



Traitement par radiofréquence des nodules pulmonaires : suivi scannographique et étude pronostique

Radiofrequency ablation of pulmonary nodules : CT follow-up and prognostic study

Monia Attia, Salma Kechaou, Meriem Affes, sarra Zairi, Henda Neji, Saoussen Hartous-Zanned

Hôpital Abderrahman Mami Ariana / faculté de médecine de Tunis,

RÉSUMÉ

Introduction : L'ablathermie par radiofréquence des nodules pulmonaires est un traitement local à visée curative dont l'évaluation de l'efficacité est toujours un sujet d'actualité.

Buts :

- Préciser le protocole de surveillance, les aspects scannographiques des lésions traitées et déduire les critères suspectant une ablation incomplète.
- Identifier les facteurs pronostiques influençant les survies globale et sans progression.

Méthodes : Etude rétrospective descriptive pronostique menée au service d'imagerie médicale de l'hôpital Abderrahman Mami.

La surveillance des nodules s'est faite par scanner réalisé à 24 h, à 2,4,6,9,12,15,18 et 24 mois puis une fois par an.

L'étude des survies globale et sans progression s'est faite selon la méthode de Kaplan Meier.

Résultats : Seize Patients avec 21 nodules ont été inclus dont 20 % étaient des carcinomes pulmonaires et 80% des nodules secondaires. 6 nodules ont présenté une réponse incomplète.

L'apparition d'un contour convexe était le premier signe d'une ablation incomplète. 5 nodules sur 6 ont présenté un rehaussement focal nodulaire. La probabilité cumulée de survie globale à 12, 36, et 60 mois était de 80%, 66 % et 39% avec une médiane de survie de 31 mois. Le Nombre de nodules traité s'est révélé directement lié à la survie globale. La probabilité cumulée de survie sans progression était de 65% à 12, 36 et 60 mois. Le contact pleural était le facteur influençant la survie sans progression.

Conclusion : L'ablathermie par radiofréquence est une technique efficace

Mot clés : Radiofréquence, scanner, nodule pulmonaire

SUMMARY

Introduction: Radiofrequency ablation of pulmonary nodules is a local curative treatment whose efficacy assessment is still a current topic.

Aims:

- Specify the monitoring protocol, the scannographic aspects of treated lesions and deduce criteria of incomplete ablation.
- Identify the prognostic factors influencing overall and progression-free survivals.

Methods: A prognostic descriptive retrospective study conducted in the medical imaging department of Abderrahman Mami Hospital. The nodules were monitored at 24-hour, 2,4,6,9,12,15,18 and 24 months after treatment and then once a year. The study of overall and progression-free survivals was done using Kaplan Meier's method.

Results: Sixteen patients with 21 nodules were included, 20% of them were pulmonary carcinomas and 80% were secondary nodules. 6 nodules presented an incomplete response. The appearance of a convex outline was the first sign of incomplete ablation. 5 out of 6 nodules had a nodular focal enhancement. The cumulative probability of overall survival at 12, 36, and 60 months was 80%, 66% and 39% with a median survival of 31 months. The number of nodules treated was found to be directly related to overall survival. The cumulative probability of progression-free survival was 65% at 12, 36 and 60 months. Pleural contact was the factor influencing progression-free survival.

Conclusion : Radiofrequency ablation is an effective technique. Regular CT monitoring allows early detection of tumor recurrence.

Key words: Radiofrequency, pulmonary nodules, CT-scan

Correspondance

Monia Attia

Hôpital Abderrahman Mami Ariana

E-mail : attiamonia82@gmail.com

INTRODUCTION

L'ablathermie par radiofréquence pulmonaire est une technique mini invasive scannoguidée à visée essentiellement curative traitant des néoplasies pulmonaires primitives et inopérables (carcinome non à petites cellules stade I et II) ou secondaires au stade oligométastatique (1,2).

Elle consiste en l'application d'un courant alternatif créant une agitation moléculaire dégageant ainsi de la chaleur. Un échauffement tissulaire entre 60 et 100° est primordial pour atteindre la dénaturation protéique et par conséquent la nécrose cellulaire (3).

La surveillance de la zone traitée se fait dans notre pays essentiellement par le scanner

Les objectifs de ce travail étaient de :

- Décrire le protocole de surveillance et les aspects scannographiques des lésions traitées et en déduire les critères permettant de suspecter une ablation incomplète de la tumeur.
- Identifier les facteurs pronostiques pouvant influencer la survie globale et la survie sans progression de nos patients traités.

MÉTHODES

Nous avons mené une étude rétrospective descriptive pronostique portant sur des patients ayant eu une ablathermie par radio fréquence de néoplasies pulmonaires dans le service d'imagerie médicale de l'hôpital « Abderrahmane Mami » sur une période de 11 ans (2009-2019).

Le choix de la technique s'est fait après une concertation multidisciplinaire portant sur les critères suivants :

- Un statut compatible avec un traitement local curatif des lésions secondaires : oligométastase ou oligorécidive (4,5).
- Un statut compatible avec un traitement local curatif des tumeurs primitives ou secondaires mais ayant des contre-indications chirurgicales.
- Absence de trouble de l'hémostase sanguine (6).
- La taille de la tumeur primitive ou secondaire ne dépassant pas 3 cm.
- La localisation de la tumeur loin du hile pulmonaire de plus de 1cm ou des vaisseaux pulmonaires dont le diamètre dépasse 3 mm.

Tous les patients ont signé un consentement éclairé après

avoir été informé des éventuels avantages de ce type de traitement local et des risques encourus au cours et après le geste.

Les patients ont été surveillés par un scanner à 24 H de la procédure, à 2, 4, 6, 9, 12, 18 et 24 mois puis 1 fois par an.

- Les scanners étaient réalisés sans injection de produit de contraste iodé (PDCI) à 24 H et à 2 mois post procédure et intéressaient exclusivement l'étage thoracique.

Des scanners thoraco-abdomino-pelviens avec injection de PDCI étaient réalisés lors des contrôles ultérieurs.

Scanner à 24h et à 2 mois après la radiofréquence

Le contrôle scannographique à 24h (phase précoce post radiofréquence) servait de référence aux contrôles ultérieurs d'où l'analyse de ces différents paramètres :

- Le caractère complet ou incomplet de la plage d'hyperdensité en « verre dépoli » autour du nodule dans un plan axial en 1^{er} lieu puis dans les trois plans de l'espace en précisant son épaisseur.

- La taille du nodule traité dans un plan axial incluant le nodule lui-même, la plage d'hyperdensité en verre dépoli autour et éventuellement la collerette de condensation qui les cernait

- La détection de nouvelles lésions à 2 mois, en dehors du nodule traité, témoignait de l'évolution de la maladie

Scanners de contrôle à partir de 4 mois :

Nous avons noté :

- L'évolution de la taille de la lésion traitée par rapport à la mesure réalisée sur le scanner de référence réalisé à 24h post radiofréquence.

- L'aspect de la lésion traitée en cherchant l'apparition de contours convexes ou lobulés.

- La présence éventuelle de rehaussement ainsi que son type : rehaussement circonférentiel régulier ou rehaussement focal nodulaire.

- L'apparition de nouvelles lésions secondaires aux étages thoraco-abdomino-pelvien et cérébral

Étude pronostique

La date de début de l'étude pronostique était la date de réalisation de la radiofréquence tandis que la date de point était fixée au 31 janvier 2019

Les données de survie ont été étudiées en établissant les courbes de survie globale et de survie sans progression selon la méthode de Kaplan Meier. La recherche des

facteurs pronostiques de survie a été effectuée en analyse univariée (facteur par facteur) en comparant les courbes de survie par le test de Log Rank.

Afin d'identifier les facteurs de risque liés de façon indépendante à l'évènement, nous avons conduit une analyse multi variée en régression de Cox méthode pas à pas descendante. Le seuil de signification statistique était fixé à 0,05.

RÉSULTATS

Caractéristiques de la population

16 patients ont été inclus dans cette étude dont 13 de sexe masculin et 3 de sexe féminin.

L'âge moyen des patients était de 63 ans avec des extrêmes allant de 38 à 86 ans.

4 patients ont été traités pour une tumeur pulmonaire primitive (25%) dont 2 adénocarcinomes et 2 carcinomes épidermoïdes

Deux patients ont eu une chimiothérapie avant l'ablathermie par radiofréquence pulmonaire. Tous les patients ont été récusés à la chirurgie dont trois à cause d'une insuffisance respiratoire sévère et un à cause de son statut métastatique à distance

12 patients avaient des nodules secondaires (75% des patients) dont les types histologiques du cancer primitif étaient répartis comme suit : 3 adénocarcinomes coliques, 3 adénocarcinomes pulmonaires, 2 carcinomes épidermoïdes pulmonaires, 2 carcinomes à cellules claires rénales, 1 sarcome utérin et 1 myxofibrosarcome de la cuisse.

Onze patients n'avaient que les métastases pulmonaires au moment de la radiofréquence et un patient avait en plus de la métastase pulmonaire une localisation secondaire sous cutanée.

Caractéristiques des nodules traités

• Nombre de nodules traités

Vingt et un nodules ont été traités, 17 secondaires et 4 primitifs.

Quatre procédures ont traité plus qu'un nodule lors de la même séance. Le traitement des nodules était réparti comme suit :

- 3 nodules par séance (1 patient).
- 2 nodules par séance (3 patients).
- 1 nodule par séance (n=12 patients).

• Taille des nodules traités

La taille des nodules était répartie comme suit : 4 nodules mesuraient 10 mm ou moins, 12 nodules entre 10 et 20, 5 entre 20 et 30 et 1 plus que 30 mm

Le plus volumineux nodule traité avait une taille égale à 35 mm.

• Localisation des nodules traités

7 nodules étaient localisés au niveau du culmen, 6 au niveau du lobe supérieur droit, 5 au niveau du lobe inférieur droit, 2 au niveau du lobe inférieur gauche et 1 au niveau du lobe moyen.

Tous les nodules étaient éloignés du hile pulmonaire de plus de 1 cm.

Cinq nodules avaient un vaisseau de 3 mm de diamètre à proximité de la tumeur et huit présentaient un contact pleural viscéral ou pariétal. Aucun nodule n'était à proximité d'une bronche de plus de 2 mm de section.

Suivi scannographique

• Tomodensitométrie (TDM) à H24

Le contrôle TDM à 24H après la radiofréquence a mis en évidence dans 10 cas, un aspect caractéristique fait de condensation entourée par une couronne de plage d'hyperdensité en « verre dépoli » le tout cerné par une condensation circonférentielle (aspect en cocarde) (figure 1). Dans 11 cas, nous avons eu l'aspect d'une condensation entourée par une plage d'hyperdensité en « verre dépoli » incomplète dans 3 cas et complète dans 8 cas.

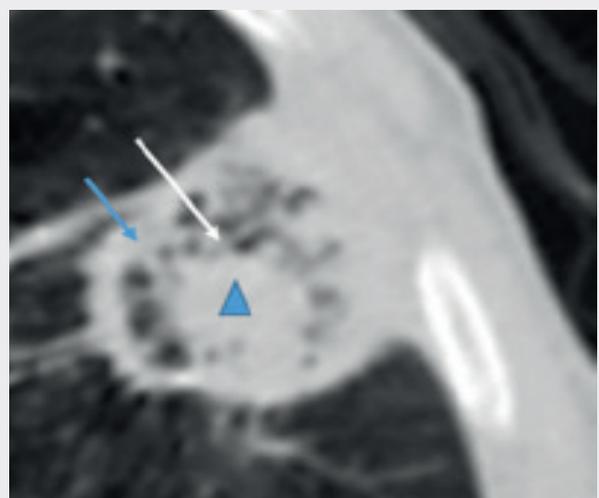


Figure 1. Illustration de l'aspect caractéristique à 24 H après la radiofréquence : condensation centrale (triangle), plage d'hyperdensité en « verre dépoli » (flèche blanche), condensation périphérique (flèche bleue)

• **TDM au cours de la surveillance**

- **Pour les nodules n'ayant pas progressé :**

15 nodules n'ont pas progressé après ablathermie

Nous avons noté une diminution progressive de la taille de ces nodules depuis le scanner initial à H24 pris comme référence.

A partir du contrôle de 4 mois, quatorze nodules ont évolué progressivement vers une condensation rétractile.

Un nodule a évolué vers une cavité séquellaire

Sur les 15 nodules n'ayant pas progressé, aucun nodule n'a présenté de rehaussement après injection de PDCI sur les scanners de contrôle itératifs. (Figure 2)

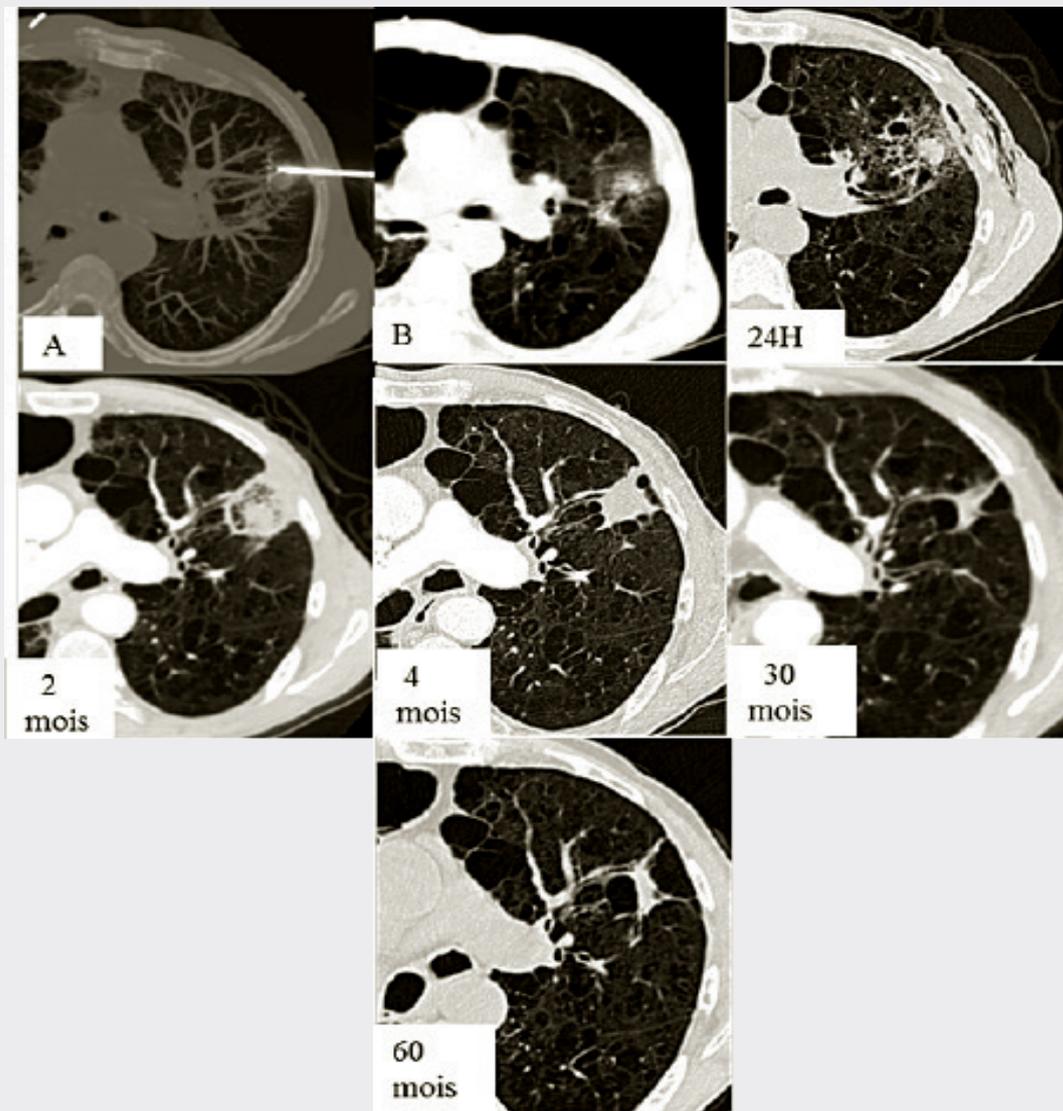


Figure 2

Patient âgé de 76 ans, tabagique sévère (110 PA) aux antécédents de carcinome épidermoïde du larynx traité par radio chimiothérapie. Actuellement suivi pour adénocarcinome du Culmen (20 mm) classé T1b N0 M0 récusé à la chirurgie vu l'insuffisance respiratoire sévère (volume expiratoire maximum par seconde (VEMS) <1L).

A : positionnement de l'aiguille B : immédiatement après la RF ;

- B et 24H : une couronne de plage d'hyperdensité en « verre dépoli » autour du nodule avec un emphysème sous cutanée de faible abondance.

A 2 mois : Aspect de condensation entourée d'une couronne de plage d'hyperdensité en « verre dépoli » le tout cerné par une condensation périphérique (aspect en cocarde).

- A partir de 4 mois : Aspect d'une condensation rétractile qui a diminué de taille progressivement.

- **Pour les nodules qui ont progressé localement :**

Six nodules sur les 21 traités ont présenté une récurrence locale.

Le délai d'apparition des récurrences était de 4 mois pour 4 nodules et de 6 mois pour deux nodules.

Deux nodules parmi les 6 avaient une taille supérieure à

20 mm avant la procédure de radiofréquence. Les nodules ayant progressé ont tous gardé une taille stable ou ont augmenté en taille à partir du scanner réalisé à 4 mois.

Pour les 6 nodules, l'apparition de contours convexes était le 1^{er} signe d'une réponse incomplète suspectée.

5 nodules ont présenté un rehaussement focal nodulaire après injection de PDCI. (Figure 3)

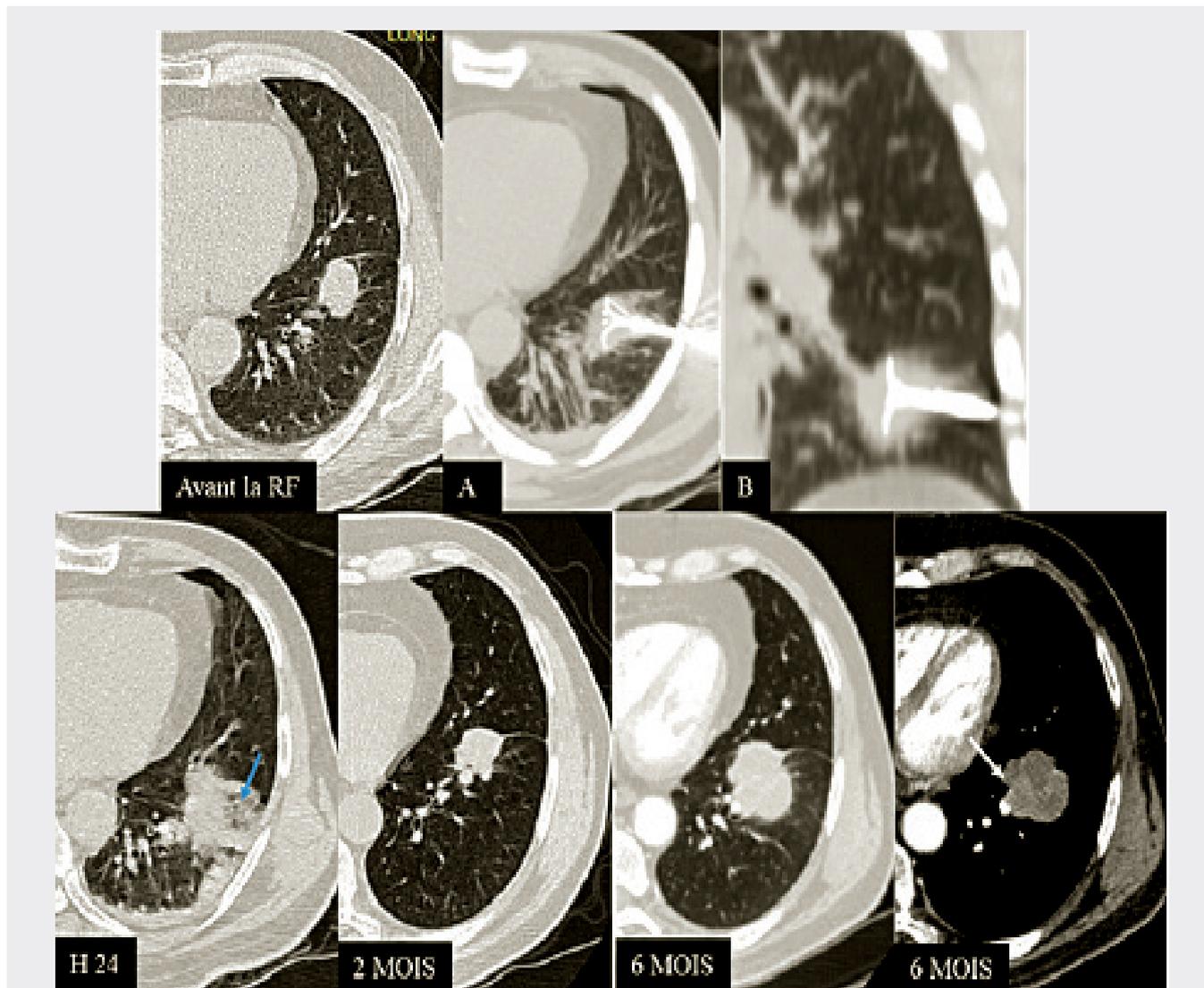


Figure 3

Patient âgé de 62 ans suivi pour un carcinome épidermoïde du LSD classé T2N2M1a (masse controlatérale du LIG) traité par deux lignes de chimiothérapie. Régression totale de la masse médiastino pulmonaire droite avec régression de la masse controlatérale du LIG mesurant 27 mm et ayant un contact avec la plèvre scissurale < 50% sur le dernier contrôle.

A+B: Positionnement centrée de l'aiguille sur le nodule vérifiée sur deux plans axial (A) et coronal (B).

H 24 : Plaque d'hyperdensité en verre dépoli (flèche bleue) incomplète autour du nodule.

2 mois : Condensation qui a diminuée de taille mais ayant un bord convexe.

6 mois : Augmentation de la taille de la condensation ayant des contours lobulés avec un rehaussement multi focal visible sur la fenêtre médiastinale.

Complications post procédure :

Sept patients ont présenté un pneumothorax d'abondance variable (47%).

Cinq pneumothorax ont nécessité une exsufflation en fin de geste dont 1 de grande abondance et 4 de moyenne abondance. Un patient parmi ces cinq a nécessité un drainage au cours de l'hospitalisation.

Une hémorragie alvéolaire sur le trajet de l'aiguille a été constatée pour 12 nodules (57%) ne nécessitant aucun traitement.

Etude pronostique

• Survie globale

Sept patients étaient encore vivants à la date de point.

La moyenne de recul était de 40 mois ± 34.1. La médiane de survie était de 31 mois avec un intervalle de confiance

à 95% de [16-46].

L'analyse uni et multivariée a mis en évidence un facteur pronostique influençant la survie globale : le nombre de nodule traité par séance. (nous avons testé le nombre de nodules traités, l'âge, le sexe, le statut T,N, la présence de localisation extra thoracique et la présence de complication au décours du geste). (Figure 4)

• Survie sans progression locale du nodule traité

La durée de survie moyenne sans progression était de 65 mois avec un intervalle de confiance à 95% de [46-85].

L'analyse univariée a mis en évidence deux facteurs pronostiques de la survie sans progression du nodule : L'épaisseur de la plage d'hyperdensité en « verre dépoli » autour du nodule traité 24 H après la radiofréquence (p = 0,0001) et le contact avec la plèvre (p = 0,038). (figure 5)

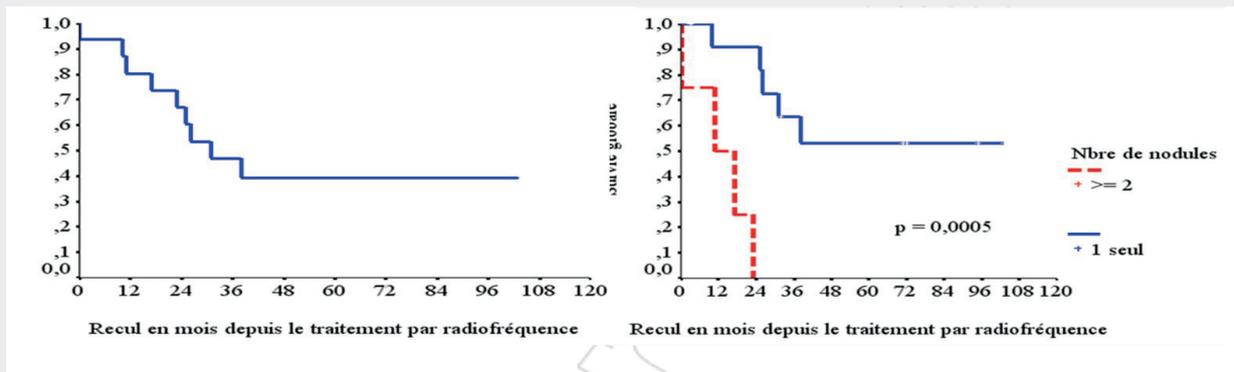


Figure 4. Courbes de survie globale et selon le nombre de nodules traités selon la méthode de Kaplan-Meier

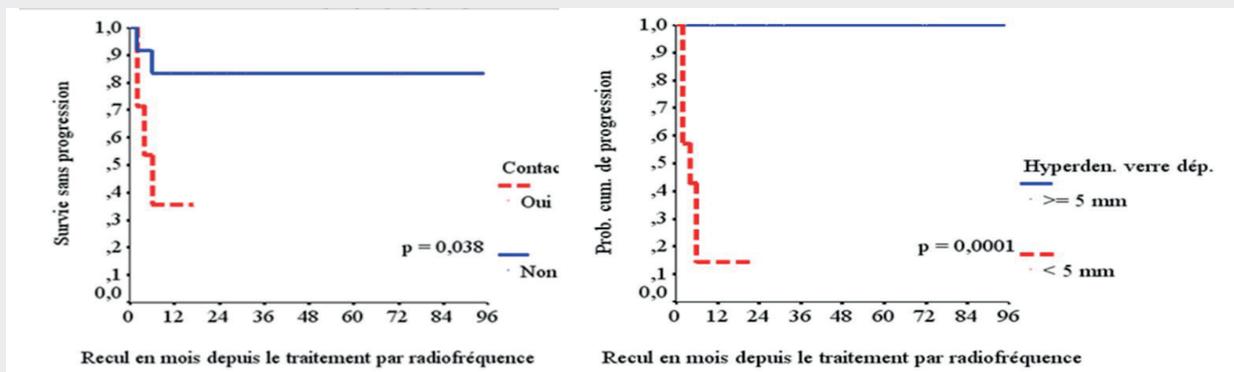


Figure 5. Courbe de survie sans progression selon l'épaisseur de la plage d'hyperdensité en « verre dépoli » et le contact du nodule traité avec la plèvre

L'étude analytique univariée n'a pas montré que les facteurs suivants étaient des facteurs pronostiques indépendants : la taille des vaisseaux à proximité du nodule, l'aspect en cocarde à 24h après la RF et la taille des nodules.

DISCUSSION

Nous avons mené une étude pronostique visant à évaluer la survie globale et sans progression des patients traités

Nos résultats ont montré l'impact positif de la technique sur la survie globale et nous ont permis à travers une analyse uni et multivariée de relever des facteurs indépendants majeurs: le nombre de nodules traités par séance influençant la survie globale et le contact pleural et l'épaisseur de la plage d'hyperdensité en verre dépoli intervenant comme facteurs pronostiques de la survie sans progression.

L'avantage principal de notre étude était le recul considérable après la radiofréquence avec une moyenne de 40 mois de suivi. D'autre part, nous n'avons pas eu de perdus de vue ; en effet, tous nos patients étaient suivis jusqu'à la date de point et avaient tous leurs examens de contrôles scannographiques itératifs archivés dans notre base de données.

Notre étude comportait néanmoins quelques faiblesses telles que l'effectif réduit et l'hétérogénéité de la population étudiée, composée de tumeurs primitives et secondaires.

Critères scannographiques d'une ablation incomplète de la tumeur

Dans notre série, l'apparition de contours convexes ainsi qu'un rehaussement nodulaire étaient les premiers signes d'une évolution défavorable.

Palussière et ses collaborateurs, ont aussi décrit l'aspect de marges convexes ou nodulaires comme étant l'aspect le plus fréquemment visible lors des récidives (7).

L'équipe de Suh considère que toute prise de contraste centrale supérieure à 10 mm en épaisseur est suspecte de malignité (8).

Nous avons noté par ailleurs une absence de diminution de la taille de la zone traitée sur les contrôles itératifs contrairement aux nodules ayant bien évolué.

Nos résultats rejoignaient ceux des séries publiées notamment celle de Bojarski , Nour Eldin et Vogl qui

recommandent la réalisation d'un scanner précoce (24H post procédure) servant de référence (9–11).

Ainsi toute augmentation en taille de la zone traitée par rapport à ce scanner est suspecte de réponse incomplète (7,12).

Complication post procédure

Le pneumothorax et l'hémorragie intra alvéolaire ont été décrits comme parmi les complications les plus fréquentes dans différentes séries (13,14).

Ceci a été confirmée dans notre étude avec un taux de 47% pour le pneumothorax et 57 % pour l'hémorragie intra alvéolaire sur le trajet de l'aiguille.

Survie globale

Une étude rétrospective a été faite par l'équipe de Palussière en 2011 portant sur 350 nodules primitifs et secondaires traités par radiofréquence (17,2% étaient des carcinomes non à petites cellules). La probabilité cumulée de survie globale à 3 et 5 ans était respectivement de 60 et 51% (7).

Dans notre étude, nous avons traité 16 patients avec 21 nodules (75% étaient secondaires). La probabilité cumulée de survie globale à 12 mois, 36 mois et 60 mois était respectivement de 80%, 66% et 39% avec une médiane de survie de 31 mois.

Nos résultats étaient comparables avec ceux de l'étude de Palussière d'autant plus que les deux séries portaient sur des nodules primitifs et métastatiques avec des proportions similaires.

Debaère et ses collaborateurs ont mené une large étude rétrospective pronostique en 2015 portant sur 1037 métastases pulmonaires traitées par radiofréquence. La probabilité cumulée de survie globale à 12 mois, 36 mois et 60 mois était respectivement 92%,67% et 51% avec une médiane de survie de 62 mois (15,16).

Les auteurs ont évalué les facteurs prédictifs influençant la survie globale. Après une analyse uni variée (Log Rank) et multivariée (régression de Cox), ils ont trouvé qu'un nombre de nodules >3 traités par séance et qu'une taille de nodule traité supérieure à 30 mm étaient des facteurs influençant la survie globale. L'âge, le sexe, les localisations extra pulmonaires et les localisations uni ou bilatérales des nodules pulmonaires n'étaient pas des facteurs influençant la survie globale (15).

L'équipe de Garetto a étudié la survie globale de 81 patients traités par radiofréquence pulmonaires (25 patients suivis pour tumeur primitive et 56 patients suivis pour tumeur secondaire). Ils ont trouvé une probabilité cumulée de survie globale à 1,2 et 3 ans respectivement de 84,5%, 65,4% et 51,5%. L'absence ou la présence d'une maladie métastatique extra pulmonaire et la taille du nodule supérieure ou inférieure à 20 mm étaient des facteurs influençant la survie globale (17,18).

Nous avons trouvé que le nombre de nodule traité par séance était un facteur pronostique indépendant influençant la survie globale avec un $p < 0,0005$. Ce qui est en concordance avec la série de Debaère (15).

Survie sans progression

Dans notre étude, l'analyse univariée a mis en évidence deux facteurs pronostiques de la survie sans progression du nodule : L'épaisseur de la plage d'hyperdensité de la plage en « verre dépoli » autour du nodule traité 24 H après la radiofréquence ($p = 0,0001$) et le contact avec la plèvre ($p = 0,038$).

Epaisseur et aspect de la plage d'hyperdensité en verre dépoli

Plusieurs études ont rapporté un taux élevé (> 80%) d'échec thérapeutique si la plage d'hyperdensité en verre dépoli était incomplète non circonférentielle (19,20).

L'étude histologique de cette plage d'hyperdensité en verre dépoli par l'équipe de Yamamoto a mis en évidence des cellules vivantes, coagulées et inflammatoires.

Plusieurs auteurs recommandent d'avoir une plage d'hyperdensité en verre dépoli mesurant au moins 5mm en épaisseur sur le scanner de contrôle précoce afin de garantir des marges saines autour du nodule (21).

Contact avec la plèvre

Nous avons trouvé que le contact pleural a significativement diminué la survie sans progression avec des probabilités cumulées de survie à 60 mois de 89% pour les tumeurs sans contact pleural et de 38 % pour les tumeurs avec contact pleural

Ceci pourrait être expliqué par la nature de l'environnement autour des nodules traités qui influence l'étendue de la nécrose et par conséquent l'efficacité de la radiofréquence (22,23).

En effet l'air est un isolant thermique, les alvéoles autour du nodule chauffent plus rapidement que celui-ci créant un gradient thermique positif jouant ainsi le rôle de four limitant la diffusion de la chaleur.

Un contact pleural va rompre cette sphère et être une source de dispersion thermique (Heat Sink Effect) (24).

CONCLUSION

L'ablathermie par radiofréquence est une technique mini invasive aux résultats actuellement validés aussi bien pour le traitement des cancers broncho-pulmonaire primitif que les localisations pulmonaires secondaires.

De récentes publications proposent la radiofréquence comme traitement à un stade palliatif visant à diminuer la charge tumorale. Cette piste mérite vérification sous nos cieux étant donné le nombre important de cancers broncho-pulmonaires diagnostiqués à un stade inopérable.

RÉFÉRENCES

- (1) de Baère T, A. Aupérin, F. Deschamps et al. Destruction par radiofréquence des tumeurs pulmonaires et osseuses. *Cancer/Radiothérapie* 2006;10:430-6. <https://doi.org/10.1016/j.canrad.2006.07.014>.
- (2) Liu B-D, Ye X, Fan W-J, Li X-G et al. Expert consensus on image-guided radiofrequency ablation of pulmonary tumors: 2018 edition: Expert consensus on RFA. *Thorac Cancer* 2018;9:1194-208. <https://doi.org/10.1111/1759-7714.12817>.
- (3) Baère T de, Palussière J, Aupérin A 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. <https://doi.org/10.1148/radiol.2402050807>.
- (4) Niibe Y and Hayakawa K. Oligometastases and Oligo-recurrence: The New Era of Cancer Therapy. *Jpn J Clin Oncol* 2010;40:107-11. <https://doi.org/10.1093/jjco/hyp167>.
- (5) Weichselbaum RR, Hellman S. Oligometastases revisited. *Nat Rev Clin Oncol* 2011;8:378-82. <https://doi.org/10.1038/nrclinonc.2011.44>.
- (6) Liu B-D, Ye X, Fan W-J et al. Expert consensus on image-guided radiofrequency ablation of pulmonary tumors: 2018 edition: Expert consensus on RFA. *Thorac Cancer* 2018;9:1194-208. <https://doi.org/10.1111/1759-7714.12817>.
- (7) Palussière J, Marcet B, Descat E et al. Lung Tumors Treated With Percutaneous Radiofrequency Ablation: Computed Tomography Imaging Follow-Up. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2011;34:989-97. <https://doi.org/10.1007/s00270-010-0048-z>.
- (8) Suh RD, Wallace AB, Sheehan RE, Heinze SB, Goldin JG. Unresectable Pulmonary Malignancies: CT-guided Percutaneous Radiofrequency Ablation—Preliminary Results. *Radiology* 2003;229:821-9. <https://doi.org/10.1148/radiol.229.3.821>.

- org/10.1148/radiol.2293021756.
- (9) Nour-Eldin N-EA, Naguib NNN, Tawfik AM, Gruber-Rouh T, Zangos S, Vogl TJ. CT Volumetric Assessment of Pulmonary Neoplasms after Radiofrequency Ablation: When to Consider a Second Intervention? *J Vasc Interv Radiol* 2014;25:347–54. <https://doi.org/10.1016/j.jvir.2013.11.036>.
 - (10) Bojarski JD, Dupuy DE, Mayo-Smith WW. CT Imaging Findings of Pulmonary Neoplasms After Treatment with Radiofrequency Ablation: Results in 32 Tumors. *Am J Roentgenol* 2005;185:466–71. <https://doi.org/10.2214/ajr.185.2.01850466>.
 - (11) Vogl T, Nour-Eldin N-E, Albrecht M et al. Thermal Ablation of Lung Tumors: Focus on Microwave Ablation. *RöFo - Fortschritte Auf Dem Geb Röntgenstrahlen Bildgeb Verfahr* 2017;189:828–43. <https://doi.org/10.1055/s-0043-109010>.
 - (12) Abtin FG, Gutierrez AJ, Lee C, Fishbein MC, Suh RD. Radiofrequency Ablation of Lung Tumors: Imaging Features of the Postablation Zone. *RadioGraphics* 2012;32:947–69. <https://doi.org/10.1148/rg.324105181>.
 - (13) Kashima M, Yamakado K, Takaki H et al. Complications After 1000 Lung Radiofrequency Ablation Sessions in 420 Patients: A Single Center's Experiences. *Am J Roentgenol* 2011;197:W576–80. <https://doi.org/10.2214/AJR.11.6408>.
 - (14) Alberti N, Buy X, Frulio N et al. Rare complications after lung percutaneous radiofrequency ablation: Incidence, risk factors, prevention and management. *Eur J Radiol* 2016;85:1181–91. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2016.03.032>.
 - (15) de Baère T, Aupérin A, Deschamps F et al. Radiofrequency ablation is a valid treatment option for lung metastases: experience in 566 patients with 1037 metastases. *Ann Oncol* 2015;26:987–91. <https://doi.org/10.1093/annonc/mdv037>.
 - (16) Ridge CA, Silk M, Petre EN et al. Radiofrequency Ablation of T1 Lung Carcinoma: Comparison of Outcomes for First Primary, Metachronous, and Synchronous Lung Tumors. *J Vasc Interv Radiol* 2014;25:989–96. <https://doi.org/10.1016/j.jvir.2014.02.021>.
 - (17) Garetto I, Busso M, Sardo D et al. Radiofrequency ablation of thoracic tumours: lessons learned with ablation of 100 lesions. *Radiol Med (Torino)* 2014;119:33–40. <https://doi.org/10.1007/s11547-013-0308-5>.
 - (18) Streitparth T, Schumacher D, Damm R et al. Percutaneous radiofrequency ablation in the treatment of pulmonary malignancies: efficacy, safety and predictive factors. *Oncotarget* 2018;9. <https://doi.org/10.18632/oncotarget.24270>.
 - (19) Steinke K, King J, Glenn D, Morris DL. Radiologic appearance and complications of percutaneous computed tomography guided radiofrequency-ablated pulmonary metastases from colorectal carcinoma: *J Comput Assist Tomogr* 2003;27:750–7. <https://doi.org/10.1097/00004728-200309000-00012>.
 - (20) Anderson EM, Lees WR, Gillams AR. Early Indicators of Treatment Success After Percutaneous Radiofrequency of Pulmonary Tumors. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2009;32:478–83. <https://doi.org/10.1007/s00270-008-9482-6>.
 - (21) Yamamoto A, Nakamura K, Matsuoka T et al. Radiofrequency Ablation in a Porcine Lung Model: Correlation Between CT and Histopathologic Findings. *Am J Roentgenol* 2005;185:1299–306. <https://doi.org/10.2214/AJR.04.0968>.
 - (22) Ujiiie H, Yasufuku K. Understanding the possibility of image-guided thermal ablation for pulmonary malignancies. *J Thorac Dis* 2018;10:603–9. <https://doi.org/10.21037/jtd.2018.01.01>.
 - (23) Lee KS, Pua BB. Alternative to surgery in early stage NSCLC—interventional radiologic approaches. *Transl Lung Cancer Res* 2013;2:14.
 - (24) Pillai K, Akhter J, Chua TC et al. Heat Sink Effect on tumor ablation Characteristics as Observed in Monopolar Radiofrequency, Bipolar Radiofrequency, and Microwave, Using Ex Vivo Calf Liver Model: *Medicine* 2015;94:e580. <https://doi.org/10.1097/MD.0000000000000580>.