce à des séquences spécifiques. Par ailleurs, les séquences en pondération T2 montrent pour les territoires traités une disparition de l'iso- ou hyper-signal tumoral remplacé par un hypo-signal. Cet hypo-signal est entouré d'un fin liseré en hyper-signal correspondant à de l'œdème et de l'inflammation. Lorsque l'ARF est guidée par l'IRM, cette séquence permet de repositionner l'électrode dans les territoires tumoraux dont le signal ne s'est pas suffisamment abaissé. Sinon, l'injection de produit de contraste (chélates de gadolinium) sur une séquence dynamique en écho de gradient pondéré T1 permet une seule de fois de rechercher la persistance d'un tissu tumoral se rehaussant. Cette appréciation est difficile à la phase aiguë en raison de l'hyper-signal très hétérogène lié aux remaniements nécrotico-hémorragiques.

Surveillance après réalisation de l'ARF

On peut distinguer le bilan au lendemain de la radiofréquence qui recherche une complication immédiate du bilan à distance. Le bilan du lendemain comprend

typiquement une échographie (au mieux avec injection de contraste) qui permet de rechercher une complication vasculaire (occlusion vasculaire, thrombose veineuse, fistule artérioveineuse) ou urologique (urinome, dilatation des cavités pyélocalicielles). L'injection de SonoVue® permet aussi de rechercher des arguments précoces en faveur du caractère incomplet du traitement (prise de contraste intralésionnelle). Cet examen présente une excellente sensibilité lorsque la tumeur n'est pas entièrement incluse dans le parenchyme, car dans ce cas, la prise de contraste du parenchyme normal ou traumatisé par l'ARF est parfois difficile à différencier d'une portion tumorale viable périphérique. Le bilan comprend aussi un examen TDM avec injection (en l'absence d'insuffisance rénale avancée et après contrôle de la créatininémie du matin même) si celui-ci n'a pas été effectué au décours immédiat de l'ARF. Si l'insuffisance rénale s'est aggravée ou si la clairance de la créatinine est inférieure à 40 ml/min, l'IRM doit être préférée. Elle consiste en une séquence en écho de gradient pondérée T2 et une séquence dynamique en écho de gradient pondérée T1 et saturation du signal de la graisse. L'IRM dans notre expérience présente une sensibilité inférieure à celle de la TDM et de l'échographie de contraste pour le diagnostic des complications vasculaires et surtout pour l'évaluation du territoire traité. La détection précoce du caractère incomplet du traitement doit faire rediscuter une nouvelle ARF ou dans certains cas une prise en charge chirurgicale.

Le bilan à distance est effectué 2 mois après la procédure et s'accompagne d'un contrôle de la fonction rénale. Il évalue la réponse thérapeutique et recherche des complications urologiques et vasculaires. Les deux examens utilisés sont, en fonction de leur disponibilité, l'échographie de contraste [examen très sensible et spécifique (> 90 p. 100)] et la TDM avec injection. En cas d'insuffisance rénale ou de discordance entre ces deux examens, l'IRM apporte des informations complémentaires utiles. Le but de l'imagerie est de démontrer l'absence de prise de contraste au niveau du territoire traité, dont le volume doit inclure et dépasser le site tumoral. Elle doit aussi vérifier l'absence de complications locorégionales.

Le bilan ultérieur est effectué à 6 et 12 mois de l'ARF, puis tous les ans pendant 5 ans [7]. Il comprend selon les patients une TDM éventuellement en alternance avec une IRM. Le but est de contrôler le site tumoral et le trajet de ponction, afin de vérifier l'absence de récurrence ou de dissémination, mais aussi de rechercher l'apparition d'autres localisations tumorales intrarénales homo- et/ou controlatérales. Il doit aussi réaliser un bilan de l'extension locorégionale (graisse rétro-péritonéale, veine rénale, adénopathies hilaires, surrénales, plèvre) et à distance (poumon). La zone traitée va très lentement diminuer de volume.

Complications de l'ARF

Sur les séries limitées publiées, elles apparaissent inférieures à celles de la chirurgie (néphrectomie totale ou tumorectomie). Les valeurs publiées varient en effet entre 0 et 11 p. 100 pour l'ARF [2-8]. La complication la plus fréquente dans notre expérience est constituée par les atteintes sensitivo-motrices de la paroi abdominale antérieure, à type d'hypo-esthésie et paresthésies, parfois associée à une hypotonie pariétale [8]. Elle pourrait atteindre 35 p. 100 des patients et prédomine lorsque l'insertion de l'électrode est en position paravertébrale. Elle est toujours transitoire, mais peut durer de quelques semaines à 1 an.

Les autres complications sont le saignement (5 p. 100, périrénal ou dans la voie excrétrice) qui nécessite exceptionnellement une transfusion, les lésions de la voie excrétrice (sténose 1 p. 100 ou urinome 1 p. 100) qui nécessitent rarement la mise en place d'un drainage par sonde JJ. Les brûlures cutanées au niveau des plaques de conduction sont devenues exceptionnelles depuis qu'une surveillance systématique a été instituée. Les manœuvres d'hydrodissection limitent le risque de blessure d'un organe creux de voisinage. La seule perforation digestive effectuée lors d'une ARF résultait d'un contrôle insuffisant d'une des électrodes postérieures qui est venue perforer le duodénum lors d'une procédure peropératoire. Celle-ci a été traitée par aspiration simple et a guéri sans séquelle.

CONCLUSION

En définitive, l'ARF est une alternative au traitement chirurgical des tumeurs du rein. Le bilan en imagerie est essentiel pour le succès de la procédure et l'évaluation de la réponse thérapeutique.

BIBLIOGRAPHIE

1. SIEMER S, UDER M, HUMKE U et al. Value of ultrasound in early diagnosis of renal cell carcinoma. *Urologe A*, 2000 ; **39** : 149-153.
2. GERVAIS DA, MCGOVERN FJ, ARELLANO RS et al. Radiofrequency ablation of renal cell carcinoma : part 1, Indications, results, and role in patient management over a 6-year period and ablation of 100 tumors. *Am J Roentgenol*, 2005 ; **185** : 64-71.
3. MAHNKEN AH, GUNTHER RW, TACKE J. Radiofrequency ablation of renal tumors. *Eur Radiol*, 2004 ; **14** : 1449-1455.
4. MAYO-SMITH WW, DUPUY DE, PARIKH PM et al. Imaging-guided percutaneous radiofrequency ablation of solid renal masses : techniques and outcomes of 38 treatment sessions in 32 consecutive patients. *Am J Roentgenol*, 2003 ; **180** : 1503-1508.
5. GERVAIS DA, ARELLANO RS, MCGOVERN FJ et al. Radiofrequency ablation of renal cell carcinoma : part 2, Lessons learned with ablation of 100 tumors. *Am J Roentgenol*, 2005 ; **185** : 72-80.
6. PARK BK, KIM SH, BYUN JY et al. CT-guided Instillation of 5 p. 100 dextrose in Water into the anterior pararenal space before renal radiofrequency ablation in a porcine model : positive and negative effects. *J Vasc Interv Radiol*, 2007 ; **18** : 1561-1569.
7. MATIN SF, AHRAR K, CADEDDU JA et al. Residual and recurrent disease following renal energy ablative therapy : a multi-institutional study. *J Urol*, 2006 ; **176** : 1973-1977.
8. BOSS A, CLASEN S, KUCZYK M et al. Thermal damage of the genitofemoral nerve due to radiofrequency ablation of renal cell carcinoma : a potentially avoidable complication. *AJR Am J Roentgenol*, 2005 ; **185** : 1627-1631.