




Disponible en ligne sur  
 ScienceDirect  
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France  
  
www.em-consulte.com



CARTE BLANCHE À LA PNEUMOLOGIE DE L'HÔPITAL FOCH

## Le traitement par radiofréquence des tumeurs pulmonaires

Radiofrequency treatment of lung tumours

F. Mellot<sup>a,\*</sup>, S. Friard<sup>b</sup>, H. Doubre<sup>b</sup>, A. Guth<sup>a</sup>,  
A. Chapelier<sup>c</sup>, A. Scherrer<sup>a</sup>, L.-J. Couderc<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Service de radiologie, hôpital Foch, 40, rue Worth, 92150 Suresnes, France

<sup>b</sup> Service de pneumologie, hôpital Foch, 40, rue Worth, 92150 Suresnes, France

<sup>c</sup> Service de chirurgie thoracique, hôpital Foch, 40, rue Worth, 92150 Suresnes, France

Disponible sur Internet le 4 août 2011

### MOTS CLÉS

Radiofréquence ;  
Thermoablation ;  
Cancer  
bronchopulmonaire ;  
Métastases  
pulmonaires

**Résumé** La résection chirurgicale réglée est le traitement de référence pour les patients présentant une tumeur bronchopulmonaire non à petites cellules opérable ainsi que pour des patients sélectionnés ayant un nombre limité de métastases pulmonaires. Toutefois, un petit nombre de patients sont candidats à une résection chirurgicale réglée en raison de comorbidités. Le traitement par radiofréquence guidé par scanner est une option thérapeutique peu invasive appliquée avec succès à différents organes et considérée pour le poumon comme une alternative chez les patients non-candidats à la chirurgie. La procédure est bien tolérée et le taux de complications acceptable.

© 2011 Publié par Elsevier Masson SAS.

### KEYWORDS

Radiofrequency;  
Thermal ablation;  
Lung cancer;  
Lung metastases

**Summary** Formal surgical resection is the standard treatment for patients with an operable non-small cell lung tumour and for selected patients with limited lung metastases, even if only a small number of patients are suitable for formal surgical resection due to comorbidities. CT-guided radiofrequency treatment is a minimally invasive therapeutic option that has been successfully applied to different organs, and for the lung is considered to be an alternative to surgery for patients who are not candidates for surgery. The procedure is well-tolerated and the complication rate is acceptable.

© 2011 Published by Elsevier Masson SAS.

\* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : f.mellot@hopital-foch.org (F. Mellot).

Le cancer pulmonaire est la première cause de mortalité par cancer dans les pays occidentaux. Le traitement du cancer pulmonaire avancé demeure un défi mais les résultats pour les cancers au stade précoce sont encourageants avec des survies globales à cinq ans de 59 à 68 % des patients opérés au stade I. La chirurgie réglée est le traitement curatif de référence pour les cancers bronchiques non à petites cellules dans les stades I et II. Toutefois, seul un petit nombre de patients est candidat à la résection chirurgicale réglée, en raison en particulier de comorbidités liées à l'exposition au tabac. Ces dernières années, les progrès de traitements alternatifs locaux ont permis d'envisager de nouvelles perspectives pour ces patients à haut risque chirurgical. Ces traitements locaux comprennent, en particulier, la résection chirurgicale atypique, la radiothérapie stéréotaxique et la radiofréquence.

La chirurgie non réglée, dont l'intérêt est essentiellement l'épargne pulmonaire, permet une réduction de la morbidité et de la mortalité [1]. Le rôle de la vidéo-chirurgie dans les tumeurs les plus périphériques reste débattu, avec nécessité fréquente de conversion en thoracotomie [2]. La diminution de la morbidité se fait au prix d'une augmentation du taux de récurrence locale par rapport à la lobectomie (22 à 27 % versus 4 à 9 %, voire 30 % lorsque la tumeur se situe sur deux segments à la fois). Certaines équipes proposent la curiethérapie peropératoire avec une réduction significative du taux de récurrence locale sans majoration de la morbidité [3].

La radiothérapie externe est le traitement alternatif le plus communément rapporté chez les patients inopérables [4,5]. La récurrence locale reste la principale cause d'échec dans environ 40 % des cas. La radiothérapie stéréotaxique fait l'objet de nombreuses études, utilisant des faisceaux convergents, prenant mieux en considération le parenchyme normal adjacent, associée à un asservissement au cycle respiratoire et une correction des faisceaux en « temps réels » à chaque séance, permettant de délivrer des doses élevées à la tumeur. Elle paraît s'adresser en priorité aux tumeurs périphériques en raison de problème de toxicité non négligeable pour les tumeurs les plus centrales.

Par ailleurs, le poumon est en fréquence le second site de métastases des cancers extrapulmonaires et peut être le seul site de lésions secondaires. La résection chirurgicale parfois itérative de ces métastases permet d'obtenir des taux de survie globale intéressants, en particulier, pour les cancers colorectaux, de l'ordre de 20 à 40 % à cinq ans. Le fait que la résection soit complète ou non est un facteur pronostic essentiel [6,7]. La thermoablation par radiofréquence des lésions tumorales a montré sa faisabilité et son efficacité pour certaines tumeurs hépatiques ou rénales. Appliquée aux poumons depuis 2000, elle est actuellement de plus en plus proposée comme alternative pour le traitement local des tumeurs pulmonaires non opérables, primitives ou secondaires.

## Les modalités du traitement

L'objectif est d'obtenir une nécrose de coagulation en exposant les cellules tumorales à une température supérieure à 70°. Pour cela, une aiguille munie de plusieurs électrodes et reliée à un générateur est mise en place et déployée

dans la tumeur par voie percutanée sous contrôle scanner. Le geste est comparable à la biopsie pulmonaire percutanée. Des électrodes de dispersion sont posées habituellement sur les cuisses du patient et également reliées au générateur. Un courant sinusoïdal (420 à 500 kHz) est appliqué pendant un temps variable en fonction de l'algorithme utilisé qui dépend du matériel et surtout de la taille de la tumeur traitée. La procédure se fait avec monitoring de l'impédance ou de la température à l'extrémité de l'électrode (la température cible étant 100°). L'intérêt des électrodes déployables est d'augmenter la zone d'ablation : en effet, l'aiguille contient plusieurs électrodes qui sont déployées dans la tumeur. Le volume et la forme de la zone traitée dépendent donc en partie du nombre d'électrodes et de leur répartition dans l'espace. L'aiguille peut être repositionnée autant de fois que nécessaire avec nouvelle application du courant à chaque fois afin de couvrir le volume souhaité. Il est nécessaire que le volume traité dépasse le volume de la tumeur en englobant une zone de poumon sain en périphérie d'environ 5 à 10 mm. La tumeur à traiter doit être à distance des gros vaisseaux (1 cm), en effet, le flux circulant dans ces vaisseaux ne permet pas d'obtenir une température suffisamment élevée à leur contact du fait du refroidissement induit par la convection thermique du flux dans le vaisseau. La tumeur doit également être à plus de 1 cm des grosses bronches, de la trachée ou de l'œsophage pour ne pas léser ces structures. Un des principaux facteurs techniques limitant à l'heure actuelle est la taille, en raison de la difficulté d'obtenir une augmentation de température homogène dans de grands volumes. L'efficacité devient nettement plus faible pour les lésions de plus de 3 cm.

La procédure est la plupart du temps réalisée sous anesthésie générale mais cela n'est pas indispensable et une sédation peut parfois suffire. En effet, le traitement des lésions à distance de la plèvre n'est pas douloureux. En revanche, les lésions avec un contact pleural nécessitent une analgésie bien contrôlée. Certains auteurs ont proposé de provoquer un pneumothorax artificiel qui permet de respecter la plèvre pariétale lors de l'application du courant de radiofréquence [8]. L'anesthésie générale permet surtout de supprimer la toux qui peut survenir pendant le traitement. La ventilation ne doit pas utiliser de pression positive car elle majore le risque de fistule bronchopleurale et d'embolie gazeuse [9].

Cette technique peut s'adresser à des patients non-candidats à la chirurgie en raison de comorbidités ou de fonction respiratoire insuffisante. De façon générale, un patient pouvant subir une biopsie pulmonaire percutanée peut être candidat à un traitement par radiofréquence. Trente pour cent des patients ayant un VEMS inférieur à 1 l/s ont une baisse modérée transitoire après la procédure avec retour à l'état de base en trois semaines. En général une limite de 0,4 l/s est proposée. Cette technique peut être proposée chez des patients sélectionnés ayant un poumon unique sous réserve d'être dans des conditions strictes permettant de prendre en charge sans délai un éventuel pneumothorax. Le nombre maximal de lésions pouvant être traitées communément admis est de cinq lésions. Le diagnostic histologique peut être obtenu à l'occasion de la procédure, mais il peut être judicieux de l'obtenir antérieurement lors d'un geste distinct. En effet, la biopsie majore le risque de pneumothorax, ainsi que le risque

d'hémorragie alvéolaire qui peut rendre difficile le positionnement de l'aiguille de radiofréquence. Si les lésions sont bilatérales, elles ne sont pas traitées lors de la même séance. Les contre-indications formelles sont rares, essentiellement constituées des troubles de la coagulation. Une précaution particulière doit être prise chez les patients porteurs d'un pacemaker car la radiofréquence est susceptible d'interférer et d'entraîner un dysfonctionnement de celui-ci [10]. La surveillance du patient ne nécessite habituellement qu'une courte hospitalisation de 24 à 48 heures.

## Les complications

Toutes les études rapportées démontrent la très bonne tolérance de ce traitement avec de très faibles morbidité et mortalité [11–13]. Certaines équipes le réalisent en ambulatoire. La mortalité est très faible. Les rares cas décrits dans la littérature (0 à 3%) concernent essentiellement des tumeurs centrales ou des tumeurs multiples chez des patients emphysemateux avec poumon unique [14]. La complication la plus fréquente décrite est le pneumothorax (30 à 60%). Il est la plupart du temps sans retentissement clinique et ne requiert un drainage que dans une faible proportion de cas (10 à 20%). Le drain peut parfois être mis en place en fin de procédure. Le risque de pneumothorax augmente avec le nombre de lésions traitées, la localisation dans les lobes inférieurs et l'absence d'antécédent de chirurgie thoracique. L'hémorragie alvéolaire au contact de la zone traitée est fréquente, ne donnant lieu à une hémoptysie significative que rarement. Nour-Eldin et al. [15] retrouvaient une hémoptysie dans 16,1% des cas et rapportait un décès pour hémoptysie incontrôlable pour 248 procédures. Beaucoup plus rarement, des fistules bronchopleurales avec drainage prolongé et des embolies gazeuses ont été rapportées [16,17].

Un « syndrome post-ablation » est fréquemment observé, constitué d'une fièvre modérée avec asthénie transitoire pendant 48 à 72 heures. Un épanchement pleural de faible abondance est associé dans 60% des cas. Dans le mois qui suit, une infection pulmonaire sur le site traité peut survenir dans 10% des cas avec possibilité d'abcédation. Une antibiothérapie prophylactique lors du traitement n'est pas proposée systématiquement.

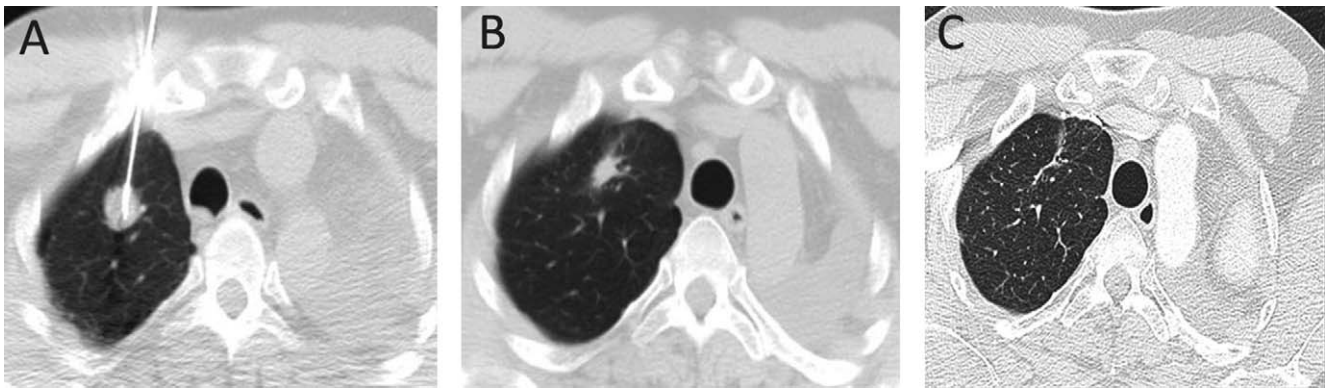
## La surveillance après le traitement

Dès le premier jour, la zone traitée est le siège d'une réaction inflammatoire qui peut durer plusieurs semaines et qui doit être prise en compte dans l'interprétation de l'imagerie faite lors de la surveillance. En effet, la tumeur traitée reste visible et peut augmenter de volume dans les deux premiers mois même en l'absence d'évolutivité tumorale [18]. Par la suite, l'évaluation de l'efficacité sur des critères morphologiques peut être délicate. En effet, l'aspect de la zone traitée est très variable : stabilité de volume de la masse traitée, excavation ou diminution de volume, voire disparition pour les masses les plus petites (inférieures à 2 cm) (Fig. 1). Après les trois premiers mois, une augmentation de volume est considérée comme un signe d'évolutivité tumorale. On perçoit les limites d'une surveillance ne reposant

que sur la taille de la masse traitée au scanner avec une difficulté à affirmer la réponse complète immédiate et une difficulté à dépister une récurrence locale précoce. En effet, une récurrence tumorale précoce dans la zone traitée est de petite taille et ne s'accompagne pas obligatoirement d'une augmentation de volume ou d'une modification de l'aspect tomodynamométrique. Les critères Recist sont donc inadaptés pour évaluer la réponse thérapeutique, en tout cas dans les premiers mois. Certains auteurs [19] ont proposé des critères Recist modifiés prenant en compte non seulement la taille de la masse mais aussi sa densité et sa fixation du glucose marqué au Pet scanner. La prise de contraste après injection de produit de contraste iodé est un élément d'évaluation de la réponse thérapeutique après radiofréquence dans le foie ou le rein, mais son analyse est souvent beaucoup plus difficile dans le poumon. Le Pet scanner au FDG [20] semble être le meilleur outil pour évaluer la réponse thérapeutique. Il est toujours proposé dans le bilan avant de poser l'indication de traitement par radiofréquence. Il permet de s'assurer de l'absence d'autre localisation tumorale et d'avoir un état de base de l'aspect de la fixation de la tumeur à traiter. La disparition de la fixation du glucose dans la zone traitée est signe de contrôle local satisfaisant (Fig. 2). La persistance d'une fixation du traceur pendant les deux ou trois premiers mois est très fréquente sur le site traité, témoignant des phénomènes inflammatoires persistants, c'est pourquoi il est souhaitable d'attendre trois mois après le traitement par radiofréquence avant de réaliser un Pet scanner pour dépister les réponses incomplètes. L'intensité de la fixation n'est pas un critère suffisant pour distinguer la nature inflammatoire ou tumorale de la fixation, une  $SUV_{max}$  supérieure à cinq pouvant être observée pour des phénomènes inflammatoires. L'aspect morphologique de la zone de fixation est souvent plus discriminant : une fixation en couronne homogène évoque des phénomènes inflammatoires alors qu'une fixation focale ou hétérogène est évocatrice de résidu tumoral. Une fixation intense non tumorale peut parfois persister plus de six mois. Dans 15 à 20% des cas, une fixation du traceur est mise en évidence dans la paroi thoracique sur le trajet de l'aiguille et dans des ganglions médiastinaux. Cette fixation ne doit pas être considérée comme témoignant d'une évolution tumorale et décroît lors des contrôles ultérieurs. En cas de traitement incomplet ou de récurrence locale, une nouvelle procédure peut être envisagée. Selon les séries, elle est réalisée dans 10 à 20% des cas.

## Les résultats

L'évaluation des résultats est rendue délicate par l'hétérogénéité des séries publiées. Les séries sont pour la plupart rétrospectives, les critères de sélection des patients sont variables, en particulier, pour les caractéristiques anatomiques des tumeurs (localisation et taille). Les séries sont la plupart du temps constituées à la fois de cancers primitifs et de métastases, en particulier, de cancer colorectaux avec une prédominance des métastases. Les critères d'évaluation de l'efficacité sont également variables. Les séries s'intéressant uniquement au cancer bronchique non à petites cellules (CBNPC) stade I sont relativement limitées. Ambrogi et al. [21] rapportent les

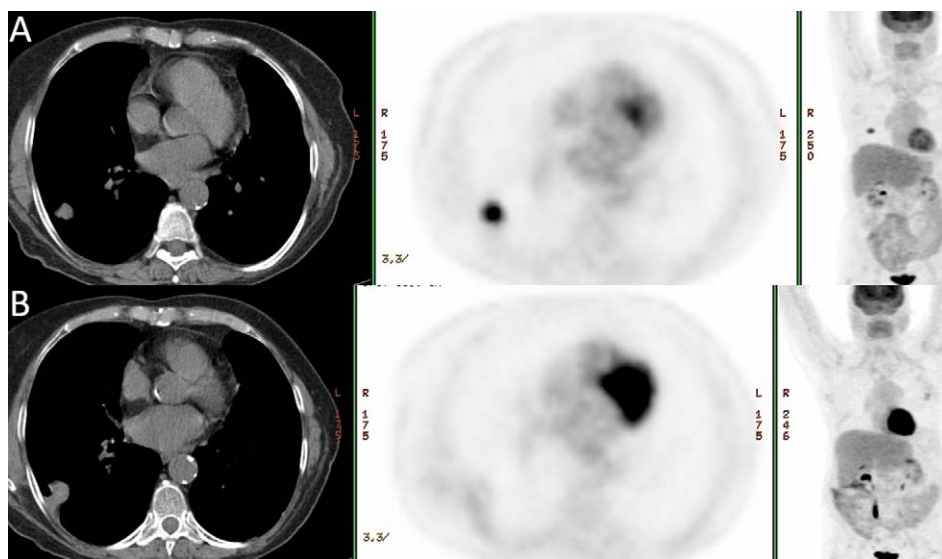


**Figure 1.** A. Scanner montrant l'aiguille de radiofréquence en place pour le traitement d'une métastase du lobe supérieur droit de moins de 2 cm d'un adénocarcinome colique. B. Le scanner de contrôle réalisé trois mois après le traitement montre la diminution de taille du nodule. C. Le scanner réalisé six mois après le traitement montre la disparition du nodule avec persistance d'une opacité linéaire d'allure fibreuse.

résultats chez 54 patients (dont 40 CBNPC stade I), avec un suivi en moyenne de deux ans. La médiane de survie globale était de 28,9 mois avec une durée moyenne sans récurrence locale de 24,1 mois. Hiraki et al. [22] rapportent une série de 20 patients. La durée moyenne sans progression locale était de neuf mois. Le taux de survie globale était estimé à 84% à deux ans et 74% à trois ans. Simon et al. [23] rapportent une série de 153 patients dont 75 CBNPC stade I. Le taux de survie globale était de 78% à un an, 57% à deux ans et 27% à trois ans. La médiane de survie était de 29 mois. Les résultats étaient significativement meilleurs pour les patients avec des tumeurs de moins de 3 cm que pour les patients avec des tumeurs de plus de 3 cm : la survie à cinq ans était respectivement de 47 et 25%. Beland et al. [24] rapportent une série de 79 patients avec un CBNPC stade I. Avec un suivi moyen de 17 mois (un à 72 mois), une récurrence a été observée chez 43% des patients. La progression était locale dans 38% des cas, dans le même lobe dans 18%, à distance dans 21% et mixte (local et ganglionnaire) dans 6%. Lanuti et al. [25] rapportent les

résultats chez 31 patients (CBNPC stade I), la médiane de survie globale était de 30 mois, la médiane de survie sans récurrence étant de 25,5 mois. La survie globale était de 78% à deux ans et de 39% à trois ans. De nombreuses séries sont constituées d'une majorité de métastases. Lencioni et al. [26] rapportent une série prospective multicentrique internationale de 106 patients dont 89 ayant des métastases. La survie globale était évaluée pour les cancers bronchiques et les métastases respectivement à 75 et 89% à un an et 48 et 66% à deux ans. Pennathur et al. [27] rapportent une série de 100 patients (46% de CPNPC, 25% de récurrence de cancer et 29% de métastases). La médiane de survie globale était de 23 mois avec un taux de survie globale à deux ans de 49% (50% pour les CPNPC, 50% pour les récurrences et 41% pour les métastases).

Dans une série limitée de 63 patients au total, Zemliak et al. [28] ne trouvent pas de différence de survie à trois ans chez des patients ayant une résection atypique (25 patients) ou une radiofréquence (12 patients) ou une cryothérapie (27 patients). Hiraki et al. [29] ont montré l'intérêt de



**Figure 2.** A. Le Pet scanner avant traitement montre un adénocarcinome fixant le glucose dans le lobe inférieur droit. B. Le PET scanner réalisé trois mois après le traitement par radiofréquence montre la persistance du nodule mais son absence de fixation du glucose témoignant d'un contrôle local satisfaisant.

la possibilité de répéter la procédure dans une série de 300 patients avec une majorité de métastases : chez 15 % des patients, une nouvelle séance de traitement a été réalisée lors d'une récidive locale dans l'année. Le traitement par radiofréquence peut être combiné à la chirurgie en fonction de la localisation des métastases [30].

## Les perspectives

Les différentes études rapportées montrent que la taille de la lésion traitée est un facteur prédictif important du contrôle local. La difficulté d'obtenir des volumes d'ablation importants de façon reproductible reste une des limites de la radiofréquence. L'évolution technologique du matériel d'ablation pourrait à l'avenir améliorer les performances. D'autres techniques d'ablation locale émergent, comme la cryoablation ou les micro-ondes qui pourraient permettre des volumes d'ablation plus grands sans majoration des complications mais les études pour les tumeurs pulmonaires sont très limitées [31]. Wolf et al. [32] rapportent une série de 50 patients pour lesquels un contrôle local était obtenu dans 67 % des cas à un an. L'amélioration des modules de radiologie interventionnelle au scanner et les développements techniques du matériel d'ablation permettront une mise en place plus précise et plus rapide de l'aiguille.

Bien que la résection chirurgicale reste le meilleur traitement pour les patients opérables, les résultats de la radiofréquence pour le traitement des patients inopérables avec tumeurs pulmonaires à un stade non avancé sont très encourageants. Les progrès technologiques devraient permettre d'améliorer encore ces résultats. Des études prospectives avec de grandes cohortes et un suivi prolongé restent nécessaires, en particulier, pour préciser les places respectives de la radiofréquence et de la radiothérapie stéréotaxique, de même que les critères de sélection optimaux des patients [33]. L'option de traitement par radiofréquence est une décision multidisciplinaire avec discussion des différentes options thérapeutiques. La place du traitement systémique associé, comprenant les thérapies ciblées, est aussi à préciser, les thérapeutiques alternatives à la chirurgie ne permettant pas un *staging* ganglionnaire équivalent à celui de la chirurgie. Actuellement, la meilleure indication paraît être la tumeur pulmonaire périphérique de petite taille chez le patient ayant une contre-indication chirurgicale. Le traitement par radiofréquence a sa place dans le traitement itératif des localisations secondaires, en particulier, celles du cancer colorectal. Le suivi est assuré au mieux par le Pet scanner pour dépister les récidives précoces ou les traitements incomplets, pouvant bénéficier d'une nouvelle procédure.

## Déclaration d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflits d'intérêts en relation avec cet article.

## Références

- [1] Rami-Porta R, Tsuboi M. Sublobar resection for lung cancer. *Eur Respir J* 2009;33:426–35.
- [2] Shennib H, Bogart J, Herndon JE, Kohman L, Keenan R, Green M, et al. Video-assisted wedge resection and local radiotherapy for peripheral lung cancer in high-risk patients: the cancer and Leukemia Group B (CALGB) 9335, a phase II, multi-institutional cooperative group study. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2005;129:813–8.
- [3] Voynov G, Heron D, Lin C, Burton S, Chen A, Quinn A, et al. Intraoperative (125)I Vicryl mesh brachytherapy after sublobar resection for high-risk stage I non small cell lung cancer. *Brachytherapy* 2005;4:278–85.
- [4] Fernando HC, Schuchert M, Landreneau R, Daly BT. Approaching the high risk patient: sublobar resection, stereotactic body radiation therapy or radiofrequency ablation. *Ann Thorac Surg* 2010;89:S2123–7.
- [5] Scott WJ, Howington J, Feigenberg S, Movsas B, Pisters K. Treatment of non small cell lung cancer stage I and stage II: ACCP evidence-based clinical practice guidelines. *Chest* 2007;132:234S–42S.
- [6] Riquet M, Foucault C, Cazeq A, Mitry E, Dujon A, Le Pimpec Barthes F, et al. Pulmonary resection for metastases of colorectal adenocarcinoma. *Ann Thorac Surg* 2010;89:375–80.
- [7] Koong HN, Pastorino U, Ginsberg RJ. Is there a role for pneumonectomy in pulmonary metastases? International Registry of Lung Metastases. *Ann Thorac Surg* 1999;68:2039–43.
- [8] VanSonnenberg E, Shankar S, Morrison PR, Nair RT, Silverman SG, Jaklitsch MT, et al. Radiofrequency ablation of thoracic lesions: initial clinical experience-technical and multidisciplinary considerations in 30 patients. *Am J Roentgenol* 2005;184:381–90.
- [9] Nachiappan AC, Sharma A, Shepard JAO, Lanuti M. Radiofrequency ablation in the lung complicated by positive airway pressure ventilation. *Ann Thorac Surg* 2010;89:1665–7.
- [10] Skonieczki BD, Wells C, Wasser EJ, Dupuy DE. Radiofrequency and microwave tumor ablation in patients with implanted cardiac devices: is it safe? *Eur J Radiol* 2010, doi:10.1016/j.ejrad.2010.04.004.
- [11] Chamming's F, Leveque N, Mazieres J, Aurioi J, Otal P, Rousseau H, et al. Thermal ablation: tolerance and efficacy in population mostly composed of primary lung cancers. *J Radiol* 2010;91:885–94.
- [12] De Baere T, Palussiere J, Auperin A, Hakime A, Abdel-Rehim M, Kind M, et al. Midterm local efficacy and survival after radiofrequency ablation of lung tumors with minimum follow-up of 1 year: prospective evaluation. *Radiology* 2006;240:587–96.
- [13] Pennarthur A, Luketich JD, Abbas G, Chen M, Fernando HC, Gooding WE, et al. Radiofrequency ablation for the treatment of stage I non small cell lung cancer in high risk patients. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2007;134:857–64.
- [14] Sano Y, Kanazawa S, Gobara H, Mukai T, Hiraki T, Hase S, et al. Feasibility of percutaneous radiofrequency ablation for intrathoracic malignancies: a large single center experience. *Cancer* 2007;109:1397–405.
- [15] Nour-Eldin N-EA, Naguib NNN, Mack M, Abskharon JE, Vogl TJ. Pulmonary hemorrhage complicating radiofrequency ablation, from mild hemoptysis to life-threatening pattern. *Eur Radiol* 2011;21(1):197–204.
- [16] Cannella M, Cornelis F, Descat E, Ferron S, Carteret T, Castagnède H, et al. Bronchopleural fistula after radiofrequency ablation of lung tumors. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2011;34:S171–4.
- [17] Jeannin A, Saignac P, Palussière J, Gékière JP, Descat E, Lakdja F. Massive systemic air embolism during percutaneous radiofrequency ablation of a primary lung tumor. *Anesth Analg* 2009;109:484–6.
- [18] McTaggart RA, Dupuy DE. Thermal ablation of lung tumors. *Tech Vasc Interventional Rad* 2007;10:102–13.
- [19] Pennathur A, Abbas G, Schubert MJ, Landreneau RJ, Luketich JD. Image-guided radiofrequency ablation for the treatment of

- early stage non small cell lung neoplasm in high risk patients. *Semin Thorac Surg* 2010;22:53–8.
- [20] Deandreis D, Leboulleux S, Dromain C, Auperin A, Coulot J, Lumbroso J, et al. Role of FDG PET/CT and chest CT in the follow-up of lung lesions treated with radiofrequency ablation. *Radiology* 2011;258:270–6.
- [21] Ambrogi MC, Lucchi M, Dini P, Melfi F, Fontanini G, Faviana P, et al. Percutaneous radiofrequency ablation of lung tumors: results in the mid-term. *Eur J Cardiothorac Surg* 2006;30:177–83.
- [22] Hiraki T, Gobara H, Iishi T, Sano Y, Iguchi T, Fujiwara H, et al. Percutaneous radiofrequency ablation for clinical stage I non small cell lung cancer: results in 20 non surgical candidates. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2007;134:1306–12.
- [23] Simon CJ, Dupuy DE, DiPetrillo TA, Safran HP, Grieco CA. Pulmonary radiofrequency ablation: longterm safety and efficacy in 153 patients. *Radiology* 2007;243:268–75.
- [24] Beland MD, Wasser EJ, Mayo-Smith WW, Dupuy DE. Primary non small cell lung cancer: review of frequency, location and time of recurrence after radiofrequency ablation. *Radiology* 2010;254:301–7.
- [25] Lanuti M, Sharma A, Digumarthy SR, Wright CD, Donahue DM, Wain JC, et al. Radiofrequency ablation for treatment of medically inoperable stage I non small cell lung cancer. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2009;137:160–6.
- [26] Lencioni R, Crocetti L, Cioni R, Suh R, Glenn D, Regge D, et al. Response to radiofrequency ablation of pulmonary tumours: a prospective intention to treat multicentre clinical trial (the Rapture study). *Lancet Oncol* 2008;9:621–8.
- [27] Pennathur A, Abbas G, Gooding WE, Schuchert MJ, Gilbert S, Christie NA, et al. Image-guided radiofrequency ablation of lung neoplasm in 100 consecutive patients by a thoracic surgical service. *Ann Thorac Surg* 2009;88:1601–8.
- [28] Zemliak A, Moore HM, Bilfinger TV. Comparison of survival after sublobar resections and ablative therapies for stage I non small cell lung cancer. *J Am Coll Surg* 2010;211:68–72.
- [29] Hiraki T, Mimura H, Gobara H, Sano Y, Fujiwara H, Date H, et al. Repeat radiofrequency ablation for local progression of lung tumors: does it have a role in local tumor control? *J Vasc Interv Radiol* 2008;19:706–11.
- [30] Sano Y, Kanazawa S, Mimura H, Gobara H, Hiraki T, Fujiwara H, et al. A novel strategy for treatment of metastatic pulmonary tumors: radiofrequency ablation in conjunction with surgery. *J Thorac Oncol* 2008;3:283–8.
- [31] Brace CL, Hinshaw JL, Laeseke PF, Sampson LA, Lee FT. Pulmonary thermal ablation: comparison of radiofrequency and microwave devices by using gross pathologic and CT findings in a swine model. *Radiology* 2009;251:705–11.
- [32] Wolf FJ, Grand DJ, Machan JT, DiPetrillo TA, Mayo-Smith WW, Dupuy DE. Microwave ablation of lung malignancies: effectiveness. CT findings and safety in 50 patients. *Radiology* 2008;247:871–9.
- [33] Powell JW, Dexter E, Scaljetti, Bogart JA. Treatment advances for medically inoperable non small cell lung cancer: emphasis on prospective trials. *Lancet Oncol* 2009;10:885–94.