



HAL
open science

Percutaneous thermal ablation of primary and secondary lung tumors: comparison between microwave and radiofrequency ablation

Vincent Aufranc

► **To cite this version:**

Vincent Aufranc. Percutaneous thermal ablation of primary and secondary lung tumors: comparison between microwave and radiofrequency ablation. Human health and pathology. 2019. dumas-02866504

HAL Id: dumas-02866504

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02866504>

Submitted on 12 Oct 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - ShareAlike 4.0 International License

**UNIVERSITE DE MONTPELLIER FACULTE DE MEDECINE
MONTPELLIER-NIMES**

THESE

Pour obtenir le titre de
DOCTEUR EN MEDECINE

Présentée et soutenue publiquement
Par

Vincent AUFRANC

le 03/10/2019

TITRE

**Percutaneous thermal ablation of primary
and secondary lung tumors:
Comparison between microwave and radiofrequency ablation**

Directeur de thèse : Docteur GUIBAL Aymeric

JURY

Président :	Professeur BEREGI Jean-Paul
Assesseurs :	Professeur TAOUREL Patrice Professeur VERNHET Hélène Docteur GUIBAL Aymeric
Membre invité :	Docteur BOMMART Sébastien

**UNIVERSITE DE MONTPELLIER FACULTE DE MEDECINE
MONTPELLIER-NIMES**

THESE

Pour obtenir le titre de
DOCTEUR EN MEDECINE

Présentée et soutenue publiquement
Par

Vincent AUFRANC

le 03/10/2019

TITRE

**Percutaneous thermal ablation of primary
and secondary lung tumors:
Comparison between microwave and radiofrequency ablation**

Directeur de thèse : Docteur GUIBAL Aymeric

JURY

Président :	Professeur BEREGLI Jean-Paul
Assesseurs :	Professeur TAUREL Patrice Professeur VERNHET Hélène Docteur GUIBAL Aymeric
Membre invité :	Docteur BOMMART Sébastien

ANNEE UNIVERSITAIRE 2018 - 2019

PERSONNEL ENSEIGNANT

Professeurs Honoraires

ALLIEU Yves
ALRIC Robert
ARNAUD Bernard
ASTRUC Jacques
AUSSILLOUX Charles
AVEROUS Michel
AYRAL Guy
BAILLAT Xavier
BALDET Pierre
BALDY-MOULINIER
Michel
BALMES Jean-Louis
BALMES Pierre
BANSARD Nicole
BAYLET René
BILLIARD Michel
BLARD Jean-Marie
BLAYAC Jean Pierre
BLOTMAN Francis
BONNEL François
BOUDET Charles
BOURGEOIS Jean-Marie
BRUEL Jean Michel
BUREAU Jean-Paul
BRUNEL Michel
CALLIS Albert
CANAUD Bernard
CASTELNAU Didier
CHAPTAL Paul-André
CIURANA Albert-Jean
CLOT Jacques
D'ATHIS Françoise
DEMAILLE Jacques
DESCOMPS Bernard
DIMEGLIO Alain

DUBOIS Jean Bernard
DUMAS Robert
DUMAZER Romain
ECHENNE Bernard
FABRE Serge
FREREBEAU Philippe
GALIFER René Benoît
GODLEWSKI Guilhem
GRASSET Daniel
GROLLEAU-RAOUX
Robert
GUILHOU Jean-Jacques
HERTAULT Jean
HUMEAU Claude
JAFFIOL Claude
JANBON Charles
JANBON François
JARRY Daniel
JOYEUX Henri
LAFFARGUE François
LALLEMANT Jean Gabriel
LAMARQUE Jean-Louis
LAPEYRIE Henri
LESBROS Daniel
LOPEZ François Michel
LORIOT Jean
LOUBATIERES Marie
Madeleine
MAGNAN DE BORNIER
Bernard
MARY Henri
MATHIEU-DAUDE Pierre
MEYNADIER Jean
MICHEL François-Bernard
MICHEL Henri

MION Charles
MION Henri
MIRO Luis
NAVARRO Maurice
NAVRATIL Henri
OTHONIEL Jacques
PAGES Michel
PEGURET Claude
PELISSIER Jacques
POUGET Régis
PUECH Paul
PUJOL Henri
PUJOL Rémy
RABISCHONG Pierre
RAMUZ Michel
RIEU Daniel
RIOUX Jean-Antoine
ROCHFORT Henri
ROSSI Michel
ROUANET DE VIGNE
LAVIT Jean Pierre
SAINT AUBERT Bernard
SANCHO-GARNIER
Hélène
SANY Jacques
SEGNARBIEUX François
SENAC Jean-Paul
SERRE Arlette
SIMON Lucien
SOLASSOL Claude
THEVENET André
VIDAL Jacques
VISIER Jean Pierre

Professeurs Emérites

ARTUS Jean-Claude	MARES Pierre
BLANC François	MAURY Michèle
BOULENGER Jean-Philippe	MILLAT Bertrand
BOURREL Gérard	MAUDELONDE Thierry
BRINGER Jacques	MONNIER Louis
CLAUSTRES Mireille	PREFAUT Christian
DAURES Jean-Pierre	PUJOL Rémy
DAUZAT Michel	SULTAN Charles
DEDET Jean-Pierre	TOUCHON Jacques
ELEDJAM Jean-Jacques	VOISIN Michel
GUERRIER Bernard	ZANCA Michel
JOURDAN Jacques	

Professeurs des Universités - Praticiens Hospitaliers

PU-PH de classe exceptionnelle

ALBAT Bernard - Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
ALRIC Pierre - Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire (option chirurgie vasculaire)
BACCINO Eric - Médecine légale et droit de la santé
BASTIEN Patrick - Parasitologie et mycologie
BONAFE Alain - Radiologie et imagerie médicale
CAPDEVILA Xavier - Anesthésiologie-réanimation
COLSON Pascal – Anesthésie-réanimation
COMBE Bernard - Rhumatologie
COSTA Pierre - Urologie
COTTALORDA Jérôme - Chirurgie infantile
COUBES Philippe – Neurochirurgie
COURTET Philippe – Psychiatrie d'adultes, addictologie
CRAMPETTE Louis - Oto-rhino-laryngologie
CRISTOL Jean Paul - Biochimie et biologie moléculaire
DAVY Jean Marc - Cardiologie
DE LA COUSSAYE Jean Emmanuel - Anesthésiologie-réanimation
DELAPORTE Eric - Maladies infectieuses ; maladies tropicales
DEMOLY Pascal – Pneumologie, addictologie
DE WAZIERES Benoît - Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
DOMERGUE Jacques - Chirurgie générale
DUFFAU Hugues - Neurochirurgie
DUJOLS Pierre - Biostatistiques, informatique médicale et technologies de la communication
ELIAOU Jean François - Immunologie
FABRE Jean Michel - Chirurgie générale
FRAPIER Jean-Marc – Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
GUILLOT Bernard - Dermato-vénéréologie
HAMAMAH Samir-Biologie et Médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
HEDON Bernard-Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
HERISSON Christian-Médecine physique et de réadaptation
JABER Samir-Anesthésiologie-réanimation
JEANDEL Claude-Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
JONQUET Olivier-Réanimation ; médecine d'urgence
JORGENSEN Christian-Thérapeutique ; médecine d'urgence ; addictologie
KOTZKI Pierre Olivier-Biophysique et médecine nucléaire
LANDAIS Paul-Epidémiologie, Economie de la santé et Prévention
LARREY Dominique-Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
LEFRANT Jean-Yves-Anesthésiologie-réanimation
LE QUELLEC Alain-Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
MARTY-ANE Charles - Chirurgie thoracique et cardiovasculaire

MERCIER Jacques - Physiologie
MESSNER Patrick – Cardiologie
MONDAIN Michel – Oto-rhino-laryngologie
PELISSIER Jacques-Médecine physique et de réadaptation
RENARD Eric-Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques ; gynécologie médicale
REYNES Jacques-Maladies infectieuses, maladies tropicales
RIBSTEIN Jean-Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
RIPART Jacques-Anesthésiologie-réanimation
ROUANET Philippe-Cancérologie ; radiothérapie
SCHVED Jean François-Hématologie; Transfusion
TAOUREL Patrice-Radiologie et imagerie médicale
UZIEL Alain -Oto-rhino-laryngologie
VANDE PERRE Philippe-Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
YCHOU Marc-Cancérologie ; radiothérapie

PU-PH de 1^{er} classe

AGUILAR MARTINEZ Patricia-Hématologie ; transfusion
AVIGNON Antoine-Nutrition
AZRIA David -Cancérologie ; radiothérapie
BAGHDADLI Amaria-Pédopsychiatrie ; addictologie
BEREGI Jean-Paul-Radiologie et imagerie médicale
BLAIN Hubert-Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
BLANC Pierre-Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
BORIE Frédéric-Chirurgie digestive
BOULOT Pierre-Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
CAMBONIE Gilles -Pédiatrie
CAMU William-Neurologie
CANOVAS François-Anatomie
CARTRON Guillaume-Hématologie ; transfusion
CHAMMAS Michel-Chirurgie orthopédique et traumatologique
CHANQUES Gérald – Anesthésie-réanimation
CORBEAU Pierre-Immunologie
COSTES Valérie-Anatomie et cytologie pathologiques
CYTEVAL Catherine-Radiologie et imagerie médicale
DADURE Christophe-Anesthésiologie-réanimation
DAUVILLIERS Yves-Physiologie
DE TAYRAC Renaud-Gynécologie-obstétrique, gynécologie médicale
DEMARIA Roland-Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire
DEREURE Olivier-Dermatologie – vénéréologie
DE VOS John – Cytologie et histologie
DROUPY Stéphane -Urologie
DUCROS Anne-Neurologie
GARREL Renaud – Oto-rhino-laryngologie
HAYOT Maurice - Physiologie
KLOUCHE Kada-Réanimation ; médecine d'urgence
KOENIG Michel-Génétique moléculaire
LABAUGE Pierre- Neurologie
LAFFONT Isabelle-Médecine physique et de réadaptation
LAVABRE-BERTRAND Thierry-Cytologie et histologie
LAVIGNE Jean-Philippe – Bactériologie – virologie, hygiène hospitalière
LECLERCQ Florence-Cardiologie
LEHMANN Sylvain-Biochimie et biologie moléculaire
LE MOING Vincent – Maladies infectieuses, maladies tropicales
LUMBROSO Serge-Biochimie et Biologie moléculaire
MARIANO-GOULART Denis-Biophysique et médecine nucléaire
MATECKI Stéfan -Physiologie
MEUNIER Laurent-Dermato-vénéréologie
MOREL Jacques - Rhumatologie
MORIN Denis-Pédiatrie
NAVARRO Francis-Chirurgie générale
PETIT Pierre-Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie

PERNEY Pascal-Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
PRUDHOMME Michel - Anatomie
PUJOL Jean Louis-Pneumologie ; addictologie
PUJOL Pascal-Biologie cellulaire
PURPER-OUAKIL Diane-Pédopsychiatrie ; addictologie
QUERE Isabelle-Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire (option médecine vasculaire)
SOTTO Albert-Maladies infectieuses ; maladies tropicales
TOUITOU Isabelle-Génétique
TRAN Tu-Anh-Pédiatrie
VERNHET Hélène-Radiologie et imagerie médicale

PU-PH de 2ème classe

ASSENAT Éric-Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
BERTHET Jean-Philippe-Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
BOURDIN Arnaud-Pneumologie ; addictologie
CANAUD Ludovic-Chirurgie vasculaire ; Médecine Vasculaire
CAPDEVIELLE Delphine-Psychiatrie d'Adultes ; addictologie
CAPTIER Guillaume-Anatomie
CAYLA Guillaume-Cardiologie
COLOMBO Pierre-Emmanuel-Cancérologie ; radiothérapie
COSTALAT Vincent-Radiologie et imagerie médicale
COULET Bertrand-Chirurgie orthopédique et traumatologique
CUVILLON Philippe-Anesthésiologie-réanimation
DAIEN Vincent-Ophtalmologie
DORANDEU Anne-Médecine légale -
DUPEYRON Arnaud-Médecine physique et de réadaptation
FAILLIE Jean-Luc – Pharmacologie fondamentale, pharmacologie clinique, addictologie
FESLER Pierre-Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
GAUJOUX Viala Cécile-Rhumatologie
GENEVIEVE David-Génétique
GODREUIL Sylvain-Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
GUILLAUME Sébastien-Urgences et Post urgences psychiatriques -
GUILPAIN Philippe-Médecine Interne, gériatrie et biologie du vieillissement; addictologie
GUIU Boris-Radiologie et imagerie médicale
HERLIN Christian – Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique, brûlologie
HOUEDE Nadine-Cancérologie ; radiothérapie
JACOT William-Cancérologie ; Radiothérapie
JUNG Boris-Réanimation ; médecine d'urgence
KALFA Nicolas-Chirurgie infantile
KOUYOUMDJIAN Pascal-Chirurgie orthopédique et traumatologique
LACHAUD Laurence-Parasitologie et mycologie
LALLEMANT Benjamin-Oto-rhino-laryngologie
LE QUINTREC Moglie - Néphrologie
LETOUZEY Vincent-Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
LONJON Nicolas - Neurologie
LOPEZ CASTROMAN Jorge-Psychiatrie d'Adultes ; addictologie
LUKAS Cédric-Rhumatologie
MAURY Philippe-Chirurgie orthopédique et traumatologique
MILLET Ingrid-Radiologie et imagerie médicale
MORANNE Olivier-Néphrologie
NAGOT Nicolas-Biostatistiques, informatique médicale et technologies de la communication
NOCCA David-Chirurgie digestive
PANARO Fabrizio-Chirurgie générale
PARIS Françoise-Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
PASQUIE Jean-Luc-Cardiologie
PEREZ MARTIN Antonia-Physiologie
POUDEROUX Philippe-Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
RIGAU Valérie-Anatomie et cytologie pathologiques
RIVIER François-Pédiatrie
ROGER Pascal-Anatomie et cytologie pathologiques
ROSSI Jean François-Hématologie ; transfusion

ROUBILLE François-Cardiologie
SEBBANE Mustapha-Anesthésiologie-réanimation
SIRVENT Nicolas-Pédiatrie
SOLASSOL Jérôme-Biologie cellulaire
STOEBNER Pierre – Dermato-vénérologie
SULTAN Ariane-Nutrition
THOUVENOT Éric-Neurologie
THURET Rodolphe-Urologie
VENAIL Frédéric-Oto-rhino-laryngologie
VILLAIN Max-Ophtalmologie
VINCENT Denis -Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
VINCENT Thierry-Immunologie
WOJTUSCISZYN Anne-Endocrinologie-diabétologie-nutrition

PROFESSEURS DES UNIVERSITES

1^{re} classe :

COLINGE Jacques - Cancérologie, Signalisation cellulaire et systèmes complexes

2^{ème} classe :

LAOUDJ CHENIVESSE Dalila - Biochimie et biologie moléculaire

VISIER Laurent - Sociologie, démographie

PROFESSEURS DES UNIVERSITES - Médecine générale

1^{re} classe :

LAMBERT Philippe

2^{ème} classe :

AMOUYAL Michel

PROFESSEURS ASSOCIES - Médecine Générale

CLARY Bernard

DAVID Michel

PROFESSEUR ASSOCIE - Médecine

BESSIS Didier - Dermato-vénérologie

MEUNIER Isabelle – Ophtalmologie

MULLER Laurent – Anesthésiologie-réanimation

PERRIGAULT Pierre-François - Anesthésiologie-réanimation ; médecine d'urgence

ROUBERTIE Agathe – Pédiatrie

Maîtres de Conférences des Universités - Praticiens Hospitaliers

MCU-PH Hors classe

BOULLE Nathalie – Biologie cellulaire

CACHEUX-RATABOUL Valère-Génétique

CARRIERE Christian-Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière

CHARACHON Sylvie-Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière

FABBRO-PERAY Pascale-Epidémiologie, économie de la santé et prévention

HILLAIRE-BUYS Dominique-Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie

GIANSILY-BLAIZOT Muriel – Hématologie, transfusion

PELLESTOR Franck-Cytologie et histologie

PUJOL Joseph-Anatomie

RICHARD Bruno-Thérapeutique ; addictologie

RISPAIL Philippe-Parasitologie et mycologie

SEGONDY Michel-Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière

MCU-PH de 1^{re} classe

BADIOU Stéphanie-Biochimie et biologie moléculaire

BOUDOUSQ Vincent-Biophysique et médecine nucléaire

BOURGIER Céline-Cancérologie ; Radiothérapie
BRET Caroline -Hématologie biologique
COSSEE Mireille-Génétique Moléculaire
GABELLE DELOUSTAL Audrey-Neurologie
GIRARDET-BESSIS Anne-Biochimie et biologie moléculaire
LAVIGNE Géraldine-Hématologie ; transfusion
LESAGE François-Xavier – Médecine et santé au travail
MATHIEU Olivier-Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
MENJOT de CHAMPFLEUR Nicolas-Neuroradiologie
MOUZAT Kévin-Biochimie et biologie moléculaire
PANABIÈRES Catherine-Biologie cellulaire
PHILIBERT Pascal-Biologie et médecine du développement et de la reproduction
RAVEL Christophe - Parasitologie et mycologie
SCHUSTER-BECK Iris-Physiologie
STERKERS Yvon-Parasitologie et mycologie
TUAILLON Edouard-Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
YACHOUH Jacques-Chirurgie maxillo-faciale et stomatologie

MCU-PH de 2^{ème} classe

BERTRAND Martin-Anatomie
DE JONG Audrey – Anesthésie-réanimation
DU THANH Aurélie-Dermato-vénéréologie
GALANAUD Jean Philippe-Médecine Vasculaire
GOUZI Farès-Physiologie
HERRERO Astrid – Chirurgie générale
JEZIORSKI Éric-Pédiatrie
KUSTER Nils-Biochimie et biologie moléculaire
MAKINSON Alain-Maladies infectieuses, Maladies tropicales
MURA Thibault-Biostatistiques, informatique médicale et technologies de la communication
OLIE Emilie-Psychiatrie d'adultes ; addictologie
PANTEL Alix – Bactériologie-virologie, hygiène hospitalière
PERS Yves-Marie – Thérapeutique, addictologie
SABLEWSKI Vanessa – Anatomie et cytologie pathologiques
THEVENIN-RENE Céline-Immunologie

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES - Médecine Générale

Maîtres de conférence de 1^{ère} classe

COSTA David

Maîtres de conférence de 2^{ème} classe

FOLCO-LOGNOS Béatrice
OUDE-ENGBERINK Agnès

MAITRES DE CONFERENCES ASSOCIES - Médecine Générale

GARCIA Marc
MILLION Elodie
PAVAGEAU Sylvain
REBOUL Marie-Catherine
SERAYET Philippe

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

Maîtres de Conférences hors classe

BADIA Eric - Sciences biologiques fondamentales et cliniques

Maîtres de Conférences de classe normale

BECAMEL Carine - Neurosciences
BERNEX Florence - Physiologie
CHAUMONT-DUBEL Séverine - Sciences du médicament et des autres produits de santé
CHAZAL Nathalie - Biologie cellulaire
DELABY Constance - Biochimie et biologie moléculaire

GUGLIELMI Laurence - Sciences biologiques fondamentales et cliniques
HENRY Laurent - Sciences biologiques fondamentales et cliniques
LADRET Véronique - Mathématiques appliquées et applications des mathématiques
LAINE Sébastien - Sciences du Médicament et autres produits de santé
LE GALLIC Lionel - Sciences du médicament et autres produits de santé
LOZZA Catherine - Sciences physico-chimiques et technologies pharmaceutiques
MAIMOUN Laurent - Sciences physico-chimiques et ingénierie appliquée à la santé
MOREAUX Jérôme - Science biologiques, fondamentales et cliniques
MORITZ-GASSER Sylvie - Neurosciences
MOUTOT Gilles - Philosophie
PASSERIEUX Emilie - Physiologie
RAMIREZ Jean-Marie - Histologie
TAULAN Magali - Biologie Cellulaire

PRATICIENS HOSPITALIERS UNIVERSITAIRES

CLAIRE DAIEN-Rhumatologie
BASTIDE Sophie-Epidémiologie, économie de la santé et prévention
GATINOIS Vincent-Histologie, embryologie et cytogénétique
PINETON DE CHAMBRUN Guillaume-Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
SOUCHE François-Régis – Chirurgie générale
TORRE Antoine-Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale

Remerciements :

A Monsieur le Professeur Jean-Paul Beregi,

Vous me faites l'honneur de présider ma thèse. Malgré mon unique passage au CHU de Nîmes en première année d'internat, vous avez immédiatement accepté d'être président du Jury. J'espère pouvoir m'inspirer de votre engagement pour notre belle spécialité et vous remercie sincèrement pour votre confiance et votre disponibilité tout au long de ce travail.

A Monsieur le Professeur Patrice Taourel,

Je vous remercie tout d'abord d'avoir accepté de participer à ce jury. Merci d'avoir su partager votre passion de l'imagerie digestive lors des fameux staffs du mercredi matin et lors de nos séances « relectures de gardes ». Merci pour vos enseignements en thermo-ablation rénale qui, j'en suis certain, me serviront encore de nombreuses années. Espérons que cet article d'imagerie thoracique saura tout autant vous intéresser, voire, sait-on jamais, fera naître une nouvelle passion. Enfin, plus sérieusement, je vous remercie sincèrement d'avoir eu la bienveillance et l'ouverture d'esprit de me proposer cet assistantat partagé entre votre service et celui de Perpignan. J'espère profondément que cette collaboration sera fructueuse et me réjouis à l'idée de pouvoir très prochainement exercer avec ces deux équipes.

A Madame le Professeur Hélène Vernhet,

Je vous suis très reconnaissant pour l'ensemble des connaissances que vous avez su partager en salle d'interventionnel. Merci pour tout le travail que vous avez fourni en tant que coordonnatrice de D.E.S. C'est un réel plaisir de vous compter parmi les membres de mon jury.

A Monsieur le Docteur Sébastien Bommart,
Sébastien merci infiniment pour ta formation en imagerie thoracique qui a confirmé ma passion pour cette spécialité. Merci pour ta patience lors de mes premières tentatives de percutané. Je continuerai à suivre assidument tes enseignements au Club Thorax. Ta présence dans ce jury était une évidence, je te remercie sincèrement d'avoir accepté mon invitation.

A Monsieur le Docteur Aymeric Guibal,
Ou plutôt, à Aymeric. Merci infiniment pour tes encouragements, ton soutien et ta disponibilité infaillibles pendant tout ce travail de thèse. Tous tes conseils étaient justes et avisés, même si cela me faisait mal au cœur de supprimer des lignes et des lignes de texte après chaque review ! Ce travail n'aurait jamais pu exister sans toi. Combien de thésards ont pu avoir la chance de faire un tour de voilier, une sortie kite, un barbecue ou une paillote entre deux discussions sur la thermo-ablation ? Pour toutes ces raisons, je me réjouis à l'idée de travailler, j'espère, encore de nombreuses années dans votre équipe.

A ma famille

A Jacques et Christine, Jacquot et Kiki. Merci pour les valeurs que vous m'avez enseignées, ou en tout cas que vous avez essayé de m'enseigner. J'espère montrer la même rigueur au travail que lorsque vous me faisiez faire les devoirs dans l'enfance (promis Jacques, pendant cette soutenance, je lirai le titre !). Jacquot, tu as toujours su me replacer dans le droit chemin quand je m'égarais, parfois (souvent ? ^^) maladroitement. Peut-être aurai-je ma deuxième grande accolade de père à fils après cette soutenance ! Kiki, ta bienveillance et ta force de caractère, prouvée cette année, m'impressionnent et m'inspirent. Quelques lignes ne suffiront jamais à vous remercier pour toutes ces années passées à veiller sur moi. Tout ce qui m'arrive, c'est grâce à vous. Merci.

A Athos, petit frère. Toutes ces années à me suivre, me soutenir et m'écouter depuis le collège jusqu'à la thèse, combien d'heures à nous amuser ensemble. J'espère du fond du cœur que cela continuera encore plusieurs années. Ma vie n'aurait pas été la même sans toi.

A Jeannot. Cette thèse est pour toi.

A Mamie Jacqueline. Merci pour ces inoubliables moments passés à crapahuter en montagne ou à jouer dans le jardin. Je ne garde que d'excellents souvenirs des weekends que nous passions tous ensemble, à Beauvais ou Grand-Couronne.

A Philippe, Gazon. Merci pour le temps que nous avons passé à faire des bêtises à Argentières, à l'appartement, en randonnée, au snowboard, en montagne, partout ! Merci pour ta patience lors de ton enseignement du snowboard. Que de souvenirs ! Gné.

A Pilou et Mamie Nicole. Je suis ravi de pouvoir vous compter parmi nous. La joie de vivre qui transparait dans votre voix à chaque appel m'emplit de joie et me rend admiratif. J'espère avoir autant d'énergie positive à votre âge !

A Pierre, Marc, Ioana, Jean, Maria, Matthieu, Paul, Alice, Gauthier et à Marie. Merci pour votre soutien. En espérant qu'on se revoie bientôt tous ensemble !

A ma belle-famille

A Tsiry et Bako. Merci de m'avoir accueilli au sein de votre famille, lors des weekends chaunois ou lors des grandes réunions de famille de Noël ! Je sais que je peux compter sur votre soutien et votre amitié.

A Jo. Merci pour ta présence auprès de Tiana. Merci pour ta gentillesse si naturelle. A bientôt pour un 2K ou un Fifa !

A Faly. Merci pour ces discussions amiénoises !

Et à tous les autres (excusez-moi pour l'orthographe ^^) : Hanitra, Heriniaina, Maminiaina, Nantenaina (le plus dur est passé !), Anaïs, Anouk, Loris, Franckya, Ludovic. Merci de m'avoir accueilli dans votre famille.

Aux amis

A Cyrille. Merci pour ta rigueur et pour tout ce que tu m'as appris en imagerie. Non, je rigole.

A Guillaume, Doudou, l'Ancien. Merci pour tous ces rendez-vous improvisés, pour ces délires qui finissent par me faire peur. A ces câlins empreints de virilité. Merci Sophie pour ton soutien en garde à Chauliac. A Nino.

A Maa'. Merci pour toutes ces soirées ! Félicitations pour supporter Cyrille depuis autant de temps !

Allez, ok. A Cyrille, merci pour m'avoir appris le kite. Je te dois une des plus belles passions de ma vie. Merci Cyrille et Caro pour ces sessions sétoises à naviguer au coucher de soleil sur l'étang de Thau. Je me souviendrai toute ma vie de mon premier bord en kite, et c'était avec vous deux.

Au p'tit Thomas.

Ps : Caro, si tu peux me donner ta pointure, je crois que je te dois une paire de Crocs...

Merci pour toutes nos soirées à 4, nos Escape Games, les soirées à se tordre de rire. A Karen. A nos boules vanille.

A Edouard et Astrid. Merci pour cette première année, qui n'aurait pas eu la même saveur sans ces affrontements quotidiens sur Fifa.

A Ivona. Toutes ces années à se suivre depuis le lycée. Merci pour cet externat passé à se serrer les coudes !

A Camille. Merci pour ce soutien sentimental apporté pendant l'externat ! J'espère que nous aurons bientôt l'occasion d'aller trekker ensemble !

A Pierrick. J'admire tes compétences, ta discrétion et ta gentillesse. J'espère réellement t'accompagner dans un futur trek ! Et en attendant, au Canigou !

A Jordan, mon chewi. Merci pour tout ce que tu m'as apporté. Tu fais partie des personnalités que j'aime et que j'admire. A très bientôt à Montpellier, Perpignan ou Beauvais pour refaire le monde ensemble !

Aux amis du lycée. Jordan, Louise, Laura, Louis, Guillaume, Astrid, Justine, William. Ces années font partie des meilleures de ma vie, en grande partie grâce à vous. A Epluques.

A M. Avril, M. Champion, Mme. Massy. Merci de m'avoir appris ce qu'était le travail, avec passion et pédagogie.

A Dr Camax, Dr Maret, Dr Leleu. A toute l'équipe de soins palliatifs et au service de pneumologie du CHU d'Amiens. Je vous dois une grande partie de ma vision de ce métier. J'espère être digne de vos enseignements.

A Cédric, Thierry et William. Pour ces moments passés à 5100m avec vous, à boire de la muña et du maté coca...Arequipa !

Perpignan

A Geoffroy, Jojo. J'admire ta rigueur, tes compétences et ton calme à toute épreuve en salle d'interventionnel (éludons simplement les histoires « d'ovaires qui se touchent »). Tu es un véritable modèle à suivre. Ta vision de notre métier et de notre belle spécialité m'enthousiasme. C'est un honneur et un plaisir de travailler avec toi. Merci.

A Max. Merci pour ta gentillesse et ton calme en toute circonstance. Tu es un associé vraiment idéal. Merci de te décarcasser pour ce planning, et de m'incorporer dedans même quand je m'y prends tard ! Je me réjouis de travailler avec toi !

A Eric. Merci et félicitations pour ton courage. Il en aura fallu pour m'apprendre l'imagerie ORL ! Merci pour tes conseils en restaurants. Malgré tes tendances manifestes de psychopathe, ce semestre n'aura finalement pas été si traumatisant !

A Nico. Merci pour tous tes conseils avisés. Merci pour l'organisation des DMD de pathologies interstitielles. Je serai ravi de développer l'imagerie thoracique avec toi et surtout de partager des bons petits restos de ton choix !

A Delcia. Merci pour ta gentillesse en toute circonstance et ton sourire communicatif. C'est un bonheur de faire des vacances avec toi !

A Aurélie. Tu as été la première à me montrer que l'imagerie pelvienne et urologique était une si belle sous-spécialité, et ce n'était pas gagné ! Merci infiniment pour avoir su partager cette passion avec moi.

A Philippe. Merci pour ton sourire et ta bienveillance envers moi, et aussi pour tes enseignements sur les trous de la base du crâne ! Merci pour ce que tu as fait pour le service.

A Jean-Louis. L'encyclopédie médicale de Perpignan (noms propres inclus !) J'espère bénéficier encore longtemps de tes précieux enseignements. Merci de partager toutes ces connaissances. Merci pour ce que tu as fait pour ce service.

A Sabine. C'est un plaisir de travailler avec toi. Nous n'avons eu que peu de vacances ensemble, mais ton sourire et ta bonne humeur les ont rendues particulièrement agréables !

A Ana. Holà ! Merci pour ta folie, tes prises de kung-fu, les festins que tu nous amènes à chaque vacation, les balades en Espagne. Merci de ton aide indispensable en pédiatrie !

A Sandra. Merci pour ta gentillesse et ton sourire communicatif. Merci pour ta disponibilité et pour ton aide en pédiatrie !

A Mourad. Merci de maintenir l'imagerie vasculaire aux radiologues ! J'admets ne pas beaucoup t'aider dans ce projet... En revanche, pour la session kite/foil, c'est quand tu veux !

A Omar. Merci pour ton sérieux. J'espère que nous aurons bientôt l'occasion de travailler ensemble en imagerie pelvienne !

A Mohamed. Merci pour ta gentillesse et tes compétences en salle de vasculaire.

A Paul. Merci pour ces quelques vacances ensemble, marquées par ton calme et ton humour britannique que j'adore !

A Stéphane, Evelyne et à tous les manips qui contribuent à rendre ce service si agréable.

A Emilie F. et Emilie G., Ilona, Johann, Nico, Perrine. Merci pour les soirées passées ensemble et merci infiniment pour votre accueil.

Lapeyronie Mou

A Madame le Professeur Ingrid Millet. Ingrid, merci pour ton soutien tout au long de ce travail. Merci pour ton implication en tant que coordonnatrice de D.E.S. Tes compétences, ta rigueur et ta bienveillance sont admirables. Tu es un modèle pour moi. Je me réjouis à l'idée de travailler avec toi et espère être à la hauteur de tes enseignements.

Merci Cécile pour ces papotages, ces discussions de voyage et ces pauses café nécessaires pendant nos vacances ! Merci pour ta franchise et ton naturel, si précieux.

A Céline. Ma première expérience devant la caméra à l'IRM était avec toi. On te savait chanteuse, danseuse, et maintenant actrice, quelle artiste ! C'est un vrai bonheur de travailler dans la bonne humeur avec toi !

A Claire. Merci Claire pour ton calme et ta sérénité en toute circonstance, particulièrement rassurants. Ce sera un plaisir de travailler avec toi.

A Fernanda. Merci pour ces nombreuses gardes et ces vacances de TAP à la chaîne passées à St Eloi. Après y avoir survécu, je pense qu'on peut tout affronter. Merci également pour tes enseignements en échographie thyroïdienne.

A Caro. Tes connaissances et ton sérieux sont impressionnants. Merci pour ta présence et ta disponibilité. Je sais d'ores et déjà que ton livre me sortira de bon nombre de situations compliquées !

A Emma. Nous n'avons malheureusement pas beaucoup eu de vacances ensemble. Je me réjouis de pouvoir travailler avec toi et d'apprendre à te connaître.

A Marion. Merci pour ta bienveillance et ta bonne humeur permanentes. J'espère sincèrement que tu es épanouie dans ton nouveau poste. Peut-être aurons-nous à nouveau l'occasion de travailler ensemble !

Merci à Elodie, Stéphanie et Corinne ! Pour toutes ces anecdotes racontées en attendant le roll-off de radiofréquence, pour toutes nos discussions à midi dans votre bureau. Merci aussi pour le thé du matin ! Parce que Lapeyronie sans la douce voix d'Elodie de bon matin ne serait plus Lapeyronie.

Merci à tous les manips de Lapeyronie. C'est un bonheur de travailler avec vous et de se soutenir face à l'accumulation des urgences au Scan 12 ! Merci particulièrement à Fred, Laurie, Morgane, Bertho, Pipo et Marco, Manu, Sarah, Hélène, Marion, Thibaut, Christophe et tous les autres !

A toutes les secrétaires, très disponibles avec toujours le petit mot gentil (et les pick-ups à disposition !). Mention spéciale pour Salwa !

Merci Bernard et David pour votre expertise informatique absolument précieuse dans le service.

Lapeyronie Os

A Catherine. Merci Catherine pour tes enseignements, notamment en échographie à 4 mains, pendant lesquels j'ai beaucoup appris. Merci pour ton engagement anti-plastique et pour les tasses dédiées !

A Yann, le rider de l'extrême, le séducteur des Ardennes. Merci pour ton humour inimitable. Merci également pour la précision absolue de tes cours. Tes connaissances m'impressionnent et m'inspireront je l'espère dans ma pratique future.

A Marie-Pierre. Que de bons souvenirs en vacances avec toi. Je te remercie pour ta bienveillance et pour toutes ces vacances d'IRM où j'ai beaucoup appris.

A Benjamin. Le seul être au monde à connaître toutes les gammes diagnostiques du Cotten, en citant le numéro de page auquel ils apparaissent. Merci d'avoir partagé toutes tes connaissances. C'était un bonheur de travailler avec toi.

A Delphine. Nous n'avons pas eu l'occasion de beaucoup travailler ensemble. Merci pour les petites attentions que tu as eu pendant nos gardes. Cela faisait une éternité que je n'avais pas mangé de smarties !

ADV

A Hamid. Merci pour ta bonne humeur constante en diagnostic comme au bloc. Merci pour toutes ces réunions officielles à 16h pétantes pour aller prendre le goûter avec Cyrille et Guillaume pendant que les scanners s'entassaient. Merci pour tous les fous rires partagés à l'internat avec toi et Cyrille !

A Valérie. Merci pour ton professionnalisme et ta rigueur au travail, tout en sachant trouver les bons moments pour rire.

A tous les manips d'ADV, le Mignon vous remercie pour ce premier semestre où on s'est tellement amusés ! Merci tout particulièrement à Yonel, Jonathan, Guillaume, petit et grand Jérôme's, Daniel, Sylvain, Alex, Laure, Sonia, Florence, Cindy, Angélique et tous les autres !

Saint-Eloi

A Monsieur Guiu. Merci pour ces vacances à insister sur la compréhension de la physiopathologie. Merci de m'avoir appris à regarder sur l'imagerie ce que l'on ne regarde jamais.

A Christophe. Merci pour ta gentillesse et ta bonne humeur lors de ce semestre. Merci pour ces pauses déjeuner à regarder les résumés des matchs de NBA de la nuit, à manger les salades de la boulangerie ! C'était un réel plaisir de travailler avec toi, et j'espère sincèrement que nous aurons l'occasion de travailler à nouveau ensemble.

A Ali. Merci pour ton calme absolu et pour avoir partagé tes connaissances transversales avec moi. Merci pour ces vacances scan-jazz, dont je garde un excellent souvenir !

A Marie-Ange. Merci pour ta franchise, ton caractère bien trempé et ton humour décapant. Saint-Eloi ne serait pas vraiment Saint-Eloi sans toi.

A Laure. Merci pour ta gentillesse et ton sourire, même dans les moments parfois plus difficiles.

A Julien. Merci pour ton enseignement, notamment lors des séances Vendetta.

Merci à tous les manips de Saint-Eloi, d'une efficacité remarquable !

Gui de Chauliac

Vincent, Nicolas, Cyril, Pierre-Henri, Grégory et Carlos. Merci infiniment pour votre patience lors des relectures de gardes, où toute image différente d'un saignement ou d'une ischémie pouvait me faire paniquer.

Merci à tous les manips qui m'ont accompagné et conseillé pendant ces gardes.

Nîmes

Merci à l'ensemble de l'équipe Nîmoise pour ce semestre en imagerie des urgences : merci à Pierre, Fehmi, Ana, Mohammed, Serge, Liliane.

Un merci tout particulier à Julien, Pierre-Henri, Conny, Xavier et Anca pour leur gentillesse et la qualité de leur encadrement.

ICM

A Sophie. Merci pour ta gentillesse, ta douceur et ta confiance tout au long de ce semestre. C'était un plaisir d'échanger avec toi lors des RCP thoraciques et simplement de faire des vacances ensemble !

A Marie-Claude. Merci pour ces vacances de TEP ensemble, toujours avec bienveillance et sourire. Merci pour ton apprentissage sur la thyroïde !

A Manu. Merci pour avoir partagé tes connaissances en imagerie métabolique. Merci pour les consultations pré-IRA et pré-LUTA, que j'appréciais particulièrement. Merci infiniment pour le survol de la petite Camargue, quel souvenir !

A Diana. Merci Diana pour toutes les vacances de TEP passées ensemble. La précision extrême de tes compte-rendus n'a d'égale que ta gentillesse naturelle.

A Rodolphe. Merci pour tous ces échanges que nous avons eus. C'est un très grand plaisir de t'avoir rencontré.

A tous les manips de médecine nucléaire. Un merci tout particulier à Sylvain et Julien !

Enfin, merci Dolo ton efficacité remarquable ! Merci pour tous ces délires, tous ces intermèdes entre chaque interprétation de TEP ! Même si les projets de belle-famille ne se sont pas réalisés (ahah) j'espère que tu gardes de bons souvenirs de ces six mois !

A mes co-internes

A Jenny. Ma Jenny, merci pour toutes ces discussions et pour ton soutien dans les moments parfois difficiles. Je te dois aussi en grande partie la découverte du service perpignannais. Merci aussi pour ton aide précieuse quand je suis perdu en pédiatrie. Je garde l'espoir qu'on travaille un jour ensemble. Et surtout qu'on fasse le tour tous les treks népalais, d'Amérique du Sud et de Nouvelle-Zélande !

A Chloé. Ma Chlochlo ! Quel semestre on a passé ensemble ! Tu me régalais tous les jours avec ton petit thé, tes chaussures cirées et ton franc-parler ! Merci pour tous ces bavardages.

A Satcha. Encore une fois, quel semestre. Celui qui, du haut de son premier semestre, tenait tête aux urgentistes les plus bornés avec le plus grand calme. Merci pour ton humour que j'adore !

A Quentin D. Merci pour ton aide précieuse lors d'une vacation au scan chaud !
Merci pour tes craquages mythiques sur les urgentistes en soirée !

A Matthieu. Le calme à toute épreuve, le zen incarné ! Hier jouant au professeur pour soutenir les petites externes égarées, aujourd'hui roi de l'interventionnel !
Merci pour tous ces moments de rire passés ensemble !

A Benjamin. Merci Benjou pour ta gentillesse avec moi. Merci pour tous tes conseils lors de mon jeune passage en ostéo-articulaire ! Je suis vraiment ravi de pouvoir bientôt travailler avec toi !

A Asmaa, Asmou. Merci pour ta gentillesse et ton sourire permanents pendant ce semestre à Lapeyronie.

A Iskander. Mon premier interne « grand-frère » voire « papa » à ADV. Merci pour ton aide et ton précieux soutien pendant ce semestre. Merci pour ton humour et ton calme à toute épreuve !

A Hélène, ma petite Momo. Merci pour tes conseils en kite à mes débuts ! C'était un plaisir de faire les « demi-gardes » nîmoises en ta compagnie !

A Mathilde. Tu es la co-interne idéale. Toujours d'humeur égale, fiable et ultra compétente (même si tu clames toujours le contraire !). Je suis vraiment ravi que tu restes parmi nous !

A Angélique, la reine des hystéros, des urétros, de l'effleurage et du pétrissage ! (Ça fait rêver !) Merci pour ce semestre à bien rire ensemble ! Le projet de privation de ton bureau est en cours, je te tiens au courant !

A Benoît et Aymeric. Merci pour votre sérieux et votre fiabilité pendant ce semestre passé ensemble à ADV.

A Christophe. Merci pour ton humour pendant tout ce semestre !

A Guillaume. Merci pour ton calme et ta fiabilité, c'était un plaisir de travailler avec toi.

A Youssef. Merci pour toutes ces discussions sur la terrasse du CHU de Nîmes ! Merci pour ce semestre à se serrer les coudes, notamment pendant notre première garde solitaire. On se voit bientôt dans les PO !

A Nadir et Ludovic. Merci pour ce semestre passé ensemble.

A Margaux H, Mehdi et Lucy. Merci pour votre soutien dans l'adversité pendant ces 6 mois ! Merci tout particulièrement à Margaux pour tes conseils malgré tes horaires et responsabilités pendant tout ce semestre ! Merci Mehdi pour la bonne humeur que tu apportais !

A Quentin F. et Antoine B. Excellent semestre passé ensemble ! Merci pour votre gentillesse tout au long de ces 6 mois ! A Ancelin. Merci pour ton humour, et pour ton accent !

A Philippe L. Merci pour ce semestre ! On ne se voit malheureusement pas beaucoup mais je sais que nous aurons bientôt l'occasion de travailler davantage ensemble !

A Thomas. Merci pour ton enthousiasme exacerbé ! Ne perds jamais cette passion ! Merci pour l'aide du planning !

A Jean-Baptiste. Le pensionnaire du scan froid ! Merci pour ta sympathie et ta sérénité en vacances !

A Philippe A. On se voit bien plus maintenant que lorsque nous étions à Lapeyronie ! Merci pour ces discussions au Relais H et merci pour ton aide en rempla ! J'espère que nous aurons prochainement l'occasion de travailler ensemble !

A tous les autres internes, avec qui je n'ai pas eu l'occasion de partager un semestre.

Merci à Jessica, Margaux, William et Laure pour votre bonne humeur et votre gentillesse !

Merci à Charles-Joris, Lauranne, Dimitri et Nicolas H. pour votre implication en tant que référents de filière.

Merci aux autres internes, plus jeunes, que je n'ai pas encore eu l'occasion de connaître.

Enfin,

Merci à toi, Tiana, Tianou, et arrêtons-nous là dans les surnoms !

Merci pour ta présence pendant plus de 5 ans maintenant. 5 ans à supporter toutes mes folies, mes escapades, mes sorties kite et snow, et maintenant les trekkings... Merci infiniment de me suivre, de m'encourager voire m'accompagner (jusqu'à 5000m !) dans tous ces délires.

Tu sais toujours être présente dans les moments où j'ai réellement besoin de toi.

Tu fais partie de mon équilibre, tu fais partie de ma vie.

Merci d'être là pour moi et surtout avec moi.

Je t'aime.

Sommaire :

Page de garde.....	1
Liste du corps enseignant	2
Remerciements.....	9
Sommaire	25
Article	27
Abstract	28
Résumé	29
Key words	30
Abbreviations	30
Introduction.....	30
Material and methods.....	31
Population.....	31
Intervention and follow-up.....	33
Data analysis	37
Statistical analysis	39
Results	39
Baseline characteristics and follow-up.....	39
Treatment efficacy	39
Side effects and complications	43
Discussion	44
Human and animal rights	47
Informed consent and patient details.....	47
Funding	47

Disclosure of interest.....	47
Credit author statement.....	48
Bibliographie.....	49
Serment d’Hippocrate.....	53
Permis d’imprimer	54
Résumé.....	55

Article :

Percutaneous thermal ablation of primary and secondary lung tumors: Comparison between microwave and radiofrequency ablation

**V. Aufranc^{a,*}, G. Farouil^b, M. Abdel-Rehim^b, P. Smadja^b,
M. Tardieu^b, S. Aptel^b, A. Guibal^b**

^a Department of Medical Imaging, CHU Montpellier-Lapeyronie, 371 Avenue du Doyen Gaston-Giraud, 34295 Montpellier cedex 5, France

^b Department of Medical Imaging, Hôpital Saint-Jean, 66000 Perpignan, France

* Corresponding author.

E-mail address: vincent.aufranc@gmail.com (V. Aufranc).

Ce travail a été accepté pour publication dans la revue Diagnostic and Interventional Imaging. Il est diffusé en ligne depuis le 08/08/2019.

Aufranc V, Farouil G, Abdel-Rehim M, Smadja P, Tardieu M, Aptel S *et al.* Percutaneous thermal ablation of primary and secondary lung tumors: Comparison between microwave and radiofrequency ablation. *Diagn Interv Imaging* 2019. doi:10.1016/j.diii.2019.07.008.

Abstract

Purpose: The purpose of this study was to retrospectively compare microwave (MWA) and radiofrequency (RFA) ablation in the percutaneous treatment of primary and secondary lung tumors.

Material and methods: A total of 115 patients with a total of 160 lung tumors (primary, n = 41; secondary, n = 119) were retrospectively included. There were 56 men and 59 women with a mean age of 67.8 ± 12.7 (SD) years (range: 42–89 years) who underwent either MWA (61 patients; 79 tumors) or RFA (54 patients; 81 tumors). The primary study endpoints were local recurrence during follow-up and the incidence of complications during and following thermal ablation. The MWA and RFA groups were compared in terms of treatment efficacy and complication rates.

Results: Demographics were similar in the two groups. Mean tumor diameter was smaller in RFA group (13.1 ± 5.1 [SD] mm; range: 4–27 mm) than in MWA group (17.1 ± 8.3 [SD] mm; range: 5–36 mm) ($P < 0.001$). Ablation volumes at one month were 24.1 ± 21.7 (SD) cm³ (range: 2–97.8 cm³) in RFA group and 30.2 ± 35.9 (SD) cm³ (range: 1.9–243.8 cm³) in MWA group ($P = 0.195$). During a mean overall follow-up duration of 488 ± 407 (SD) days (range: 30–1508 days), 9/160 tumors (5.6%) developed local recurrence: six (6/79; 7.6%) in the RFA group and three (3/81; 3.7%) in the MWA group ($P = 0.32$). Pneumothoraxes were more frequent in the RFA group (32/79; 40.5%) than in the MWA group (20/81; 24.7%) ($P = 0.049$). The mean length of hospital stay was 4.5 ± 3.7 (SD) days (range: 1–25 days) in the RFA group and 4.7 ± 4.6 (SD) days (range: 2–25 days) in the MWA group ($P = 0.76$).

Conclusions: MWA favorably compares with RFA and can be considered as an effective and safe thermal ablation technique for lung tumors, especially in situations where RFA has limited efficacy.

Résumé

Objectif: L'objectif de cette étude était de comparer rétrospectivement la thermo-ablation par micro-ondes (MO) et par radiofréquence (RF) dans le traitement percutané des tumeurs pulmonaires primitives et secondaires.

Matériels et méthodes : 115 patients présentant un total de 160 tumeurs pulmonaires (primaires, n = 41; secondaires, n = 119) ont été inclus rétrospectivement. 56 hommes et 59 femmes, présentant un âge moyen de $67,8 \pm 12,7$ (DS) ans (étendue : 42-89 ans) ont été traités par MO (61 patients; 79 tumeurs) ou par RF (54 patients; 81 tumeurs). Les critères d'évaluation principaux de l'étude étaient la survenue de récurrence locale au cours du suivi et l'incidence des complications pendant et après thermo-ablation. Les groupes MO et RF ont été comparés en termes d'efficacité du traitement et de taux de complications.

Résultats : Les caractéristiques démographiques étaient comparables dans les deux groupes. Le diamètre tumoral moyen était plus petit dans le groupe RF ($13,1 \pm 5,1$ mm; 4-27 mm) que dans le groupe MO ($17,1 \pm 8,3$ mm; 5-36 mm) ($P < 0,001$). Les volumes d'ablation à un mois étaient de $24,1 \pm 21,7$ cm³ (2-97,8 cm³) dans le groupe RF et de $30,2 \pm 35,9$ cm³ (1,9-243,8 cm³) dans le groupe MO ($P = 0,195$). La durée de suivi moyenne était de 488 ± 407 jours (30-1508 jours). 9/160 tumeurs (5,6%) ont présenté une récurrence locale : six (6/79; 7,6%) dans le groupe RF et trois (3/81; 3,7%) dans le groupe MO ($P = 0,32$). Les pneumothorax étaient plus fréquents dans le groupe RF (32/79; 40,5%) que dans le groupe MO (20/81; 24,7%) ($P = 0,049$). La durée moyenne de séjour était de $4,5 \pm 3,7$ jours (1-25 jours) dans le groupe RF et de $4,7 \pm 4,6$ jours (2-25 jours) dans le groupe MO ($P = 0,76$).

Conclusion : La thermo-ablation par micro-ondes peut être considérée comme une technique d'ablation pulmonaire efficace et sûre, en particulier dans les situations où la RF peut être mise à défaut.

Key words

Radiofrequency ablation (RFA);
Microwave ablation (MWA);
Thermal ablation techniques;
Percutaneous treatment;
Lung neoplasms;
Non-small cell lung cancer (NSCLC).

Abbreviations

RFA: Radiofrequency ablation
MWA: Microwave ablation
NSCLC: Non-small cell lung cancer

Article

Introduction

Lung cancer is the most common malignancy in the world [1]. It is also the leading cause of cancer-related mortality in both men and women: there are approximately 1.6 million deaths each year [1]. However, about 20% of patients with Stage I non-small cell lung cancer (NSCLC) are not candidate to surgery due to comorbidities [2–4]. Moreover, the lungs are the second most frequent site for secondary extra-thoracic malignant tumors, often markers of poor prognosis [5]. Many studies have shown the potential efficacy of metastasectomy in selected patients [6–8].

Several studies have shown the benefits of less invasive techniques than surgery, such as stereotactic body radiation therapy [9] and percutaneous thermal ablation. Radiation therapy is an effective option for patients who are unable to tolerate lung surgery because of impaired cardiorespiratory function, but it has some limitations such as the occurrence of radiation pneumonitis [10–12].

Several studies have proven the efficacy of percutaneous thermal ablation as a second line of treatment for Stage I NSCLC and lung metastases [13,14]. Moreover, thermal ablation can be repeated during follow-up in the event of recurrence, which is less the case with surgery and stereotactic radiotherapy [15]. RFA is the oldest and most frequently used technique: it was first used for the treatment of pulmonary lesions since 2000 [16]. RFA consists in applying a sinusoidal current (420 to 500 kHz) to the tumor with straight or deployable electrodes, in order to obtain cell necrosis via temperatures above 70°C [17,18]. Since air has low electrical conductivity and high heat insulation, it induces the protection of the adjacent lung parenchyma but decreases the possibility of healthy resection margins [19,20]. Moreover, the proximity of > 3 mm vessels causes a sudden reduction in temperature, also known as the “heat sink effect” [21]. These two parameters lead to an increase in the theoretical risk of non-healthy margins [22,23].

On the opposite, MWA uses an ellipsoidal microwave field around the needle, between 915 and 2450 MHz [24,25]. The oscillation of the electromagnetic field causes a rapid flip movement of water molecules, causing the tissues to be warmed [24,25]. MWA is not subject to low lung electrical conductivity, enabling larger ablation zones [19,26] Moreover, this technique is less affected by the heat sink effect as it coagulates the small surrounding vessels, which do not stop the heat conductivity of the tissue [19,25,26]. To our knowledge, only a few studies have compared the long-term efficacy of these two techniques [27–31].

The purpose of this study was to retrospectively compare MWA and RFA in the percutaneous treatment of primary and secondary lung tumors.

Materials and methods

Population

This retrospective study received institutional review board approval and informed consent was obtained from all patients. We analyzed the files of patients who underwent pulmonary thermal ablation in our institution between March 2013 and February 2018.

The inclusion criteria were as follows:

- Patients with primary or secondary lung tumor;
- Patients considered inoperable due to clinical, functional or biological data, with an estimated life expectancy greater than six months, for whom the decision of curative thermal ablation treatment was made in a multidisciplinary meeting.

In the event of tumor recurrence, patients treated with RFA or MWA and meeting these criteria were also included. The exclusion criteria were as follows:

- simultaneous extra-thoracic or thoracic lesions inaccessible with thermal ablation at the time of treatment;
- contraindication for general anesthesia;
- severe coagulopathy or no stop of anti-platelet therapy prior to treatment.

We initially retrieved 152 patients who had a consultation for lung thermal ablation in our institution between March 2013 and February 2018. Among them, 37 were excluded: 21 had new extra-thoracic lesions on the chest CT scan performed before the consultation, 10 refused the treatment and 6 did not stop their anti-platelet therapy. Fig. 1 shows the flow chart of patients who were considered for this study. Our study population included 115 patients. There were 56 men and 59 women with a mean age of 67.8 ± 12.7 (standard deviation [SD]) years (range: 42—89 years).

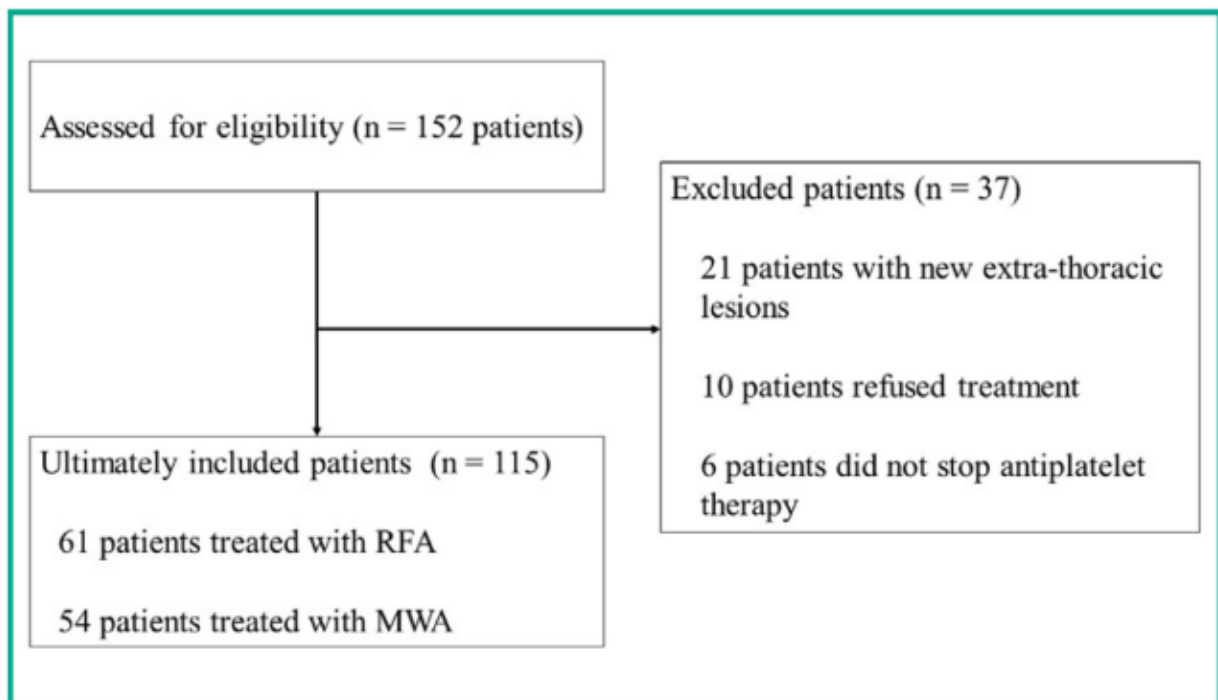


Figure 1. Study flowchart.

Intervention and follow-up

All patients had a consultation with a radiologist before treatment, to ensure the feasibility of thermal ablation and check for absence of any contraindications. They had an anesthetic consultation and had blood tests to check that there were no coagulation abnormalities.

The interventions were performed under general anesthesia, with the ongoing presence of an anesthesiologist during the procedure. For both RFA and MWA, the intervention was performed under CT fluoroscopy (BrightSpeed™, General Electric Healthcare) by one of three interventional radiologists with 7-, 10- and 15-years of experience in percutaneous thermal ablation. A biopsy was performed during treatment when the tumor histology was not known. A thermocouple was used to control the temperature if there was a risk of damaging a nearby organ.

To choose between the two techniques, we considered the following principles: RFA was favored since we had more experience with this technique. In the event of a tumor > 25 mm, or when the tumor was near a vessel greater than 3 mm in diameter, MWA was selected. MWA was preferred when there were multiple lesions to treat (at least two lesions in the same lung).

For RFA treatment, a generator (RF 3000™, Boston Scientific) and a 14 G needle electrode with a co-axial system (LeVeen CoAccess™, Boston Scientific) were used (Fig. 2). If necessary, the RFA needle was repositioned to complete the ablation, depending on the volume of the target lesion. Dispersion electrodes were placed on the patients' thighs. The treatment wattage and duration used were based on the manufacturer's chart (range: 25—180 W). For MWA treatment a microwave generator and a 16-G probe (AMICA MWA System™, Hospital Service) were used (Fig. 3). From experience, we mainly treated with 40 W power (range: 20—80 W).

At the end of the thermal ablation therapy, a plain chest CT examination was performed to search for complications such as pneumothorax, intra-alveolar hemorrhage or bronchial fistulization (Fig. 4). In case of pneumothorax, we proceeded as follows: when the pneumothorax was minimal and well tolerated, the patient had no

drain placement. In other situations, a drain (Skater™ 8F, Argon Medical) was positioned within the pneumothorax. To avoid another puncture site, whenever it was possible and safe, the drain was inserted via the electrode entry point, running to the apical and anterior section of the largest area of the pneumothorax. The patient was then hospitalized in our institution and underwent chest X-ray six hours later. The patient was discharged after good clinical tolerance was obtained and normalization of chest X-ray findings.

The patients underwent follow-up unenhanced CT examination one month after thermal ablation, then every three months for one year.

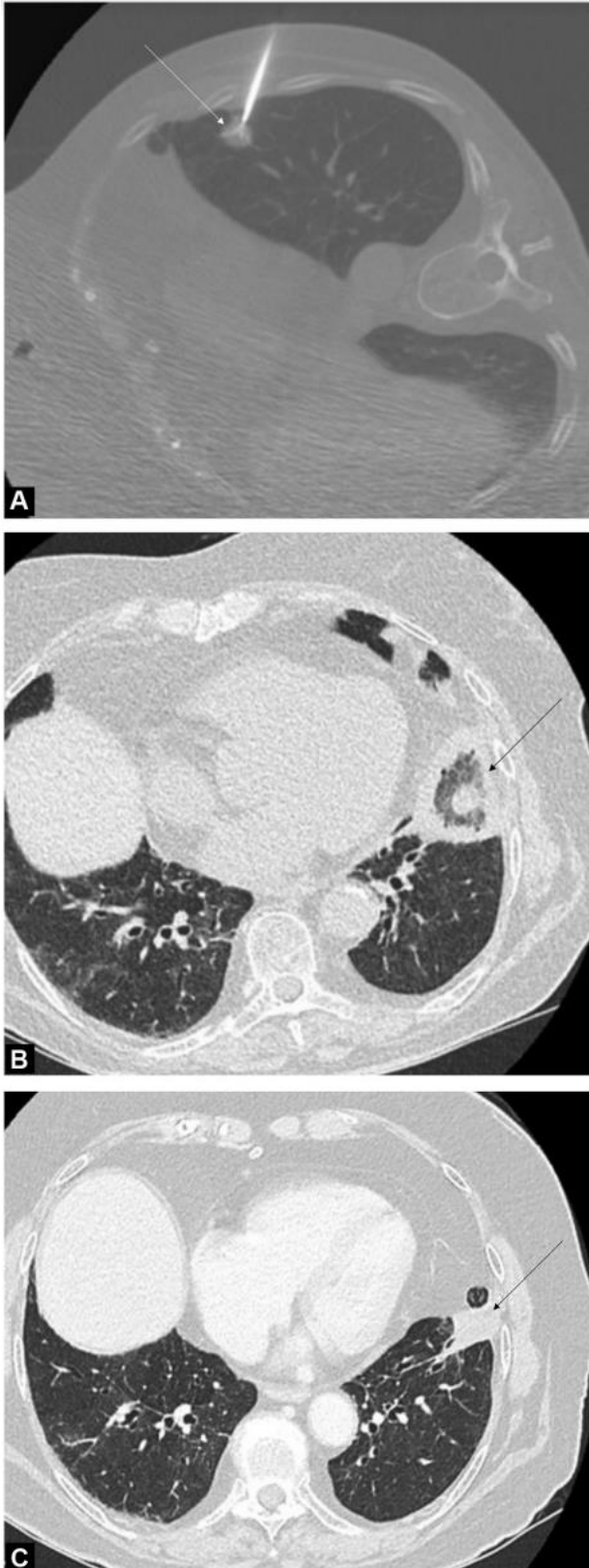


Figure 2. Seventy-seven-year-old woman with single lung metastasis from colorectal carcinoma of the left lower lobe that was treated by radiofrequency ablation (RFA).

A. CT image in the axial plane obtained during RFA shows a deployable electrode inserted into a subpleural lung metastasis with an axial diameter of 15 mm (arrow).

B. CT image in the axial plane obtained one month after RFA shows a “target-like” appearance with ground-glass opacification induced by RFA (arrow).

C. CT image in the axial plane obtained 12 months after RFA shows size reduction of the lesion with residual scarring (arrow).



Figure 3. Seventy-year-old man with single lung metastasis from colorectal carcinoma in the right lower lobe that was treated by microwave ablation (MWA).

A. CT image in the axial plane obtained during MWA shows MWA needle inserted into a subpleural, 31-mm large, pulmonary metastasis in the right lower lobe (arrow).

B. CT image in the axial plane obtained one month after MWA shows a “target-like” appearance with ground-glass opacification induced by MWA (arrow).

C. CT image in the axial plane obtained 12 months after MWA shows residual scarring with an axial diameter of 38 mm (arrow).

Data analysis

We classified the patients into two groups: RFA and MWA. For each patient, a radiology resident noted the following variables: age, sex, primary or secondary origin, site of the primary tumor, location of the lung lesion, and treatment modality. Tumor size was measured in the three planes on chest CT performed before thermal ablation. The following parameters were studied on control CT after thermal ablation: occurrence of pneumothorax (drained or not), intra-alveolar hemorrhage or bronchial fistulization (cavitation). Using the Cardiovascular and Interventional Radiological Society of Europe (CIRSE) classification [32], undrained pneumothorax and intra-alveolar hemorrhage were classified as Grade 1 complications. Drained pneumothorax and bronchopleural fistulas were classified as Grade 2 and Grade 3 complications, respectively. The radiology resident also recorded the length of the hospital stay and the duration of follow-up. The diameter of the ablation zone was measured within the three planes and then its volume was calculated ($\text{length} \times \text{width} \times \text{height} \times \pi/6$) on CT examination performed at one month, which closely matches with gross pathologic ablation size [33]. Any recurrence by contact with thermal ablation or at a distance was noted, and the duration of disease-free survival was calculated (i. e., time between thermal ablation and the first CT examination that showed recurrence). Lastly, we created a point cloud representing ablation time in MWA at 40 W and ablation small diameter one month after treatment, to estimate the appropriate MWA duration to obtain a complete and safe ablation.

The primary study endpoints were local recurrence during follow-up and the incidence of complications during and following thermal ablation.

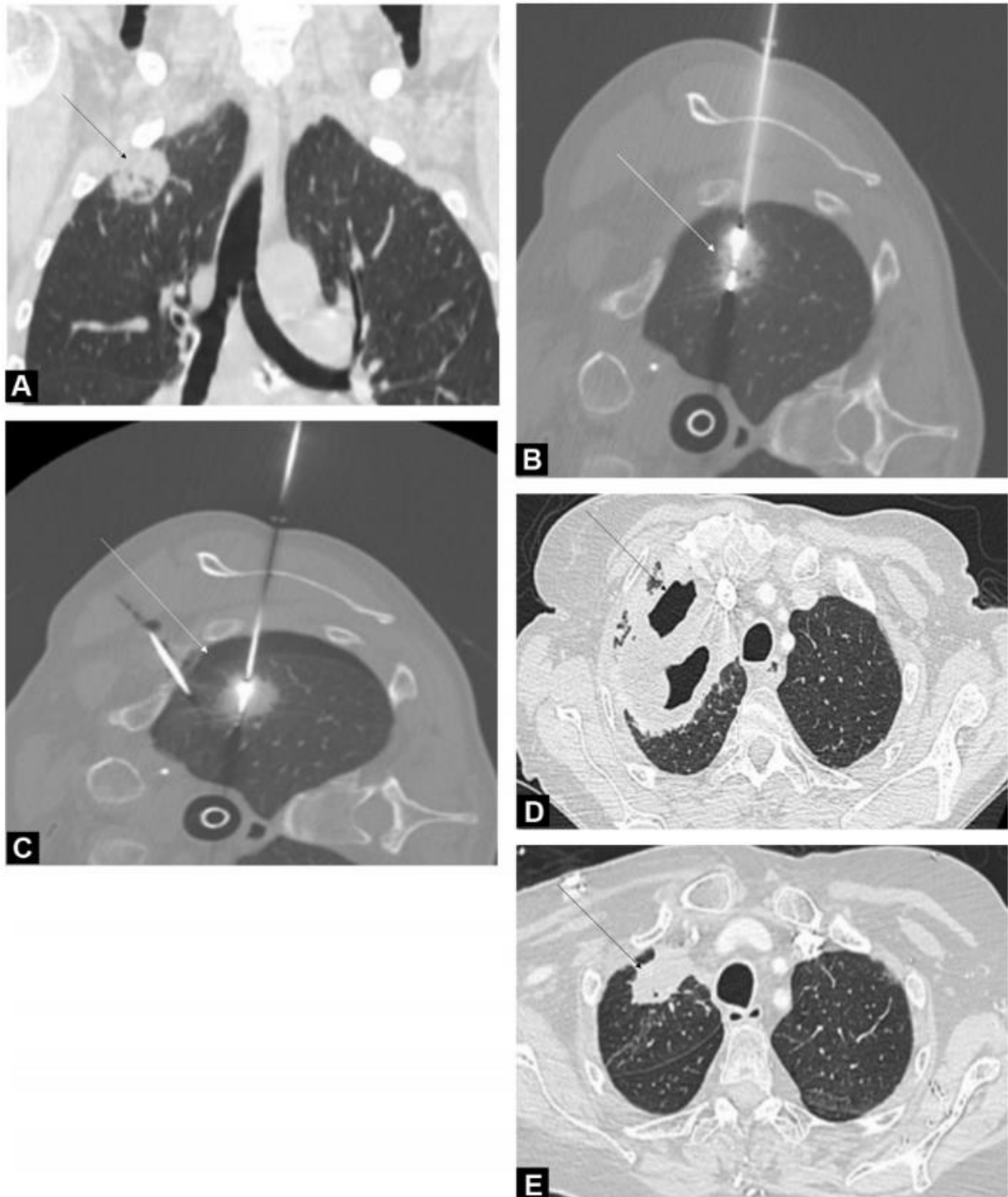


Figure 4. Sixty-two-year-old man with a primary lung tumor in the right upper lobe who developed bronchopleural fistula after microwave ablation (MWA).

A. CT image in the coronal plane obtained before MWA shows a subpleural primary lung cancer, with an axial diameter of 30 mm (arrow).

B. CT image in the axial plane obtained during thermal ablation shows MWA needle placed into the tumor. A trans-osseous approach was chosen to be parallel to the long axis of the lesion (arrow).

C. CT image in the axial plane obtained during MWA. A pneumothorax (arrow) was created to protect the right brachial plexus during MWA.

D. CT image in the axial plane obtained one month after MWA shows cavitation (arrow) attributed to a bronchopleural fistula.

E. CT image in the axial plane obtained six months after MWA shows complete regression of the bronchopleural fistula and residual scarring with an axial diameter of 38 mm (arrow).

Statistical analysis

Statistical analysis was performed by using XLSTAT™ (Addinsoft) software. Quantitative variables were expressed as means, SD, and ranges. Qualitative variables were expressed as raw numbers, proportions, and percentages. Comparisons between the groups were performed using Student t-test for continuous variables and chi-square tests with Yates correction for categorical variables. Correlation between axial tumor short diameter at one month after treatment and MWA duration was searched using the Pearson correlation test. P-values < 0.05 were considered indicative of statistical significance.

Results

Baseline characteristics and follow-up

Among the 115 patients, 61 (61/115; 53%) had RFA and 54 (54/115; 47%) had MWA. There were no significant differences between the two groups in terms of age and sex distribution (Table 1). A total of 160 tumors were treated, including 41 (41/160; 25.6%) primary lung tumors and 119 (119/160; 74.4%) lung metastases. Seventy-nine tumors (79/160; 49.4%) were treated by RFA and 81 (81/160; 50.6%) by MWA. Before treatment, the mean largest diameters of the tumors was 13.1 ± 5.1 (SD) mm (range: 4–27 mm) in the RFA group and 17.1 ± 8.3 (SD) mm (range: 5–36 mm) in the MWA group ($P < 0.001$). No differences in largest tumor diameters were found between the two groups. We performed several sessions with multiple ablations: 15 (15/79; 19%) for RFA and 17 (17/81; 21%) for MWA. The mean follow-up time in the study population was 488.4 days, with no significant differences between RFA group (505.8 ± 308 [SD] days; range: 30-1509 days) and MWA group (471 ± 299 [SD] days; range: 30–1379 days) ($P = 0.67$).

Treatment efficacy

Technical success was observed in all procedures (160/160; 100%), yielding a technical success rate of 100% (Table 2). The mean duration of thermal ablation was 15.35 ± 6.6 (SD) min (range: 2–45 min) for RFA and 7.51 ± 4.5 (SD) min (range: 1–20

min) for MWA ($P < 0.001$). After treatment, the mean volume of the ablation zone was 27.2 cm^3 . No differences in mean volume of ablation zone were found between MWA group (30.2 ± 35.9 [SD] cm^3 ; range: 2—97.8 cm^3) and RFA group (24.1 ± 21.7 [SD] cm^3 ; range 1.9—243.8 cm^3) ($P = 0.195$) (Fig. 5). No differences in sphericity indexes were found between tumors in the MWA groups (0.60 ± 0.13 [SD]; range: 0.33—0.88) and those in the RFA group (0.64 ± 0.15 [SD]; range: 0.34—0.94) ($P = 0.16$). Fig. 6 shows the linear correlation between lesion long diameter and respectively RFA and MWA short and long diameters one month after thermal ablation.

Among the 160 tumors treated, we observed a total of nine local recurrences during the follow-up. No differences in local recurrence rates were observed between the RFA group (6/79; 7.6%) and the MWA group (3/81; 3.7%) ($P = 0.32$). Of these local recurrences, five were treated with RFA, two with MWA and one with cryotherapy, with good local control. The remaining recurrence presented as a diffuse disease, with no indication for local curative treatment.

In addition, patients treated with RFA had a total of 18 distant pulmonary or extra-pulmonary recurrences (18/79; 22.8%) while 24 patients treated with MWA had distant recurrence (24/81; 29.6%) ($P = 0.42$). Among them, the time before recurrence was 306.75 ± 223 (SD) days (range: 30-745 days) for RFA and 297.40 ± 259 (SD) days (range: 37—1024 days) for MWA ($P = 0.89$). No differences in disease-free survival were found between RFA group (424.8 ± 371.5 [SD] days; range: 30—1471 days) and MWA group (333.1 ± 313.2 [SD] days; range: 37—1227 days) ($P = 0.16$).

A linear relationship was found between small-diameter ablation zone at one month after MWA and the duration of the procedure at 40 W ($R^2 = 0.6157$) (Fig. 7).

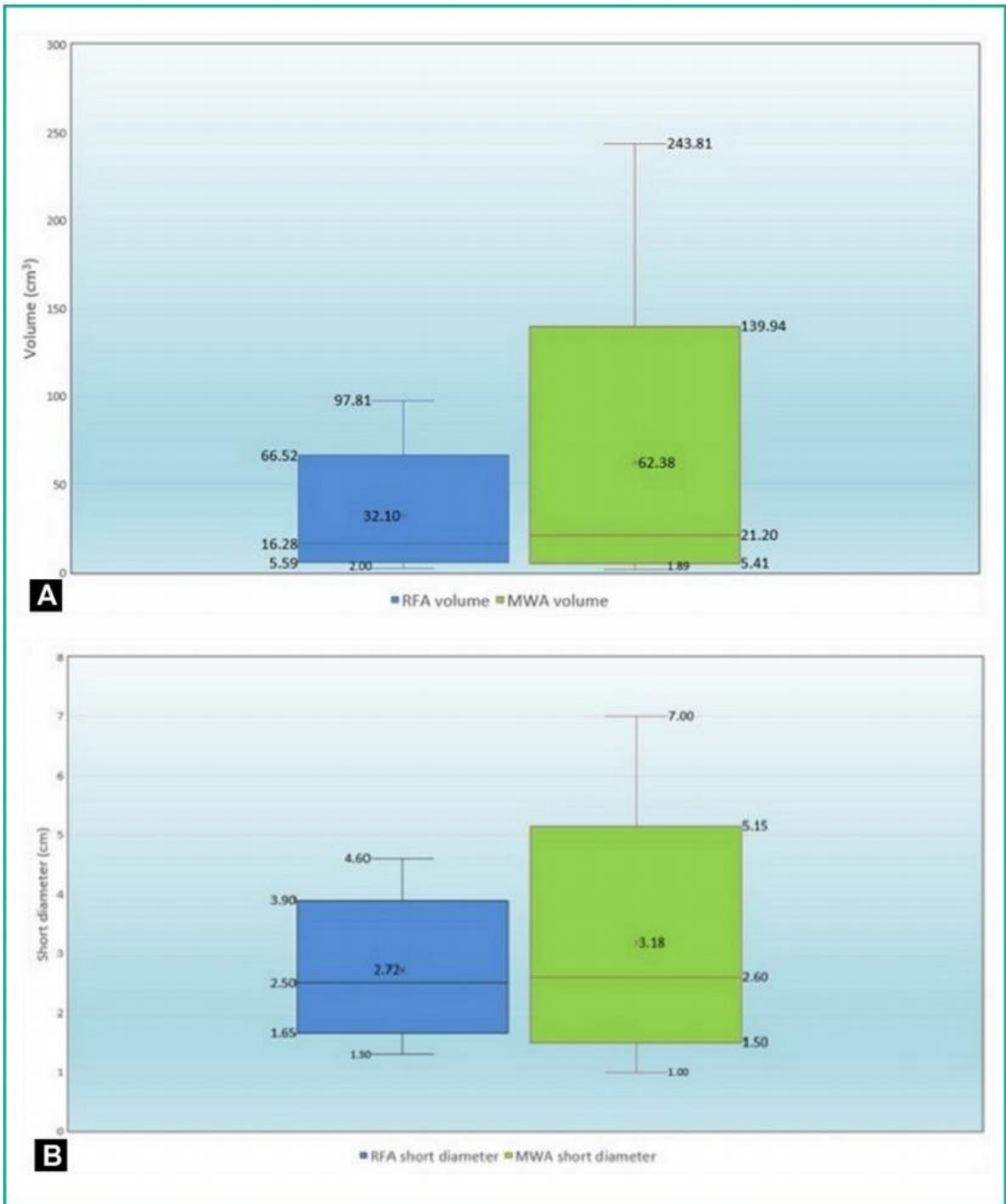


Figure 5. Box plots show ablation volumes (A) and short tumor diameters (B) one month after radiofrequency ablation (in blue) and microwave ablation (in green). The bars in the box represent (from bottom to top) the first quartile, the median and the third quartile. The lower and upper outside bars represent the minimum and the maximum values respectively. (RFA: Radiofrequency ablation; MWA: Microwave ablation).

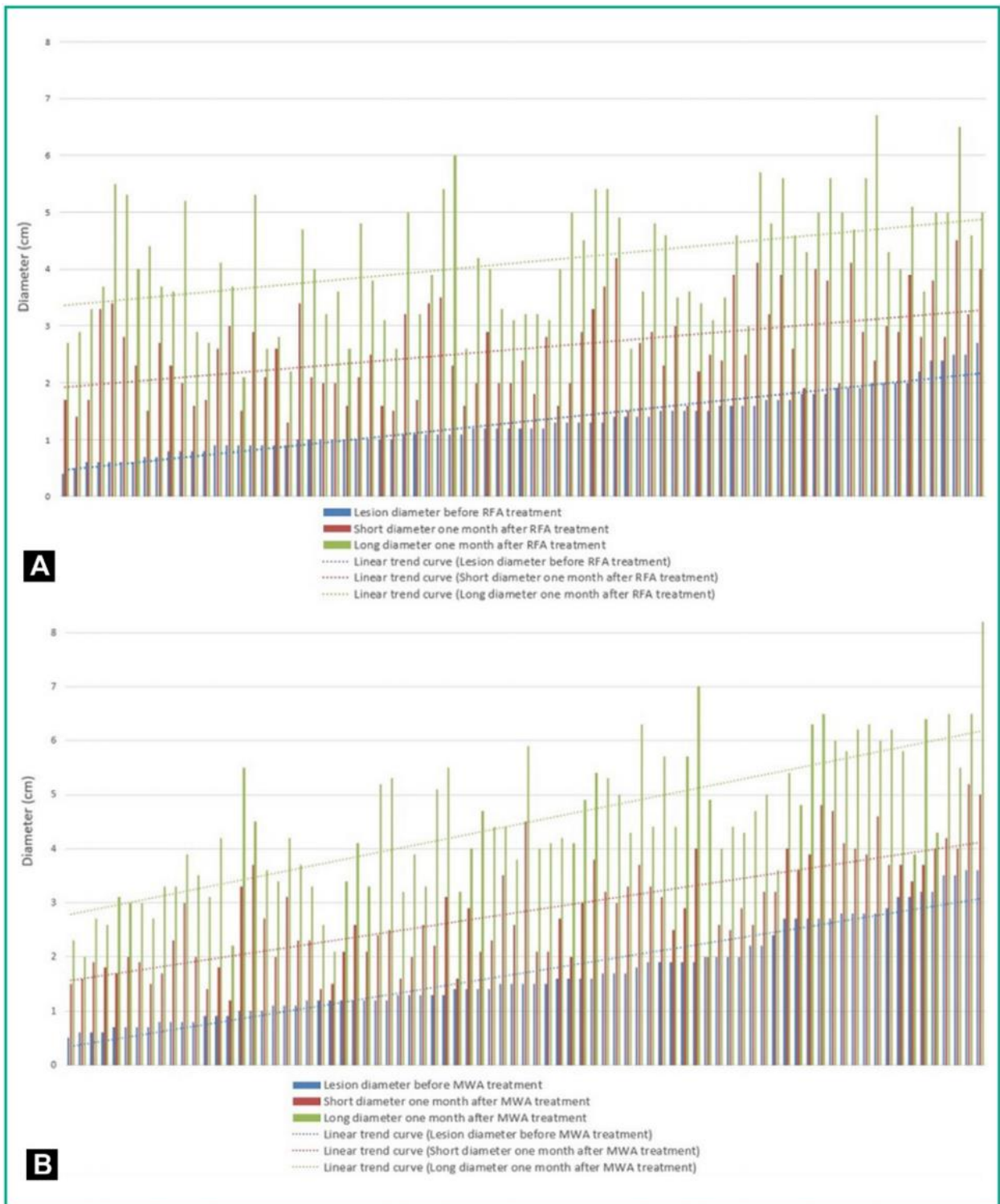


Figure 6. Graphs show comparison between lesion long diameter and RFA (A) or MWA (B) short and long diameters: short diameters one month after ablation were consistently larger than lesion long diameter, while controlling ablation volumes. Each bar refers to a single tumor. (RFA: Radiofrequency ablation; MWA: Microwave ablation).

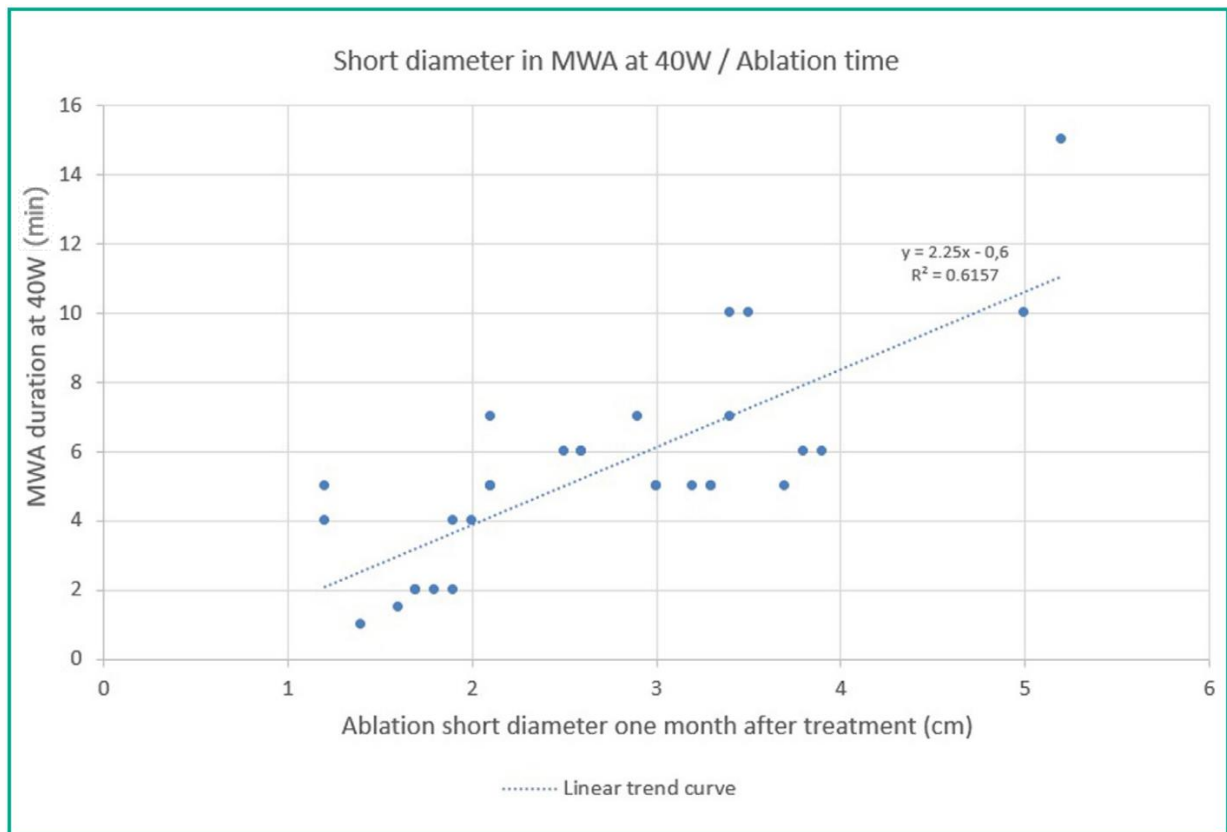


Figure 7. Graph shows linear correlation between microwave ablation time (min) and short diameter at 40 W. (MWA: Microwave ablation).

Side effects and complications

No deaths were attributed to thermal ablation. No deaths occurred during the 30 days following thermal ablation. The most common complication was pneumothorax (excluding voluntary pneumothorax, induced to protect high-risk organs). A total of 52 pneumothoraces 52/160; 32.5%) were observed. They were more frequent in the RFA group (32/79; 40.5%) than in the MWA group (20/81; 24.7%) ($P = 0.049$). Of these, 29 required drainage: 20 required drainage in the RFA group (20/79; 25.3%) compared to 9 in the MWA group (9/81; 11.1%) ($P = 0.03$). Six RFA (6/79; 7.6%) and two MWA (2/81; 2.5%) procedures were complicated by hemoptysis due to intra-alveolar hemorrhage ($P = 0.16$). Four bronchopleural fistulas were observed; three in the MWA group (3/81; 3.7%) and one in the RFA group (1/79; 1.2%) ($P = 0.32$) (Fig. 3). There were no differences between the two groups in terms of Grade 1 and Grade 3 complications. No Grade 4, 5 or 6 complications were observed. Overall, the mean length of hospital stay was 4.57 days, with no differences between RFA (4.46 ± 3.7 [SD] days; range: 1–25 days) and MWA group (4.68 ± 4.6 [SD] days; range: 2–25 days) ($P = 0.76$).

Table 1 Baseline characteristics of 115 patients with 160 lung tumors who underwent thermal ablation.

Variable	Radiofrequency ablation	Microwave ablation	P
Number of patients	61 (61/115; 53%)	54 (54/115; 47%)	
Sex			0.94
Male	29 (29/61; 47%)	27 (27/54; 50%)	
Female	32 (32/61; 53%)	27 (27/54; 50%)	
Age (y)	67.4 ± 14 [42–89]	68.1 ± 11.7 [45–83]	0.57
No. of tumors	79 (79/160; 49%)	81 (81/160; 51%)	
Tumor origin			0.5
Primary	18 (18/79; 23%)	23 (23/81; 28%)	
Secondary	61 (61/79; 77%)	58 (58/81; 72%)	
Colorectal	43 (43/61; 70%)	32 (32/58; 55%)	
Head & Neck	7 (7/61; 11%)	9 (9/58; 15%)	
Bladder	3 (3/61; 5%)	1 (1/58; 2%)	
Breast	2 (2/61; 3%)	1 (1/58; 2%)	
Kidney	2 (2/61; 3%)	5 (5/58; 9%)	
Pancreas	2 (2/61; 3%)	2 (2/58; 3%)	
Uterus	2 (2/61; 3%)	8 (8/58; 14%)	
Largest tumor diameter (mm)	13.1 ± 5.1 [4–27]	17.1 ± 8.3 [5–36]	< 0.001
Number of sessions with multiple ablations	15 (15/79; 19%)	17 (17/81; 21%)	0.91

Quantitative variables are expressed a mean ± SD; numbers in brackets are ranges. Qualitative variables are expressed as raw numbers, proportions; numbers in parentheses are percentages.

Table 2 Procedure parameters, recurrences and complications in 115 patients with 160 lung tumors who underwent thermal ablation.

	Radiofrequency ablation	Microwave ablation	P
Ablation datas			
Ablation duration (min)	15.4 ± 6.6 [2–45]	7.5 ± 4.5 [1–20]	< 0.001
Ablation volume (cm ³)	24.1 ± 21.7 [2–97.8]	30.2 ± 35.9 [1.9–243.8]	0.20
Ablation short diameter (cm)	2.7 ± 0.9 [1.3–4.6]	2.8 ± 1.1 [1–7]	0.36
Technical success	79 (79/79; 100%)	81 (81/81; 100%)	1
Follow-up duration (days)	505.8 ± 308 [30–1509]	471 ± 299 [30–1379]	0.67
Recurrences	24 (24/79; 30%)	27 (27/81; 33%)	0.82
Local recurrences	6 (6/79; 7.6%)	3 (3/81; 3.7%)	0.32
Distant recurrences	18 (18/79; 22.8%)	24 (24/81; 29.6%)	0.42
Time before recurrence (days)	306.8 ± 223 [30–745]	297.4 ± 259 [37–1024]	0.89
Disease-free survival (days)	424.8 ± 371.5 [30–1471]	333.1 ± 313.2 [37–1227]	0.16
Total pneumothorax	32 (32/79; 40.5%)	20 (20/81; 24.7%)	0.049
Low abundance pneumothorax	10 (10/79; 12.7%)	7 (7/81; 8.6%)	0.57
Exsufflated pneumothorax	2 (2/79; 2.5%)	4 (4/81; 4.9%)	0.68
Drained pneumothorax	20 (20/79; 25.3%)	9 (9/81; 11.1%)	0.03
Intra-alveolar hemorrhage	6 (6/79; 7.6%)	2 (2/81; 2.5%)	0.16
Bronchopleural fistula	1 (1/79; 1.2%)	3 (3/81; 3.7%)	0.32
Grade 1 complications	18 (18/79; 22.7%)	13 (13/81; 16%)	0.28
Grade 2 complications	20 (20/79; 25.3%)	9 (9/81; 11.1%)	0.03
Grade 3 complications	1 (1/79; 1.2%)	3 (3/81; 3.7%)	0.32
Grade 4, 5 and 6 complications	0 (0/79; 0%)	0 (0/81; 0%)	> 0.99
Length of hospital stay (days)	4.5 ± 3.7 [1–25]	4.7 ± 4.6 [2–5]	0.76

Quantitative variables are expressed a mean ± SD; numbers in brackets are ranges. Qualitative variables are expressed as raw numbers, proportions; numbers in parentheses are percentages.

Discussion

Considering our results, MWA can be considered as an effective and safe ablation technique for the treatment of primary and secondary inoperable lung tumors, as the local control rate was not statistically different between MWA and RFA. This rate is consistent with those reported in the literature. Of the few studies comparing these two pulmonary ablation techniques, none showed superiority of RFA over MWA [27–30,34]. Only Macchi et al. included 52 patients prospectively in the LUMIRA study [27].

There were no statistical differences in terms of efficacy or complications between RFA and MWA [27]. In another study, Shi et al. retrospectively compared 43 patients treated with RFA and 32 treated with MWA [28]. The overall response rates were 79% and 69% respectively and the complication rates were 49% for RFA and 50% for MWA, without any significant differences between these two techniques [28].

MWA has a number of potential advantages. First, it provides a higher coagulation necrosis volume compared to RFA [25]. Second, MWA yields shorter ablation time by comparison with RFA. This enabled us to treat up to five lung metastases in a single session, which could be of interest for frail patients under general anesthesia with iterative treatments. Finally, the absence of limitation by the heat sink effect is an advantage for MWA, especially for tumors adjacent to blood vessels, to decrease the risk of incomplete ablation [35,36].

Several studies have demonstrated that RFA is an effective curative technique. However, it has some limitations [23]. De Baere et al. showed that tumors larger than 2 cm were an independent risk factor for local recurrence [13]. In these situations, RFA overlapping technique leads to a larger number of passages through the pleura, theoretically increasing the risk of complications, post-procedural pain and the duration of the procedure. For these reasons, in our opinion, MWA remains a preferred indication in this frequent situation, provided that the parameters of the procedure are controlled. A thermocouple can also be used to control the ablation volume, in order to obtain a sufficient volume to ensure healthy resection margins without damaging lung tissue. The thermocouple is therefore placed one centimeter away from the lesion, either where there is the highest risk of non-healthy margins, or else in contact with a nearby structure to avoid damaging it.

As demonstrated by our results, MWA can achieve a much larger ablation zone. However, in our study, the mean ablation volumes were similar in the two groups. These data appear reassuring since they indicate that MWA can be well controlled by appropriate monitoring and by choosing the right ablation parameters. From experience, the majority of our thermal ablations were performed at a 40 W voltage and duration between two and 10 minutes, leading to a satisfactory compromise

between ablation volume control, duration, efficacy and safety of thermal ablation. A linear correlation seems to be the most accurate way to predict ablation zone diameter depending on MWA duration. Studies with larger population could help create charts for MWA in lung parenchyma similar to that made for renal tumors [37].

Another interesting finding of our study is that pneumothorax is less frequent in patients treated using MWA than in those treated using RFA. The main hypothesis is that MWA yields larger, unrestricted ablation volumes, responsible for necrosis phenomena with retraction and pleural inflammation, potentially limiting the risk of pneumothorax. The larger size of the RFA needle (14-G) compared to the MWA probe (16-G) can also partially explain this result [38]. However, this result should be interpreted with caution because of potential selection bias due to the retrospective nature of our study. Indeed, RFA was preferred in patients with emphysema, which is a risk factor for pneumothorax.

Our study had several limitations. First, the retrospective nature and the selection criteria between RFA and MWA led to selection bias, since the patients were not randomized to receive one treatment or another. In addition, our study was monocentric and the radiologists practicing this procedure had several years of experience with pulmonary or extra-pulmonary MWA. We did not collect functional data before or after the procedure. Moreover, even though this did not affect our main endpoints, our survival data were biased by the absence of some parameters such as the differentiation between primary and secondary tumors and the concomitant use of other treatments. Lastly, MWA and RFA were not performed in combination with immunomodulation treatment, which seems to be a promising therapeutic strategy [39].

In conclusion, MWA favorably compares with RFA and can be considered as an effective and safe thermal ablation technique for the treatment of lung tumors. MWA can be applied to tumors for which RFA might be not effective because of a tumor greater than 25 mm, a tumor close to a vessel greater than 3 mm in diameter or because of multiple lesions. Our results suggest that MWA may broaden the indications of pulmonary thermal ablation.

Human and animal rights

The authors declare that the work described has been carried out in accordance with the Declaration of Helsinki of the World Medical Association revised in 2013 for experiments involving humans as well as in accordance with the EU Directive 2010/63/EU for animal experiments.

Informed consent and patient details

The authors declare that this report does not contain any personal information that could lead to the identification of the patient(s). The authors declare that they obtained a written informed consent from the patients and/or volunteers included in the article. The authors also confirm that the personal details of the patients and/or volunteers have been removed.

Funding

This work did not receive any grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Disclosure of interest

The authors declare that they have no competing interest.

Credit Author Statement

All authors attest that they meet the current International Committee of Medical Journal Editors (ICMJE) criteria for Authorship.

V. Aufranc: Investigation/Formal analysis/Methodology/Writing—original draft, review and editing.

G. Farouil: Conceptualization/Investigation/Methodology/Supervision.

M. Abdel-Rehim: Investigation.

P. Smadja: Resources.

M. Tardieu: Supervision.

S. Aptel: Supervision.

A. Guibal: Conceptualization/Investigation/Methodology/Supervision.

Bibliographie :

- [1] Ferlay J, Soerjomataram I, Dikshit R, Eser S, Mathers C, Rebelo M, et al. Cancer incidence and mortality worldwide: sources, methods and major patterns in GLOBOCAN 2012. *Int J Cancer* 2015;136:E359—86.
- [2] Kaifi JT, Gusani NJ, Deshaies I, Kimchi ET, Reed MF, Mahraj RP, et al. Indications and approach to surgical resection of lung metastases. *J Surg Oncol* 2010;102:187—95.
- [3] Matsuoka K, Ueda M, Miyamoto Y. Risk factor for respiratory death after lung cancer surgery in octogenarians. *Asian Cardiovasc Thorac Ann* 2015;23:1044—9.
- [4] Khullar OV, Liu Y, Gillespie T, Higgins KA, Ramalingam S, Lipscomb J, et al. Survival after sublobar resection versus lobectomy for clinical stage IA lung cancer: an analysis from the National Cancer Data Base. *J Thorac Oncol* 2015;10:1625—33.
- [5] Mohammed T-LH, Chowdhry A, Reddy GP, Amorosa JK, Brown K, Dyer DS, et al. ACR Appropriateness Criteria® screening for pulmonary metastases. *J Thorac Imaging* 2011;26:W1—3.
- [6] Treasure T, Milošević M, Fiorentino F, Macbeth F. Pulmonary metastasectomy: what is the practice and where is the evidence for effectiveness? *Thorax* 2014;69:946—9.
- [7] Cheung FPY, Alam NZ, Wright GM. The past, present and future of pulmonary metastasectomy: a review article. *Ann Thorac Cardiovasc Surg* 2019.
- [8] Kondo H, Okumura T, Ohde Y, Nakagawa K. Surgical treatment for metastatic malignancies. Pulmonary metastasis: indications and outcomes. *Int J Clin Oncol* 2005;10:81—5.
- [9] Prezzano KM, Ma SJ, Hermann GM, Rivers CI, Gomez-Suescun JA, Singh AK. Stereotactic body radiation therapy for non-small cell lung cancer: a review. *World J Clin Oncol* 2019;10:14—27.
- [10] Woody NM, Stephans KL, Marwaha G, Djemil T, Videtic GMM. Stereotactic body radiation therapy for non-small cell lung cancer tumors greater than 5 cm: safety and efficacy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2015;92:325—31.
- [11] Antoni D, Srourl, Mornex F. Lung cancer: stereotactic body radiation therapy and surgery. *Cancer Radiother* 2015;19:371—6.
- [12] Chen L, Zhao Y, Xu F. Radiation pneumonitis after stereotactic body radiation therapy for early stage non-small cell lung cancer. *Zhongguo Fei Ai Za Zhi Chin J Lung Cancer* 2014;17:351—6.

- [13] de Baère T, Aupérin A, Deschamps F, Chevallier P, Gaubert Y, Boige V, 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.
- [14] Petrella F, Spaggiari L. Comparison of pulmonary metastasectomy and stereotactic body radiation therapy for the treatment of lung metastases. *J Thorac Dis* 2019;11:S280—2.
- [15] Milano MT, Mihai A, Kong FMS. Review of thoracic reirradiation with stereotactic body radiation therapy: a focus on toxicity risks. *Pract Radiat Oncol* 2018;8:251—65.
- [16] Dupuy DE, Zagoria RJ, Akerley W, Mayo-Smith WW, Kavanagh PV, Safran H. Percutaneous radiofrequency ablation of malignancies in the lung. *AJR Am J Roentgenol* 2000;174:57—9.
- [17] Liu B, Ye X, Fan W, Li X, Feng W, Lu Q, et al. Expert consensus on image-guided radiofrequency ablation of pulmonary tumors: 2018 edition. *Thorac Cancer* 2018;9:1194—208.
- [18] de Baere T. Radiofrequency ablation of liver and lung tumors. *J Radiol* 2011;92:825—34.
- [19] Brace CL. Radiofrequency and microwave ablation of the liver, lung, kidney and bone: what are the differences. *Curr Probl Diagn Radiol* 2009;38:135—43.
- [20] Alexander ES, Dupuy DE. Lung cancer ablation: technologies and techniques. *Semin Interv Radiol* 2013;30:141—50.
- [21] Goldberg SN. Radiofrequency tumor ablation: principles and techniques. *Eur J Ultrasound* 2001;13:129—47.
- [22] Vroomen LGPH, Petre EN, Cornelis FH, Solomon SB, Srimath-veeravalli G. Irreversible electroporation and thermal ablation of tumors in the liver, lung, kidney and bone: What are the differences? *Diagn Interv Imaging* 2017;98:609—17.
- [23] Gillams AR, Lees WR. Radiofrequency ablation of lung metastases: factors influencing success. *Eur Radiol* 2008;18:672—7.
- [24] Brace CL. Microwave ablation technology: what every user should know. *Curr Probl Diagn Radiol* 2009;38:61—7.
- [25] Brace CL. Microwave tissue ablation: biophysics, technology, and applications. *Crit Rev Biomed Eng* 2010;38:65—78.

- [26] Planché O, Teriitehau C, Boudabous S, Robinson JM, Rao P, Deschamps F, et al. In vivo evaluation of lung microwave ablation in a porcine tumor mimic model. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2013;36:221—8.
- [27] Macchi M, Belfiore MP, Floridi C, Serra N, Belfiore G, Carmignani L, et al. Radiofrequency versus microwave ablation for treatment of the lung tumours: LUMIRA (lung microwave radiofrequency) randomized trial. *Med Oncol* 2017;34:96.
- [28] Shi F, Li G, Zhou Z, Xu R, Li W, Zhuang W, et al. Microwave ablation versus radiofrequency ablation for the treatment of pulmonary tumors. *Oncotarget* 2017;8:109791—8.
- [29] Chi J, Ding M, Shi Y, Wang T, Cui D, Tang X, et al. Comparison study of computed tomography-guided radiofrequency and microwave ablation for pulmonary tumors: a retrospective, case-controlled observational study. *Thorac Cancer* 2018;9:1241—8.
- [30] Vogl TJ, Eckert R, Naguib NNN, Beeres M, Gruber-Rouh T, Nour-Eldin NEA. Thermal ablation of colorectal lung metastases: retrospective comparison among Laser-induced thermotherapy, radiofrequency ablation, and microwave ablation. *AJR Am J Roentgenol* 2016;207:1340—9.
- [31] Yuan Z, Wang Y, Zhang J, Zheng J, Li W. A meta-analysis of clinical outcomes after radiofrequency ablation and microwave ablation for lung cancer and pulmonary metastases. *J Am Coll Radiol* 2019;16:302—14.
- [32] Filippiadis DK, Binkert C, Pellerin O, Hoffmann RT, Krajina A, Pereira PL. Cirse quality assurance document and standards for classification of complications: the Cirse Classification System. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2017;40:1141—6.
- [33] Kodama H, Ueshima E, Howk K, Lee SW, Erinjeri JP, Solomon SB, et al. Temporal evaluation of the microwave ablation zone and comparison of CT and gross sizes during the first month post-ablation in swine lung. *Diagn Interv Imaging* 2019;100:279—85.
- [34] Palussière J, Catena V, Buy X. Percutaneous thermal ablation of lung tumors - Radiofrequency, microwave and cryotherapy: where are we going? *Diagn Interv Imaging* 2017;98:619—25.
- [35] Lubner MG, Brace CL, Hinshaw JL, Lee FT. Microwave tumor ablation: mechanism of action, clinical results, and devices. *J Vasc Interv Radiol* 2010;21:S192—203.
- [36] Wright AS, Sampson LA, Warner TF, Mahvi DM, Lee FT. Radiofrequency versus microwave ablation in a hepatic porcine model. *Radiology* 2005;236:132—9.
- [37] Novanta A, Herpe G, Vesselle G, Guibal A, Velasco S, Chan P, et al. Chart for renal tumor microwave ablation from human study. *Diagn Interv Imaging* 2018;99:609—14.

[38] Carrafiello G, Mangini M, Fontana F, Di Massa A, Ierardi AM, Cotta E, et al. Complications of microwave and radiofrequency lung ablation: personal experience and review of the literature. *Radiol Med* 2012;117:201—13.

[39] Takaki H, Cornelis FH. Can the combination of ablation and immunomodulation become the breakthrough of cancer treatment? *Diagn Interv Imaging* 2018;99:121—2.

SERMENT

- *En présence des Maîtres de cette école, de mes chers condisciples et devant l'effigie d'Hippocrate, je promets et je jure, au nom de l'Être suprême, d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la médecine.*
- *Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail.*
- *Admis (e) dans l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe, ma langue taira les secrets qui me seront confiés, et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs, ni à favoriser le crime.*
- *Respectueux (se) et reconnaissant (e) envers mes Maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leurs pères.*
- *Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses. Que je sois couvert (e) d'opprobre et méprisé (e) de mes confrères si j'y manque.*

Résumé

Objectif : L'objectif de cette étude était de comparer rétrospectivement la thermo-ablation par micro-ondes (MO) et par radiofréquence (RF) dans le traitement percutané des tumeurs pulmonaires primitives et secondaires.

Matériels et méthodes : 115 patients présentant un total de 160 tumeurs pulmonaires (primitives, n = 41; secondaires, n = 119) ont été inclus rétrospectivement. 56 hommes et 59 femmes, présentant un âge moyen de $67,8 \pm 12,7$ (DS) ans (étendue : 42-89 ans) ont été traités par MO (61 patients; 79 tumeurs) ou par RF (54 patients; 81 tumeurs). Les critères d'évaluation principaux de l'étude étaient la survenue de récurrence locale au cours du suivi et l'incidence des complications pendant et après thermo-ablation. Les groupes MO et RF ont été comparés en termes d'efficacité du traitement et de taux de complications.

Résultats : Les caractéristiques démographiques étaient comparables dans les deux groupes. Le diamètre tumoral moyen était plus petit dans le groupe RF ($13,1 \pm 5,1$ mm; 4-27 mm) que dans le groupe MO ($17,1 \pm 8,3$ mm; 5-36 mm) ($P < 0,001$). Les volumes d'ablation à un mois étaient de $24,1 \pm 21,7$ cm³ (2-97,8 cm³) dans le groupe RF et de $30,2 \pm 35,9$ cm³ (1,9-243,8 cm³) dans le groupe MO ($P = 0,195$). La durée de suivi moyenne était de 488 ± 407 jours (30-1508 jours). 9/160 tumeurs (5,6%) ont présenté une récurrence locale : six (6/79; 7,6%) dans le groupe RF et trois (3/81; 3,7%) dans le groupe MO ($P = 0,32$). Les pneumothorax étaient plus fréquents dans le groupe RF (32/79; 40,5%) que dans le groupe MO (20/81; 24,7%) ($P = 0,049$). La durée moyenne de séjour était de $4,5 \pm 3,7$ jours (1-25 jours) dans le groupe RF et de $4,7 \pm 4,6$ jours (2-25 jours) dans le groupe MO ($P = 0,76$).

Conclusion : La thermo-ablation par micro-ondes peut être considérée comme une technique d'ablation pulmonaire efficace et sûre, en particulier dans les situations où la RF peut être mise à défaut.

Mots-Clefs :

Thermo-ablation

Micro-ondes

Traitement percutané

Tumeur pulmonaire

Radiofréquence

Métastases pulmonaires