HAL open science

Software-based assessment of margin in hepatocellular carcinoma and liver metastases after percutaneous thermal ablation: a systematic review

Chloé Minier

▶ To cite this version:

Chloé Minier. Software-based assessment of margin in hepatocellular carcinoma and liver metastases after percutaneous thermal ablation: a systematic review. Human health and pathology. 2021. dumas-03412774

HAL Id: dumas-03412774

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03412774v1

Submitted on 3 Nov 2021

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

Chloé MINIER

Le 17 septembre 2021

TITRE

Software-based Assessment of Margin in Hepatocellular Carcinoma and Liver Metastases after Percutaneous Thermal Ablation : A Systematic Review.

Directeur de thèse : Madame le Docteur HERMIDA Margaux

JURY

Président :

Monsieur le Professeur GUIU Boris

Assesseurs :

Monsieur le Professeur BEREGI Jean-Paul

Madame le Docteur HERMIDA Margaux

Membre invité : Monsieur le Professeur FABRE Jean-Michel

UNIVERSITE DE MONTPELLIER
FACULTE DE MEDECINE MONTPELLIER – NIMES

THESE

Pour obtenir le titre de

DOCTEUR EN MEDECINE

Présentée et soutenue publiquement

Par

Chloé MINIER

Le 17 septembre 2021

TITRE

Software-based Assessment of Margin in Hepatocellular Carcinoma and Liver Metastases after Percutaneous Thermal Ablation : A Systematic Review.

Directeur de thèse : Madame le Docteur HERMIDA Margaux

JURY

Président :

Monsieur le Professeur GUIU Boris

Assesseurs :

Monsieur le Professeur BEREGI Jean-Paul

Madame le Docteur HERMIDA Margaux

Membre invité : Monsieur le Professeur FABRE Jean-Michel

Université de Montpellier
FACULTÉ de MÉDECINE
Montpellier-Nîmes

ANNEE UNIVERSITAIRE 2020 - 2021

PERSONNEL ENSEIGNANT

Professeurs Honoraires

ALBAT Bernard
ALLIEU Yves
ALRIC Robert
ARNAUD Bernard
ASENCIO Gérard
ASTRUC Jacques
AUSSILLOUX Charles
AVEROUS Michel
AYRAL Guy
BAILLAT Xavier
BALDET Pierre
BALDY-MOULINIER Michel
BALMES Jean-Louis
BANSARD Nicole
BAYLET René
BILLIARD Michel
BLARD Jean-Marie
BLAYAC Jean Pierre
BLOTMAN Francis
BONNEL François
BOURGEOIS Jean-Marie
BOUSQUET Jean
BRUEL Jean Michel
BUREAU Jean-Paul
BRUNEL Michel
CANAUD Bernard
CHAPTAL Paul-André
CIURANA Albert-Jean
CLOT Jacques
COSTA Pierre
D'ATHIS Françoise
DEMAILLE Jacques
DESCOMPS Bernard
DIMEGLIO Alain
DUBOIS Jean Bernard
DUJOLS Pierre
DUMAS Robert
DUMAZER Romain
ECHENNE Bernard
FABRE Serge
FREREBEAU Philippe
GALIFER René Benoît
GODLEWSKI Guilhem
GRASSET Daniel
GUILHOU Jean-Jacques
GUITER Pierre
HEDON berbard
HERTAULT Jean
HUMEAU Claude
JAFFIOL Claude
JANBON Charles
JANBON François
JARRY Daniel
JOURDAN Jacques
KLEIN Bernard
LAFFARGUE François
LALLEMANT Jean Gabriel
LAMARQUE Jean-Louis
LAPEYRIE Henri
LEROUX Jean-Louis
LESBROS Daniel
LOPEZ François Michel
LORIOT Jean
LOUBATIERES Marie Madeleine
MAGNAN DE BORNIER Bernard
MARTY ANE Charles
MARY Henri
MATHIEU-DAUDE Pierre
MEYNADIER Jean
MICHEL François-Bernard
MION Charles
MION Henri
MIRO Luis
NAVARRO Maurice
NAVRATIL Henri
OTHONIEL Jacques
PAGES Michel
PEGURET Claude
PELISSIER Jacques
PETIT Pierre
POUGET Régis
PUJOL Henri
RABISCHONG Pierre
RAMUZ Michel
REBOUL Jean
RIEU Daniel
ROCHEFORT Henri
ROUANET DE VIGNE LAVIT Jean Pierre
SAINT AUBERT Bernard
SANCHO-GARNIER Hélène
SANY Jacques
SEGNARBIEUX François
SENAC Jean-Paul
SERRE Arlette
SOLASSOL Claude
VIDAL Jacques
VISIER Jean Pierre

Université de Montpellier
FACULTÉ de MÉDECINE
Montpellier-Nîmes

Professeurs Emérites

ARTUS Jean-Claude
BLANC François
BONAFE Alain
BOULENGER Jean-Philippe
BOURREL Gérard
BRINGER Jacques
CLAUSTRES Mireille
DAURES Jean-Pierre
DAUZAT Michel
DAVY Jean-Marc
DEDET Jean-Pierre
ELEDJAM Jean-Jacques
GROLLEAU RAOUX Robert
GUERRIER Bernard
GUILLOT Bernard
JONQUET Olivuer
LANDAIS Paul
LARREY Dominique
LE QUELLEC Alain
MARES Pierre
MAUDELONDE Thierry
MAURY Michèle
MESSNER Patrick
MILLAT Bertrand
MONNIER Louis
MOURAD Georges
PREFAUT Christian
PUJOL Rémy
RIBSTEIN Jean
SCHVED Jean-François
SULTAN Charles
TOUCHON Jacques
UZIEL Alain
VOISIN Michel
ZANCA Michel

Docteurs Emérites

PRAT Dominique
PUJOL Joseph

Professeurs des Universités - Praticiens Hospitaliers

PU-PH de classe exceptionnelle

ALRIC Pierre	Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire (option chirurgie vasculaire)
BACCINO Eric	Médecine légale et droit de la santé
BASTIEN Patrick	Parasitologie et mycologie
BEREGI Jean-Paul	Radiologie et imagerie médicale
BLAIN Hubert	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
BOULOT Pierre	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
CAPDEVILA Xavier	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
CHAMMAS Michel	Chirurgie orthopédique et traumatologique
COLSON Pascal	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
COMBE Bernard	Rhumatologie
COSTES Valérie	Anatomie et cytologie pathologiques
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
CYTEVAL Catherine	Radiologie et imagerie médicale
DE LA COUSSAYE Jean Emmanuel	Médecine d'urgence
DE WAZIERES Benoît	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
DELAPORTE Eric	Maladies infectieuses ; maladies tropicales
DEMOLY Pascal	Pneumologie ; addictologie
DOMERGUE Jacques	Chirurgie viscérale et digestive

DUFFAU Hugues	Neurochirurgie
ELIAOU Jean François	Immunologie
FABRE Jean Michel	Chirurgie viscérale et digestive
FRAPIER Jean-Marc	Chirurgie thoracique et cardiovasculaire
HAMAMAH Samir	Biologie et Médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
HERISSON Christian	Médecine physique et de réadaptation
JABER Samir	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
JEANDEL Claude	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
JORGENSEN Christian	Thérapeutique ; médecine d'urgence ; addictologie
KOTZKI Pierre Olivier	Biophysique et médecine nucléaire
LABAUGE Pierre	Neurologie
LEFRANT Jean-Yves	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
LEHMANN Sylvain	Biochimie et biologie moléculaire
LUMBROSO Serge	Biochimie et Biologie moléculaire
MERCIER Jacques	Physiologie
MEUNIER Laurent	Dermato-vénéréologie
MONDAIN Michel	Oto-rhino-laryngologie
MORIN Denis	Pédiatrie
PAGEAUX Georges-Philippe	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
PUJOL Pascal	Biologie cellulaire
QUERE Isabelle	Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire (option médecine vasculaire)
RENARD Eric	Endocrinologie, diabète et maladies métaboliques ; gynécologie médicale
REYNES Jacques	Maladies infectieuses, maladies tropicales
RIPART Jacques	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
ROUANET Philippe	Cancérologie ; radiothérapie
SOTTO Albert	Maladies infectieuses ; maladies tropicales
TAOUREL Patrice	Radiologie et imagerie médicale

TOUITOU Isabelle	Génétique
VANDE PERRE Philippe	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
YCHOU Marc	Cancérologie ; radiothérapie

PU-PH de 1re classe

AGUILAR MARTINEZ Patricia	Hématologie ; transfusion
ASSENAT Éric	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
AVIGNON Antoine	Nutrition
AZRIA David	Cancérologie ; radiothérapie
BAGHDADLI Amaria	Pédopsychiatrie ; addictologie
BLANC Pierre	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
BORIE Frédéric	Chirurgie viscérale et digestive
BOURDIN Arnaud	Pneumologie ; addictologie
CAMBONIE Gilles	Pédiatrie
CAMU William	Neurologie
CANOVAS François	Anatomie
CAPTIER Guillaume	Anatomie
CARTRON Guillaume	Hématologie ; transfusion
CAYLA Guillaume	Cardiologie
CHANQUES Gérald	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
CORBEAU Pierre	Immunologie
COULET Bertrand	Chirurgie orthopédique et traumatologique
CUVILLON Philippe	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
DADURE Christophe	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
DAUVILLIERS Yves	Physiologie
DE TAYRAC Renaud	Gynécologie-obstétrique, gynécologie médicale
DE VOS John	Histologie, embryologie et cytogénétique

DEMARIA Roland	Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire
DEREURE Olivier	Dermatologie - vénéréologie
DROUPY Stéphane	Urologie
DUCROS Anne	Neurologie
DUPEYRON Arnaud	Médecine physique et de réadaptation
FESLER Pierre	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
GARREL Renaud	Oto-rhino-laryngologie
GENEVIEVE David	Génétique
GUILLAUME Sébastien	Psychiatrie d'adultes ; addictologie
GUIU Boris	Radiologie et imagerie médicale
HAYOT Maurice	Physiologie
HOUEDE Nadine	Cancérologie ; radiothérapie
KLOUCHE Kada	Médecine intensive-réanimation
KOENIG Michel	Génétique
KOUYOUMDJIAN Pascal	Chirurgie orthopédique et traumatologique
LAFFONT Isabelle	Médecine physique et de réadaptation
LAVABRE-BERTRAND Thierry	Histologie, embryologie et cytogénétique
LAVIGNE Jean-Philippe	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
LE MOING Vincent	Maladies infectieuses ; maladies tropicales
LECLERCQ Florence	Cardiologie
MARIANO-GOULART Denis	Biophysique et médecine nucléaire
MATECKI Stéfan	Physiologie
MORANNE Olivier	Néphrologie
MOREL Jacques	Rhumatologie
NAVARRO Francis	Chirurgie viscérale et digestive
NOCCA David	Chirurgie viscérale et digestive
PASQUIE Jean-Luc	Cardiologie

PERNEY Pascal	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement, médecine générale, addictologie
PRUDHOMME Michel	Anatomie
PUJOL Jean Louis	Pneumologie ; addictologie
PURPER-OUAKIL Diane	Pédopsychiatrie ; addictologie
ROGER Pascal	Anatomie et cytologie pathologiques
TRAN Tu-Anh	Pédiatrie
VERNHET Hélène	Radiologie et imagerie médicale

PU-PH de 2ème classe

BOURGIER Céline	Cancérologie; radiothérapie
CANAUD Ludovic	Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire (option chirurgie vasculaire)
CAPDEVIELLE Delphine	Psychiatrie d'Adultes ; addictologie
CLARET Pierre-Géraud	Médecine d'urgence
COLOMBO Pierre-Emmanuel	Cancérologie ; radiothérapie
COSTALAT Vincent	Radiologie et imagerie médicale
DAIEN Vincent	Ophtalmologie
DORANDEU Anne	Médecine légale et droit de la santé
FAILLIE Jean-Luc	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
FUCHS Florent	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
GABELLE DELOUSTAL Audrey	Neurologie
GAUJOUX Viala Cécile	Rhumatologie
GODREUIL Sylvain	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière
GUILPAIN Philippe	Médecine Interne, gériatrie et biologie du vieillissement; addictologie
HERLIN Christian	Chirurgie plastique, reconstructrice et esthétique, brulologie
IMMEDIATO DAIEN Claire	Rhumatologie
JACOT William	Cancérologie ; Radiothérapie
JEZIORSKI Eric	Pédiatrie

JUNG Boris	Médecine intensive-réanimation
KALFA Nicolas	Chirurgie infantile
LACHAUD Laurence	Parasitologie et mycologie
LALLEMANT Benjamin	Oto-rhino-laryngologie
LE QUINTREC DONNETTE Moglie	Néphrologie
LETOUZEY Vincent	Gynécologie-obstétrique ; gynécologie médicale
LONJON Nicolas	Neurochirurgie
LOPEZ CASTROMAN Jorge	Psychiatrie d'Adultes ; addictologie
LUKAS Cédric	Rhumatologie
MENJOT de CHAMPFLEUR Nicolas	Radiologie et imagerie médicale
MILLET Ingrid	Radiologie et imagerie médicale
MURA Thibault	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de la communication
NAGOT Nicolas	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de la communication
OLIE Emilie	Psychiatrie d'adultes; addictologie
PANARO Fabrizio	Chirurgie viscérale et digestive
PARIS Françoise	Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
PELLESTOR Franck	Histologie, embryologie et cytogénétique
PEREZ MARTIN Antonia	Chirurgie vasculaire ; médecine vasculaire (option médecine vasculaire)
POUDEROUX Philippe	Gastroentérologie ; hépatologie ; addictologie
RIGAU Valérie	Anatomie et cytologie pathologiques
RIVIER François	Pédiatrie
ROSSI Jean François	Hématologie ; transfusion
ROUBILLE François	Cardiologie
SEBBANE Mustapha	Médecine d'urgence
SIRVENT Nicolas	Pédiatrie
SOLASSOL Jérôme	Biologie cellulaire
STOEBNER Pierre	Dermato-vénéréologie

SULTAN Ariane	Nutrition
THOUVENOT Éric	Neurologie
THURET Rodolphe	Urologie
TUAILLON Edouard	Bactériologie-virologie; hygiène hospitalière
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

1re classe :

COLINGE Jacques (Cancérologie, Signalisation cellulaire et systèmes complexes)

LAOUDJ CHENIVESSE Dalila (Biochimie et biologie moléculaire)

VISIER Laurent (Sociologie, démographie)

PROFESSEURS DES UNIVERSITES - Médecine générale

1re classe :

LAMBERT Philippe

AMOUYAL Michel

PROFESSEURS ASSOCIES - Médecine Générale

CLARY Bernard

DAVID Michel

GARCIA Marc

PROFESSEURS ASSOCIES - Médecine

BESSIS Didier (Dermato-vénéréologie)

MEUNIER Isabelle (Ophtalmologie)

MULLER Laurent (Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire)

PERRIGAULT Pierre-François (Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire)

QUANTIN Xavier (Pneumologie)

ROUBERTIE Agathe (Pédiatrie)

VIEL Eric (Soins palliatifs et traitement de la douleur)

ANNEE UNIVERSITAIRE 2020 - 2021

PERSONNEL ENSEIGNANT

Maîtres de Conférences des Universités - Praticiens Hospitaliers

MCU-PH Hors classe - Echelon Exceptionnel

RICHARD Bruno	Médecine palliative
SEGONDY Michel	Bactériologie-virologie ; hygiène hospitalière

MCU-PH Hors classe

BADIOU Stéphanie	Biochimie et biologie moléculaire
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
GIANSILY-BLAIZOT Muriel	Hématologie ; transfusion

MCU-PH de 1re classe

BERTRAND Martin	Anatomie
BOUDOUSQ Vincent	Biophysique et médecine nucléaire
BRET Caroline	Hématologie biologique
BROUILLET Sophie	Biologie et médecine du développement et de la reproduction ; gynécologie médicale
COSSEE Mireille	Génétique
GIRARDET-BESSIS Anne	Biochimie et biologie moléculaire
LAVIGNE Géraldine	Hématologie ; transfusion
LESAGE François-Xavier	Médecine et Santé au Travail
MARTRILLE Laurent	Médecine légale et droit de la santé
MATHIEU Olivier	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie

MOUZAT Kévin	Biochimie et biologie moléculaire
PANABIERES Catherine	Biologie cellulaire
RAVEL Christophe	Parasitologie et mycologie
SCHUSTER-BECK Iris	Physiologie
STERKERS Yvon	Parasitologie et mycologie
THEVENIN-RENECéline	Immunologie

MCU-PH de 2éme classe

BERGOUGNOUX Anne	Génétique
CHIRIAC Anca	Immunologie
DE JONG Audrey	Anesthésiologie-réanimation et médecine péri-opératoire
DU THANH Aurélie	Dermato-vénéréologie
FITENI Frédéric	Cancérologie ; radiothérapie
GOUZI Farès	Physiologie
HERRERO Astrid	Chirurgie viscérale et digestive
HUBERLANT Stéphanie	Gynécologie-obstétrique ; Gynécologie médicale
KUSTER Nils	Biochimie et biologie moléculaire
MAKINSON Alain	Maladies infectieuses, Maladies tropicales
PANTEL Alix	Bactérologie-virologie ; hygiène hospitalière
PERS Yves-Marie	Thérapeutique; addictologie
ROUBILLE Camille	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie
SZABLEWSKY	Anatomie et cytologie pathologiques

MCU-MG de 1re classe

COSTA David

OUDE ENGBERINK Agnès

MCU-MG de 2ème classe

FOLCO-LOGNOS Béatrice

CARBONNEL François

Maîtres de Conférences associés - Médecine Générale

CAMPAGNAC Jérôme

LOPEZ Antonio

MILLION Elodie

PAVAGEAU Sylvain

REBOUL Marie-Catherine

SERAYET Philippe

PERSONNEL ENSEIGNANT

Maitres de Conférences des Universités

Maîtres de Conférences hors classe

BADIA Eric	Sciences biologiques fondamentales et cliniques
CHAZAL Nathalie	Biologie cellulaire

Maîtres de Conférences de classe normale

BECAMEL Carine	Neurosciences
BERNEX Florence	Physiologie
CHAUMONT-DUBEL Séverine	Sciences du médicament et des autres produits de santé
DELABY Constance	Biochimie et biologie moléculaire
GUGLIELMI Laurence	Sciences biologiques fondamentales et cliniques
HENRY Laurent	Sciences biologiques fondamentales et cliniques
HERBET Guillaume	Neurosciences
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
RAYNAUD Fabrice	Sciences du Médicament et autres produits de santé
TAULAN Magali	Biologie Cellulaire

ANNEE UNIVERSITAIRE 2020 - 2021

PERSONNEL ENSEIGNANT

Praticiens Hospitaliers Universitaires

BARATEAU Lucie	Physiologie
BASTIDE Sophie	Epidémiologie, économie de la santé et prévention
CAZAUBON Yoann	Pharmacologie fondamentale ; pharmacologie clinique ; addictologie
DAGNEAUX Louis	Chirurgie orthopédique et traumatologique
DUFLOS Claire	Biostatistiques, informatique médicale et technologies de la communication
GOULABCHAND Radjiv	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie
LATTUCA Benoit	Cardiologie
MARIA Alexandre	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie
MIOT Stéphanie	Médecine interne ; gériatrie et biologie du vieillissement ; addictologie
SARRABAY Guillaume	Génétique
SOUCHE François-Régis	Chirurgie viscérale et digestive

Université de Montpellier
FACULTÉ de MÉDECINE
Montpellier-Nîmes

Université de Montpellier
FACULTÉ de MÉDECINE
Montpellier-Nîmes

ANNEE UNIVERSITAIRE 2020 - 2021

PERSONNEL ENSEIGNANT

PH chargés d'enseignements

ABOUKRAT Patrick
AKKARI Mohamed
ALRIC Jérôme
AMEDRO Pascal
AMOUROUX Cyril
ANTOINE Valéry
ARQUIZAN Caroline
ATTALIN Vincent
AYRIGNAC Xavier
BADR Maliha
BAIS Céline
BARBAR Saber Davide
BASSET Didier
BATIFOL Dominique
BATTISTELLA Pascal
BAUCHET Luc
BENEZECH Jean-Pierre
BENNYS Karim
BERNARD Nathalie
BERTCHANSKY Ivan
BIBOULET Philippe
BIRON-ANDREANI Christine
BLANC Brigitte
BLANCHARD Sylvie
BLANCHET Catherine
BLATIERE Véronique
BOBBIA Xavier
BOGE Gudrun
BOURRAIN Jean Luc
BOUYABRINE Hassan
BRINGER-DEUTSCH Sophie
BRINGUIER BRANCHEREAU Sophie
BRISOT Dominique
BRONER Jonathan
CADE Stéphane
CAIMMI Davide Paolo
CARR Julie
CARTIER César
CASPER Thierry
CASSINOTTO Christophe
CATHALA Philippe
CAZABAN Michel
CHARBIT Jonathan
CHEVALLIER Thierry
CHEVALLIER-MICHAUD Josyane
COLIN Olivier
CONSEIL Mathieu
CORBEAU Catherine
COROIAN Flavia-Oana
COUDRAY Sarah
CRANSAC Fréderic
CUNTZ Danielle
DARDALHON Brigitte
DAVID Aurore
DE BOUTRAY Marie
DE LA TRIBONNIÈRE Xavier
DEBIEN Blaise
DELPONT Marion
DENIS Hélène
DEVILLE de PERIERE Gilles
DJANIKIAN Flora
DONNADIEU-RIGOLE Hélène
FAIDHERBE Jacques
FATTON Brigitte
FAUCHERRE Vincent
FILLERON Anne
FITENI Frédéric
FOURNIER Philippe
GAILLARD Nicolas
GALMICHE Sophie
GENY Christian
GERONIMI Laetitia
GINIES Patrick
GRECO Frédéric
GUEDJ Anne Marie
GUYON Gaël
HENRY Vincent
JAMMET Patrick
JEDRYKA François
JREIGE Riad
KINNE Mélanie
LABARIAS Coralie
LACAMBRE Mathieu
LANG Philippe
LAZERGES Cyril
LE GUILLOU Cédric
LEGLISE Marie Suzanne
LOPEZ Régis
LUQUIENS Amandine
MANZANERA Cyril
MARGUERITTE Emmanuel
MARTIN Lucille
MATTATIA Laurent
MEROUEH Fadi
MEYER Pierre
MILESI Christophe

MORAU Estelle

MOSER Camille

MOUSTY Eve

MOUTERDE Gaël

PANSARD Nicole

PERNIN Vincent

PERRIGAULT Pierre François

PEYRON Pierre-Antoine

PICARD Eric

PICOT Marie Christine

PIERONI Laurence

POQUET Hélène

PUJOL Sarah-Lise

PUPIER Florence

QUANTIN Xavier

RAFFARD Laurence

RAPIDO Francesca

RIBRAULT Alice

RICHAUD-MOREL Brigitte

RIDOLFO Jérôme

RIPART Sylvie

RONGIERES Michel

ROULET Agnès

RUBENOVITCH Josh

SANTONI Fannie

SASSO Milène

SCHULDINER Sophie

SEGURET Fabienne

SENESSE Pierre

SKALLI El Medhi

SOLA Christelle

SOULLIER Camille

STOEBNER DELBARRE Anne

TEOT Luc

THIRION Marina

VACHIERY-LAHAYE Florence

VERNES Eric

VINCENT Laure

WAGNER Laurent

ZERKOWSKI Laetitia

Remerciements

Aux membres de mon Jury :

Au *Pr Guiu,* Merci de m'avoir prise sous votre aile. Travailler avec vous est un plaisir mais surtout un honneur. Merci pour la confiance que vous m'accordez, pour votre soutien infaillible, votre compréhension, votre réactivité et votre écoute à la moindre difficulté.

Au *Pr Beregi*, Votre bonne humeur, votre amour pour l'hôpital public que je partage et votre accessibilité sans faille malgré vos obligations a contribué à me faire tant apprécier ce semestre Nîmois.

Au *Pr Fabre*, D'avoir libéré de son temps et d'avoir accepté de partager son expertise chirurgicale.

A *Margaux Hermida,* T'avoir comme directrice de thèse était pour moi un honneur. Tu es pour moi si brillante et si accessible. Merci pour tout ce que tu as fait. Je suis très contente de te retrouver comme chef bientôt.

A nos Professeurs :

Au *Pr Taourel,* Merci pour la confiance que vous nous accordez et pour vous occuper de nous au-delà de notre internat.

Au Pr Millet, officiellement mère-radiologue des internes Montpelliérains. Je ne sais pas comment il est possible d'être si brillante-bienveillante-accessible à la fois, en tout cas, c'est ce qui te définit. Un grand merci ne saurait être suffisant pour tout ce que tu as pu m'apprendre et pour l'écoute et la chaleur que tu nous apporte.

Au *Pr Menjeot-de-Champfleur*, Pour tous ces cours et ces staffs qui nous sont dédiés, pour avoir toujours la porte ouverte pour nous écouter et pour nous apprendre.

Au *Pr Costalat* et au *Pr Vernet-Kovaczsik.*

A mes chefs :

A l'équipe de Saint Eloi : A *Ali Belgour, Christophe Cassinotto, Marie-Ange Pierredon-Foulongne Laure Escal, Valentina Schembri, Carole Allimant, Julie Lonjon*, Merci de m'avoir transmis le goût de l'interventionnel et de m'avoir définitivement réconcilié avec la radiologie. Merci de donner cette place particulière, importante et entière, du radiologue au sein de la prise en charge des patients notamment d'oncologie, ce dont j'avais tendance à douter (bien à tort), au début de mon internat. Je suis très contente de vous retrouver très prochainement, pour tout ce que vous avez encore à m'apprendre.

A l'équipe Perpignanaise, A *Geoffroy Farouil*, *Aymeric Guibal*, *Ana Maria Marquez*, *Maxime Tardieu, Philippe Smadja, Sabine Aptel, Sandra Cardini, Jean-Louis Bertrand, Nicolas Demani, Mourad Bensalah, Omar Abdelli, Eric Boulenc et Aurélie Martin,* que j'ai hâte de retrouver prochainement. Merci pour votre patience, votre accessibilité, votre gentillesse. Merci de m'avoir initier à la radiologie à mon tout début d'internat. Je suis vraiment ravie de passer un nouveau semestre avec vous prochainement, 4 ans plus tard !

A l'équipe Nîmoise :

A *Pierre Viala,* Merci pour tout ce que tu as pu m'apprendre. Ton savoir et ta logique m'impressionnent. Et à nos petites conversations et nos débats qui nous ont bien fait rire.

A *Sofiane Boudhamane*, Merci pour ta sincérité, ton goût du partage, pour tout ce que tu m'as appris (pourtant on sait que je suis partie d'un niveau proche du néant en os !), et pour être aujourd'hui un ami.

A *Takieddine Addala*, grand-frère du mercredi. A *Romain Perolat,* Merci pour ce que tu m'as appris, et pour ton enthousiasme et intérêts communicatifs. A *Fehmi Snene et* à *Adel Hoballah,* Merci d'avoir été aussi accessibles. A *Aymeric Hamard*, Merci pour tes petits Quizz - stimulants hebdomadaires.

A *Nadir Al Zouabi, Iskander Bouassisda*, *Philippe Akessoul* (référence travaux – mobilier), *Alexandre Sadate*, *Asmaa Belaouni*, *Serge Ovtchinnikoff*, *Julien Frandon*, *Tarek Kammoun.*

Et *Manon Mary*, Je suis très contente d'apprendre à te connaître (tu as vu j'ai gardé la meilleure pour la fin !). A nos prochaines péripéties Indiennes !

A l'équipe d'ADV :

A *Juliette Vanoverschelde*, *Valérie Monin-Bares*, *Hamid Zarqane*, *Sébastien Bommart* pour m'avoir donné le goût de l'endo-vasculaire.

A toute l'équipe de dermatologie Nîmoise : Au *Pr Meunier*, *Pr Stoebner*, *Julie Lacotte, Myriam Marque, Michel Dandurand.* Merci pour votre investissement et tout ce que vous m'avez appris durant ce semestre.

A *Annelies Tavernier,* pour nos petits trajets ensemble et pour avoir été toujours présente tout au long du semestre.

A l'équipe de Radiopédiatrie : A *Catherine Baud, Ikram Taleb-Arrada, Olivier Prodhomme, Magali Saguintaah, Stéphanie David, Julie Bolivar, Jenny Eulliot* – Mais aussi pour ces doux moments en colocation*, Charlotte Boyer* - Pour tant rayonner*, Anne-hélène Simon et Nancy Sevette*. Pour ces 7 mois passés avec vous, pour votre patience et votre gentillesse débordante.

A l'équipe de Neuroradiologie : A *Gregory Gascou, Cyril Dargazanli, Federico Cagnazzo, Imad Derraz, Pierre-Henri Lefevre, Arthur Coget, Carlos Riquelme Bareiro,* Merci pour tout ce que vous m'avez appris durant ces gardes et ces 3 mois de stage.

A *Pierre Lepretre,* Pour avoir été si présent et pour s'être tant investi pour nous.

A *Nicolas Leboucq,* Pour notre amour commun de l'Italie.

A toute l'équipe de l'ICM, pour ce demi-semestre d'initiation à l'imagerie de la femme.

A l'équipe de Lapeyronie - mou :

A *Caroline Mandoul* – Pour ta rigueur exemplaire et ton investissement au quotidien dans notre formation, *Benjamin Monsonis* – Pour rendre les vacations si agréables*, Cécile Verheyden* et *Claire Faget* – Pour être si agréables et toujours disponibles*, Fernanda Curros, Emmanuelle Pages-Bouic.* Merci à tous pour votre précision, votre accessibilité, pour tout ce que l'on apprend chaque jour dans ce service grâce à vous, et toujours dans la bonne humeur.

Merci aux *différentes équipes de manipulateurs-radio* que j'ai pu côtoyer, pour votre tolérance et votre bienveillance.

A mes piliers :

A *mon père et à mon tonton Gino*, qui veillent bien haut.

A *ma mère*, Merci pour le soutien inconditionnel que tu as su m'apporter, pour avoir cru en moi depuis toujours, pour m'avoir toujours laissé faire librement mes choix. Les chemins de vie que nous avons emprunté ont malheureusement parfois été escarpés, mais grâce à toi j'ai pu m'accrocher à mon destin et aujourd'hui si je suis ce que je suis c'est entièrement grâce à toi. Nos différences sont parfois très marquées, mais n'illustrent que le fait que tu aies réussi à faire de moi quelqu'un libre de ses choix et de ses opinions. Ma force mentale est le reflet direct de ce que tu m'as enseigné. Un immense Merci.

A *mon cousin Adrien*, Je ne suis pas toujours à la hauteur de ton amour et de ta gentillesse. Merci pour ton soutien que je sais infaillible.
Et à *Frank*.

A *ma grande-tante Marie*, Dont j'aurais aimé profiter plus souvent, mais malgré la distance et les frontières, tu es pour moi la grand-mère que je n'ai pu avoir.

A *ma grande-cousine Gisèle,* Merci pour ta générosité et ton grand amour. Merci de m'avoir aidé dans des moments où j'en avais besoin. Comme tata Marie, tu es plus qu'un marraine ou une grande cousine pour moi, mais un vrai pilier familial.

A *Ortensia*, Grazie per tutto quello che hai fatto per la nostra piccola famiglia.

A *Matthieu Poussin,* Après plus de 3 ans de distance, te voici enfin à mes côtés. Merci pour ta patience, ta compréhension, pour tous ces moments que l'on partage ensemble. Tu es entré dans ma vie et tu n'es pas prêt d'en sortir ! Au-delà du fait que me nourrir devient compliqué quand tu n'es pas là, tu es pour moi devenu indispensable.

A *Natacha Bernard*, je ne peux résumer presque quinze ans d'amitié en seulement trois lignes. L'histoire l'a prouvé : Toi et Moi, on est inséparables. Pour la vie. Nos différences sont si grandes, et pourtant tu es plus qu'une sœur à mes yeux : une moitié. Un pilier.

A *Paul Balmet*, La vie n'a pas toujours été facile, et pour toi ça n'a jamais été un frein. Tu as toujours été là, et je sais que tu le seras toujours. Je ne peux rivaliser. De nos 15 ans à aujourd'hui, tu es toujours comme un frère pour moi, ma vie est inconcevable sans t'imaginer à mes côtés. Et la distance n'y change rien. Merci.
Et Merci à *Anabelle* qui veille sur toi au quotidien.

A *Lola Cazeneuve*, Merci d'avoir été tant là pour moi. La distance ne change rien entre nous. Tu fais partie de ces amitiés pour lesquelles tout est naturel et on ne se pose pas de question. J'aime ta philosophie de vie et ta grande capacité de résilience qui m'ont souvent canalisé.

A *Madeleine Adoumbou*, Après toutes nos aventures et mésaventures personnelles, entre nous il n'y a aucun secret. Rien n'est plus naturel. Et merci pour ce merveilleux voyage Sénégalais, si riche en rencontres et en émotion, que nous n'aurions jamais pu vivre de la sorte sans toi.

A mes amis Lyonnais :

A *Mathieu Herold*, pour ta fidélité et ta loyauté. Une amitié sans faille. Ton intégrité me fascinera toujours. Tu es si précieux pour moi.

A *Jérôme Rigaut*, Pour nous, loin des yeux ne veut surtout pas dire loin du cœur. Te retrouver ressemble toujours à la douce odeur du retour à la maison, c'est réconfortant.

A *Ludevic Schwab-Villevalois*, Qui aurait – cru qu'aujourd'hui nous en serions là ? Tu sais à quel point j'aime passer du temps avec toi, et avec ta *Stéphanie Bastien* que j'aime tant ! Ne changez pas. Vous êtes géniaux.

A *Amélie Taki*, Mon petit ouistiti à moi ! J'ai hâte de repasser de folles soirées de danse avec toi et de te retrouver plus souvent. Ne plus te voir autant me manque !

A *Elsa Herbaut,* Je dois avouer que c'est étrange de se retrouver si loin l'une de l'autre à présent, après tout ce temps passé ensemble. J'ai hâte qu'on puisse se rapprocher et qu'on rattrape le temps perdu, et que je te vois évoluer ainsi que Marcus.

A *Hugo Bouvarel*, A toutes ces années passées ensemble, tous ces restos, tous ces apéros, tous ces week-ends et des moments aussi moins drôles. Malgré que l'on se voit bien moins en raison de la distance, je n'ai rien oublié, tu as toujours ta place à toi dans mon cœur, inchangée.

A *William Dufour*, Le plus beau des dragons. A nos afters pâtes-coulis de tomates et nos parties endiablées de Mario-Kart. Et pour avoir cassé les oreilles de tout Oullins avec Notre-Dame-de-Paris. Tu me manques aussi !

A *Solène Combier*, Tu arrives toujours à nous faire tous retrouver. Toujours débordantes d'idées, tu es d'une hospitalité inégalable. Merci pour tous ces moments que tu nous offres, mais aussi pour ta sincérité et ton amitié.

A *Marion Viry*, Tant d'années passées avec toi, que je ne peux résumer en seulement quelques lignes. Tant de joie, de peur et de pleurs. Mais surtout une amie fidèle et pour toujours.

A *Ombeline Flipo*, Toujours à l'écoute, aux petits soins de tous et à voir le meilleur en chacun. Merci à toi et à *Côme G.,* pour votre accueil (parfait) et pour ces moments de partage qui vous caractérisent particulièrement.

A *Bérengère Molina,* Renifleuse officielle de la team, chaton aux griffes bien aiguisées, je resterai j'espère pour toujours ton petit filaire préféré (et c'est avec toi que je préfère faire des câlins promis).

A *Nicolas Mainaud,* La force tranquille. Parce que j'ai aimé passer du temps avec toi et organiser des évènements. Et parce que je sais qu'il y en a encore plein à venir et que j'aime te retrouver.

A *Raphael Bernier*, Pour moi, tu seras toujours El Foufito-de-la-Noche de mon cœur !

A *Emma Beroulle*, Débordante de vie, d'optimisme et d'énergie. Et une grande écoute qui te rend exceptionnelle.

A *Simon Devin*, Tu es intemporel. Même si on se voit bien moins qu'avant, tu as toujours ta petite place privilégiée pour moi.

A *Hugo Charignon et Victor Gardette,* Pour ces vieilles années inoubliées.

A mes amis Montpelliérains :

A *Audrey Mothais*, Une de mes plus belles rencontres dans ma nouvelle vie sudiste. A nos si bons moments en colocation ensemble et tout ce qu'on partage encore aujourd'hui. Tu es pour moi une grande sœur.

A *Satcha Ortmans*, Mon coup-de-foudre amical. A nos confidences, notre confiance mutuelle, nos débats, nos hauts, nos bas, et surtout nos différences qui nous rapprochent.

A *Carole Bautista*, Agent-double Montpellier-Lyon. Fidèle et toujours disponible. Toujours à l'écoute. Et si « attachiante ». J'ai hâte de notre petit voyage !

A *Marion Lancien*, Parce que passer ce premier confinement avec toi l'a rendu si agréable. Nos petits rituels ensemble me manquent ! J'ai hâte que l'on puisse de nouveau se retrouver.

A *Camille Pochard*, Tu fais partie de d'une de mes plus belles rencontres Montpelliéraines. Merci à toi et à Etienne pour être toujours là à la moindre difficulté et pour ces petits moments et dîners partagés.

A *Etienne Lecluse,* Parce que j'adore échanger longtemps avec toi sur ces sujets qui nous passionnent et nous animent ! Merci pour ton ouverture et ta grande écoute.

A *Guillaume Derouet*, Toujours prêt, toujours là, toujours à la disposition des autres ! A ton hospitalité, ta chaleur, et à tous ces moments passés et à venir. Et pour toujours motiver les troupes.

A *Vinciane Laffitte*, Pour cette amitié née dès le week-end d'intégration, puis cette super coloc'5! Parce qu'avec toi c'est fluide et naturel, et que tu es toujours présente.

A *Juliette Chatelain*, Pour ta résilience et ton euthymisme qui m'apaisent. J'ai hâte de te voir évoluer dans ta nouvelle vie.

A *Cédric Riedel*, Pour nos petits diners – fromage passionnants (mais pas assez fréquents). Merci pour ton écoute et pour être toujours si disponible. Un ami fidèle !

A *Nacim Benchabane*, Parce que tu nous fais quand même bien rire. Et que tu es toujours prêt à rendre service.

A *Arnaud Krizman*, Toujours motivé pour un bon petit repas, organisateur hors-pair de soirées, et ça on aime.

A *Nicolas Boulet*, Pour avoir été une belle rencontre plus Montpelliéraine que Lyonnaise. Et à *Aude Nguyen*.

A *Esra Berber*, *Pauline Willnyck* – pour ta douceur, *Vincent R*. – pour toujours nous faire rire, *Marion Serand*, pour tous ces bons moments et ces week-ends à Orange passés ensemble.

A *Stéphanie Le Graverend,* Pour notre semestre de colocation. A tous nos rires et nos partages. J'espère continuer de te voir avancer dans ta vie pour longtemps.

A *Jean-Louis Portet*, Et à nos goûts similaires en matière de piano et d'olives italiennes. Merci pour tous ces moments d'évasion et pour ta patience. Et à nos petits (divins) dîners avec *Sophie Clouet* !

A mon voisin *Nicolas Garcia Fernandez*, Pour tes mille et unes histoires qui me font rire et pour ces apéros improvisés de dernière minute.

A mes cointernes :

A *Vincent Aufranc*, Grand-frère radiologue. Que dire de notre amitié née aux premiers instants ? J'ai une totale confiance en toi, en tes valeurs et tes jugements. Merci d'être toujours là.

A *Margaux Bertrand*, Parler de toi serait trop long. L'amitié qui s'est créée entre nous me ravie. Parce qu'avec toi, c'est juste naturel. Tu es parfaite !

A *Caroll Chevalier*, Toi et moi, quand on se voit, ça ne s'arrête pas. A nos petits repas d'amoureuses qui partent systématiquement en débats sociétaux hyper-animés-sans-fin.

A *Quentin Durand*, Mon co-interne officiel ! Toi et moi on est parfois comme chien et chat, et en même temps on se ressemble beaucoup. On se tire ensemble vers le haut et on se soutient. C'est comme ça que j'aime notre relation, et notre amitié.

A *Justine Meriadec*, On est si différentes et en même temps si proches. Pour nos petits moments ensemble, et nos petits secrets partagés.

A *François-Louis Collemiche*, Passion sushi-fromage, on est là ! Hâte de partager de nouveau de bons petits plats avec toi !

A *Nicolas Hennequin*, Même si on ne se voit pas très souvent, la porte reste toujours ouverte. Hâte de se retrouver autour d'une bière !

<u>A mes co-internes d'ADV :</u>
A *Jessica D.,* autant en tant que co-interne que chef, tu es un modèle pour moi. Milles merci pour tout ce que tu as pu m'apprendre et m'apprendra encore.
A *Benoît A.,* pour avoir été mon doudou pendant ce semestre. Pour m'avoir soutenu et appris. Pour m'avoir écouté dans des périodes de doutes.
A *Gaetan*.

<u>A mes co-internes de dermatologie, équipe du tonnerre :</u>
A *Emily S.,* Ma petite daurade. Pour tout ce que tu m'as appris, pour toutes nos discussions, pour ta joie de vivre débordante et ton professionnalisme.
A *Oussama B.,* petit gourmand. Quel bonheur d'avoir travaillé avec toi.
A *Bertille*, *Manon G., Sophie V.*

<u>A mes co-internes de Saint-Eloi non cités :</u>

A *Bachir B.,* La force tranquille ! Et parce que tu me fais vraiment rire ! J'espère qu'on aura l'occasion de travailler ensemble de nouveau. *A Caroline Turettes.*

A mes cointernes de Gui-de-Chauliac :

A *Thorgal B.,* un seul mot d'ordre : chaton <3. A *Nadia O.*, pour m'avoir fait tant rire avec tes histoires. Et pour ta franchise. A *Maxime P.,* pour avoir été mon allié. Et pour t'occuper si bien de nous. A *Renaud S.,* pour ta solidarité infaillible. A *Delphine D*.

Au semestre Nîmois, l'équipe de l'ambiance !

A *Loris L*., deux fois co-internes, et toujours un régal. A *Ghizlane B.G*., pour nos discussions à rallonge, pour nos rires, et surtout pour avoir casser les oreilles de tout le monde avec nos chansons (et pas qu'avec nos chansons finalement..). A *Jean-Baptiste G*., une si belle rencontre. Je sais qu'au fond, j'ai réussi à te faire changer d'avis sur certains sujets ! A *Rémi R.,* parce que tu es génial bébé ! A *Ancelin P.*, Merci pour ton soutien, ta ré-assurance et ton sourire permanent. A *Anas T.,* et à nos petites pauses ensoleillées. A *Justine I* et à *Adrien Z*.

A mes cointernes de Lapeyronie :

A *Audrey A*., Un match-amical imminent ! La porte restera toujours grande ouverte mon crapaud.

A *Maciej C.,* Fidèle copain des soirées bières – piscine et de la pause-café. Merci aussi pour ton écoute, et ces moments moins drôles partagés de doute.

A *Elaura C*., Pour ton calme si apaisant et si agréable.

A *Thomas D.S.,* Pour ton énergie débordante et ta solidarité sans faille.

A *Tanguy A.,* A notre passion commune pour les bons petits restos, et pour être notre petit chou.

A *Pierre-Adrien B.*

A *Dimitri D*., L'éternel lapeyronien ! A nos petites soirées-jeux, à ton bon brookie (j'attends toujours le prochain) et ton sourire des îles qui donne la pêche.

A *Anthony J.,* prochain partenaire de salsas endiablées.

Et à tous les internes/chefs de radiologie avec qui je n'ai pas été en stage mais avec qui j'ai passé de très bons moments.

Sommaire

- Introduction (p. 31 - 33)

- Article (p. 34-58)
  - Résumé (p. 35)
  - Abréviations (p. 36)
  - Introduction (p. 37 - 38)
  - Matériels et Méthodes (p. 39 - 42)
  - Résultats (p. 43 - 52)
  - Discussion (p. 53 - 57)
  - Conclusion et Perspectives (p. 58)

- Bibliographie (p. 59-65)

- Annexes (p. 66-72)

- Serment (p. 74)

Introduction

Le cancer colorectal et le cancer primitif du foie figurent parmi les cinq cancers les plus meurtriers dans le monde en 2020(1). Le carcinome hépatocellulaire (CHC) représente 90 % des cancers primitifs du foie(2). Près de 35 à 55 % des patients atteints de cancer colorectal développeront des métastases hépatiques au cours de la maladie(3,4).

Dans ce contexte et avec les progrès technologiques, les indications de la thermoablation percutanée guidée par imagerie se sont largement étendues. La thermoablation percutanée, utilisant la radiofréquence (RFA) ou les micro-ondes (MWA), est devenue une technique de choix pour les patients atteints de CHC au stade précoce, en tant que thérapie de première ligne, même chez les patients éligibles à la chirurgie (2,5). Les indications se sont étendues à différents stades de la maladie en fonction de critères de taille, de localisation, de paramètres techniques et de critères propres aux patients.

Les indications reconnues de la thermoablation percutanée dans les métastases de cancer colorectal (CRLMs) sont beaucoup plus nombreuses à présent (5,6). Elle peut également être une alternative pour le cholangiocarcinome, les tumeurs neuroendocrines ou les métastases d'autres primitifs dans une approche personnalisée ou comme alternative à la thérapie systémique dans la maladie oligo-métastatique (5).

Il est à présent largement admis qu'une marge d'ablation insuffisante est un facteur de risque majeur de progression tumorale locale(4,5,7–10).
Selon les études, le taux de progression tumorale locale varie de 1 à 27% pour les CHC (5,11–13) et de 3 à 41% pour les CRLMs(5,8).
Dans ce contexte, le contrôle tumoral local par l'évaluation des marges de sécurité est devenu un défi pour les radiologues interventionnels.
Dans une étude récente, *Laimer et al*. ont montré que pour chaque millimètre en plus de marge d'ablation minimale (MAM) après traitement par RFA du CHC, le risque relatif de LTP est réduit de 30% (10). Après biopsie du centre et de la marge de la zone d'ablation après traitement par

RFA pour les CRLMs, *Sotirchos et al*. ont conclu que la preuve par biopsie de l'ablation complète de la tumeur et une MAM de 5 mm sont des prédicteurs indépendants de LTP (14).

Il est désormais communément admis qu'une marge d'ablation minimale de 5 mm offre le meilleur contrôle tumoral local pour le traitement des CHC et des CRMLs (5,8,10,14) (Schéma 1).

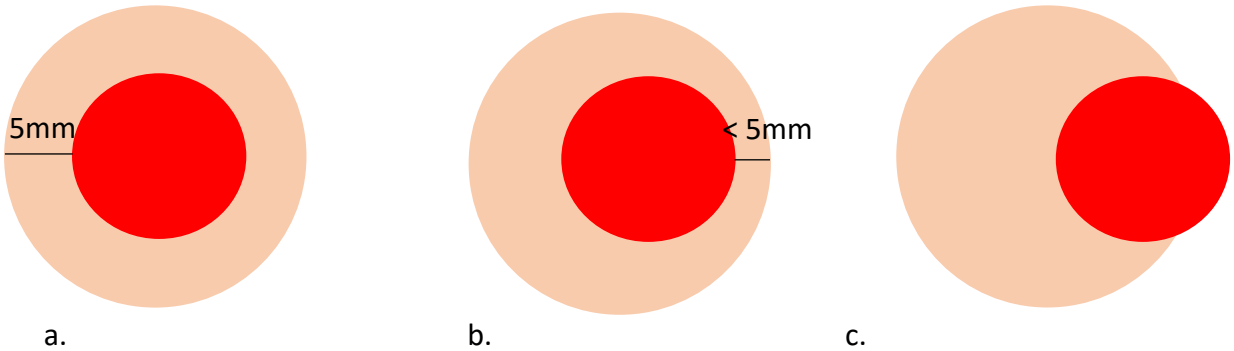


Schéma 1. La tumeur est représentée par le rond rouge et la zone d'ablation par le rond orange entourant la tumeur. **a :** représente la situation idéale : la marge d'ablation tout autour de la tumeur est de 5 mm, on parle d'ablation complète. **b** : la zone d'ablation comprend bien la totalité de la tumeur, mais la marge d'ablation minimale est < 5 mm ; il s'agit d'une ablation complète avec marge minimale insuffisante. **c** : il existe une tumeur résiduelle ; il s'agit d'une ablation incomplète.

Actuellement, la méthode la plus fréquemment utilisée pour l'évaluation du succès du traitement après ablation percutanée de CHC ou de métastases hépatiques est la comparaison des images tomodensitométriques pré- et post-ablation en juxtaposition.

Dans une étude récente, *Laimer et al.* ont démontré la subjectivité de cette méthode, appuyant la nécessité de progresser dans nos pratiques. Ils ont demandé à trente-huit radiologues interventionnels ayant un niveau d'expérience variable d'évaluer le succès de la thermoablation par cette méthode conventionnelle chez neuf patients atteints de neuf CHC dont l'issue était connue après RFA. Les résultats ont été mal évalués par les radiologues dans 44,1% des cas, indépendamment de leur expérience(15). De plus, ce qui serait jugé comme une LTP lors du suivi ne serait pas toujours nécessairement dû à une marge ablative insuffisante, mais aussi à la présence de tumeur résiduelle(16).

En effet, le foie est un organe présentant une grande mobilité dans les différents axes de l'espace due à de multiples facteurs (notamment la respiration et l'inflammation induite par le traitement

par thermoablation), ne permettant pas une évaluation optimale des marges dans un plan uniquement axial.

Aujourd'hui, la principale différence entre la chirurgie et l'approche interventionnelle percutanée est l'évaluation du succès du traitement. Après la chirurgie, les anatomo-pathologistes analysent les marges de résection par une approche objective.
Il est alors devenu essentiel pour les radiologues interventionnels de disposer d'une méthode objective pour évaluer le succès d'une ablation complète.
Stephen Solomon a introduit la notion d'"ablation 2.0" en "se concentrant davantage sur la précision, sur les marges, et spécifiquement sur le chemin vers A0", A0 devenant l'équivalent du R0 des anatomo-pathologistes (résection en marges saines, sans résidu tumoral) (17).
Des logiciels permettant la segmentation, le recalage rigide ou/et non-rigide d'images, et/ou l'évaluation volumétrique quantitative des marges ablatives sont actuellement en cours de développement pour évaluer le succès post-traitement. Ces logiciels semi-automatiques tentent de s'affranchir de la mobilité du foie.
L'évaluation précise des marges d'ablation obtenues au décours immédiat de la thermoablation percutanée permettrait de décider si le traitement doit être complété en cas de marges de sécurité insuffisantes ou de tumeur résiduelle, lors de la même anesthésie générale. Ceci équivaudrait à une analyse extemporanée de la marge d'ablation.

L'objectif de cette étude est de réaliser une revue exhaustive des études cliniques évaluant un logiciel ou une nouvelle méthode pour l'évaluation des marges après la thermoablation percutanée (PTA) des tumeurs du foie.

Article

Software-based assessment of margin in hepatocellular carcinoma and liver metastases after percutaneous thermal ablation :

A Systematic Review.

ABSTRACT

PURPOSE – To conduct a comprehensive review of clinical studies evaluating software or a new method for margin assessment after percutaneous thermoablation (PTA) of liver tumors.

MATERIALS AND METHODS – Three databases were used : Pubmed/MEDLINE, Embase and The Cochrane Library. Keywords were “software”, “ablation techniques”, “liver neoplasms”, image processing”, “imaging, three-dimensional”, “volumetric assessment”, “ablation”, “ablative margin”, “local tumor progression”, “radiofrequency ablation”.
Following criteria were : liver tumor treated by a thermoablation technique, at least 10 patients included, fusion of pre- and post-treatment CT, MRI or ConeBeam-CT images, post-ablation margin studies, description of technique used.
After exhaustive extraction of data from articles, they were analyzed and grouped into tables in order to homogenize and synthesize data.

RESULTS – 678 articles were recorded. After applying exclusion criteria, 28 references were included. All studies were single-center, only 2 were prospective. Majority were feasibility (89.29%) or predictive (78.57%) studies. Four softwares were able to generate automatically margins. Time for use was inhomogeneously reported, ranged between 5 – 30 min (or more). Inter-operator reproducibility was high (κ range : 0.686 – 1). Ascites, liver deformation, different position or undetectable tumor were major factor of error of coregistration. Margin was often the only significant risk factor for LTP. Visual assessment tended to overestimate assessment of margin. Mostly, LTP occurred at the location of thinnest margin or residual tumor.

CONCLUSION – Ablation margin is an independent risk factor for LTP. The therapeutic impact of margin assessment software should therefore be of major importance. The ideal ablation-confirmation software would imply a fast and easy to use workflow, as automatic as possible, with high precision.

Keywords : Software, Liver Neoplasm, Volumetric Assessment, Local Tumor Progression, Ablation Margin, Image Processing, Ablation Techniques, Imaging Three-dimensional.

ABBREVIATIONS

AR	Augmented Reality
AM	Ablative Margin
CRMLs	Liver Metastases of Colorectal Cancer
CT	Computed Tomography
e.g.	Exempli Gratia
HCC	Hepatocellular Carcinoma
i.e	Id Est
LTP	Local Tumor Progression
MAM	Minimal Ablative Margin
MWA	Microwave Ablation
NA	Not Applicable
NOS	Newcastle Ottawa – Scale
NR	Not Reported
PTA	Percutaneous Thermal Ablation
RFA	Radiofrequency Ablation
TRE	Target Registration Error
US	Ultrasound

INTRODUCTION

Colorectal cancer and liver cancer are among the five cancers with highest mortality worldwide in 2020(1). Hepatocellular carcinoma (HCC) represents 90% of primary liver cancers(2). Almost 35% - 55% of colorectal cancer patients will develop liver metastases (CRLMs) during the course of the disease(3,4).

In the context of liver tumors (either primary or secondary), indications of image-guided percutaneous thermal ablation have widely expanded over the past ten years. Percutaneous thermal ablation (PTA), using radiofrequency (RFA) or microwave (MWA), has become a validated curative option in CRLMs, especially in patients not eligible to surgery (5,6). PTA can be an alternative for metastases from other primaries in a personalised approach or as an alternative to systematic therapy in oligonodular disease(5).

PTA is a validated first-line treatment together with surgical resection in patients with early-stage HCC, according to EASL/AASLD recommendations (2,5). In a recent French nationwide study, PTA has been shown as the most widely-used curative treatment for HCC both in cirrhotics and non-cirrhotics (18).

As a local treatment, patient treated by PTA may be subject to local tumor progression, which is largely due to insufficient ablative margin (AM) (4,5,7–10). In the literature, local tumor progression (LTP) rate varies from 1-27% for HCC(5,11–13) and from 3-41% for CRLMs(5,8).

In this context, increasing interest has been focused on the precise evaluation of the ablation margins.

In a recent study, *Laimer et al.* showed that for each millimeter increase of the minimal ablative margin (MAM) post-RFA treatment of HCC, there is a 30% reduction of the relative risk for LTP (10). After biopsy of the center and margin of the ablation zone after RFA for CRLMs, *Sotirchos et al*. concluded that biopsy proof of complete tumor ablation and a MAM of 5 mm were independent predictors of LTP(14).

As in surgery, the ideal minimal margin is subject to great debate but it is commonly accepted that a minimal ablative margin of 5 mm provides satisfactory local tumor control for the treatment of HCC or CRLMs (5,8,10,14).

Visual comparison of pre and post-ablation computed tomography (CT) scans in side-by-side juxtaposition is the most frequently-used method to evaluate the ablative margin. Indeed, the ablation zone can be easily visualized at the end of procedure as a hypodense area at the portal

phase of CT-scan. However, in a recent study, *Laimer et al.* demonstrated the subjectivity of this method supported the need to envolve our practices. Results were misjudged by 38 radiologists in 44.1% cases when they evaluated success of PTA for HCCs with this conventional method, independently of their experience(15). Importantly, LTP observed during follow-up might result not only from recurrence due to insufficient ablation margins but also from residual disease that was left behind PTA (16).

The main difference between surgery and PTA actually relates on the evaluation of treatment success. Whether visual (ie. subjective) evaluation of imaging follow-up is the most common way to evaluate treatment success after PTA, pathologists analyze resection margins after surgery using an objective approach, defining R0/R1/R2 status. Therefore, it has become essential for interventional oncologists to objectively evaluate the success of a complete ablation in a similar way. Stephen Solomon introduced the notion of "ablation 2.0" by "focusing more on precision, on margins, and specifically the road to A0", A0 becoming the equivalent of R0 for pathologists (resection in healthy margins, without tumor residue) (17).

Growing interest has been observed toward softwares allowing segmentation, rigid or/and non-rigid registration, and quantitative volumetric assessment of ablative margins. However, the liver is subject to mobility and deformation with respiratory movements making comparisons difficult or even inaccurate between pre- and post-evaluations basically acquired at different times. The assessment of precise ablative margins immediately in post-PTA would permit to complete the ablation during the same procedure if the ablative margin is insufficient or in case of residual tumor. Such approach would offer a theoretical advantage over surgery where surgical margin is basically analyzed after (and not during) surgery. Over the past decade, several methods or softwares for assessment of the ablative margin have been published in different clinical contexts (tumor types, imaging modalities, timing of pre- and post-PTA evaluation…) but to our knowledge, no comprehensive review has been published so far. Yet, it has now become particularly important to analyze capabilities, accuracy, and limitations of available ablation-confirmation softwares before designing clinical trials incorporating these tools in order to guarantee the completeness of PTA with adequate margins.

Thus, the aim of this study is to conduct a comprehensive review of clinical studies evaluating software or a new method for margin assessment after PTA of liver tumors.

MATERIALS AND METHODS

This systematic review is registered in PROSPERO (CRD42021243449) and was performed in accordance to Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses statement (PRISMA).

No similar literature review or meta-analysis has been registered on PROSPERO so far.

Study Selection

The research was conducted on three databases : Pubmed/MEDLINE, Embase and The Cochrane library.

The keywords used were “software”, “ablation techniques”, “liver neoplasms”, image processing”, “imaging, three-dimensional”, “volumetric assessment”, “ablation”, “ablative margin”, “local tumor progression”, “radiofrequency ablation”. MeSH Terms and free research were used (Appendix 1).

There was no limitation date. The research was completed on May, 15th 2021.

Two reviewers (C.M. and M.H.) screened titles and abstracts of each article. In case of disagreement, a consensus was found between the two reviewers. A third reviewer (B.G.) adjudicated in case of persistent disagreement.

Only English language articles were included in this study.

For this qualitative review, selected studies had to present the following criteria: liver tumor treated by PTA, at least 10 patients included, co-registration of pre- and post-treatment images for margin assessment, CT or MRI or Conebeam-CT as imaging modalities, description of the method used for co-registration.

Definitions

According to the CIRSE Standards of Practice on Thermal Ablation of Liver Tumors, definition of ablative margins is “the region ablated beyond the borders of the tumor to achieve complete tumor destruction”(5).

Ablative Margin is considered as “appropriate margins beyond the borders of the tumor”, “necessary to achieve complete tumor destruction”. Ablative Margin “is used to describe the region that should ideally be ablated”(19).

Complete Ablation is considered as the “primary treatment success”, this term simply addresses whether the tumor was covered completely (20).

Local Tumor Progression (LTP) is defined as "the appearance of tumor foci at the edge of the ablation zone, after at least one contrast-enhanced follow-up study has documented adequate ablation and an absence of viable tissue in the target tumor and surrounding ablation margin by using imaging criteria"(19).

Registration

Principles

Post-fusion image registration allows two pre- and post-PTA images to be matched.

For these purposes, two types of geometric transformations are used: linear and non-linear transformation models.

Rigid transformations belong to the group of linear transformations, with only translation and rotation axes, easy to use for organs in closed environments, not very mobile (e.g. the brain)(21). Rigid transformation processing is fast, but requires adjustments by a system of anatomical landmarks for structures like the liver. Hepatic vessel bifurcations, cysts or calcifications can be typically considered as landmarks(22).

Because the liver is a very mobile organ in the abdominal cavity, the non-linear (or elastic or non-rigid) transformation is particularly applicable, taking into account the movements of the liver in a more suitable way (more often based on B-Splines)(23). With this registration, additional landmark can be segmented in order to improve even more the quality of registration. Methods of non-rigid registration are available in open source as part of the ITK (Insight Segmentation and Registration Toolkit) (www.itk.org).

Prior to rigid or non-rigid registration, DICOM files need to be transferred into the software. Generally, the whole liver (on pre- and post-PTA images), liver tumor(s) (on pre-PTA images) and the ablation (ie, necrosis) zone (on post-PTA images) are segmented. Segmentation can be either manual, semi-automatic (most frequently), or fully automatic. Then, the ablation margin(s) are assessed by using manual or automatic method of measurement (depending on the software).

Co-registration Quality

Success rate of coregistration was extracted from studies, referring to the accuracy of fusion performed, with feasibility of treatment evaluation. When studies assessed the quality of coregistration with a rating scale, these data were extracted and reported into a table.

If exclusion criteria included technical settings, affecting coregistration quality, these data were reported.

The registration accuracy could also be evaluated using Target Registration Error (TRE), corresponding to a difference distance between predefined corresponding anatomical landmarks on registered pre- and post-PTA images(24).

Data extraction

A preliminary table was made manually using a spreadsheet, listing each included study. From each study, data extracted were as follows : reference, study design, period of inclusion, outcomes, patients included (number), exclusion criteria, number of lesions and their type, follow-up period, software used, interval between thermal ablation and final control (CT or MRI images), Newcastle Ottawa-Scale(25), key steps for the segmentation and registration, feasibility of a manual correction, time for use, margins endpoint, tumor size, rate of LTP, results, inter- or intra-operator reproducibility, authors' views on limitations and benefits of the software.

In order to classify the outcomes of each study, we distinguished 5 main axes (which could be combined): studies proposing a quantitative ablative margin assessment technique or assessing the feasibility or accuracy of a method (Feasibility), studies comparing registration and image fusion for quantitative assessment of ablative margin versus the conventional method (Comparative), studies evaluating possibility of an additional treatment (Clinical Impact), studies assessing the impact on LTP or investigating the location of the LTP in relation to the ablation zone (Predictive) and studies investigating the overall survival or the progression-free survival (Overall Survival).

All data were extracted by the two principals reviewers (C.M. and M.H.). If there were any misunderstanding or disagreement, a consensus was found or the third reviewer was involved (B.G.).

Quality Assessment of Studies

Quality assessment was evaluated by the Newcastle-Ottawa scale (NOS), an instrument developed to assess the quality of non-randomised studies (25). This scale is divided into three categories of items: Selection, Comparability and Outcome. Selection integrates the representativeness of the exposed cohort, the selection of the non-exposed cohort, the ascertainment of exposure, the demonstration that outcome of interest was not present at start

of study. Comparability integrates the comparability of cohorts base on the design or analysis. Outcome integrates the assessment of outcome (blind assessment, auto-evaluation), if the follow-up was long enough for outcomes to occur and the assessment of adequacy of follow up of cohorts (Appendix 2). Thresholds for converting the NOS to the Agency for Healthcare Research and Quality's (AHRQ) standards are reported in Appendix 3.

RESULTS

Literature Research

After duplicates were removed, a total of 678 articles were recorded. Six hundred and eleven articles were screened by their titles and abstracts. At this stage, in most cases, articles were excluded due to : off-topic papers, non-human (ie, in vitro or animal) studies, no coregistration between pre- and post-PTA images, planning or simulation softwares, coregistration with ultrasound (US), case report studies.

A total of 68 full-text articles were assessed for eligibility (Fig. 1).

After applying the exclusion criteria (Fig1.), a total of 28 references were included in this systematic review.

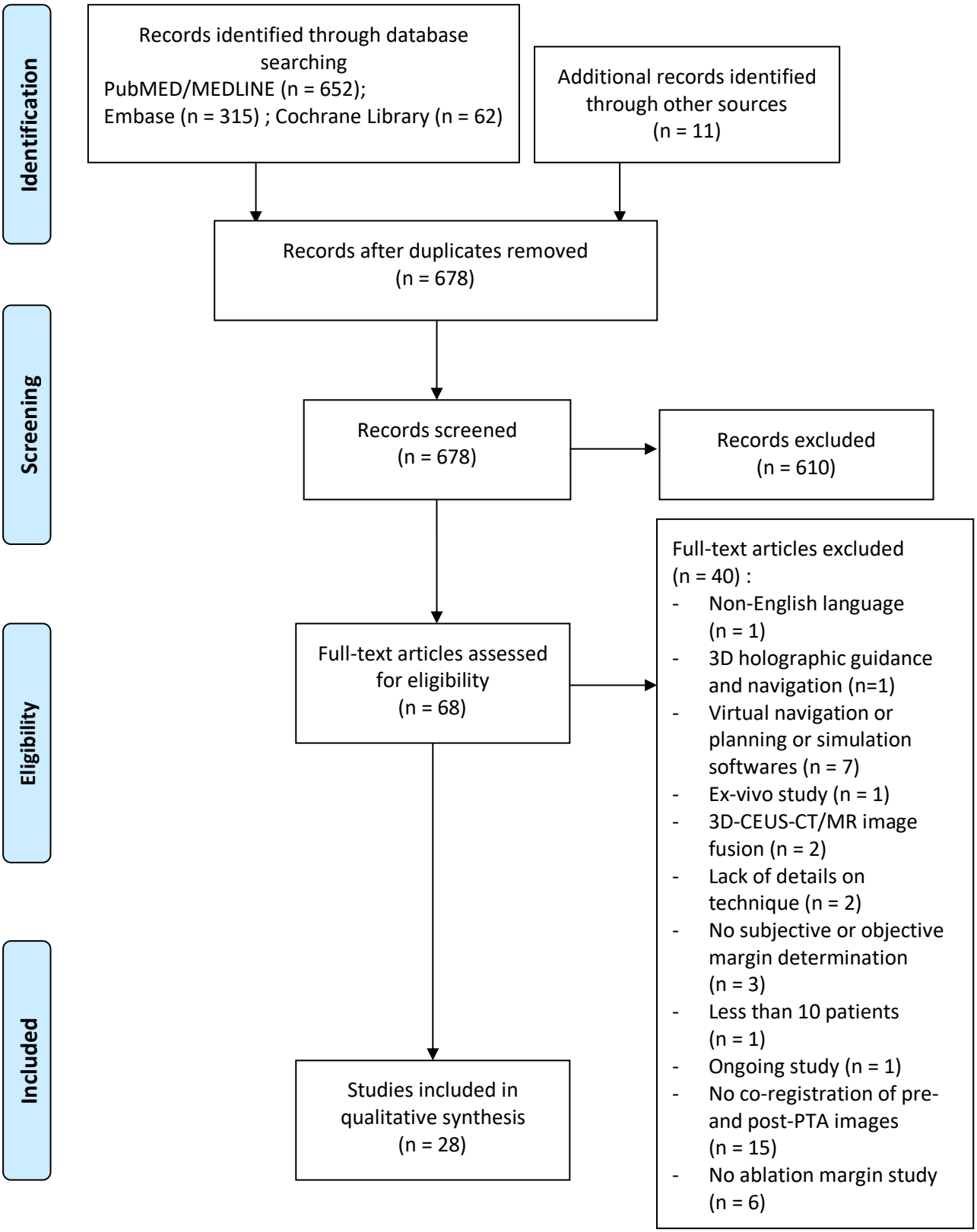


Fig. 1. Flow-chart summarising the different stages of the literature review according to PRISMA criteria.

Studies characteristics

Studies characteristics, i.e. study design, number of patients and number of lesions, type of lesions, thermal ablation (RFA, MWA or cryoablation), tumor size, outcomes, follow-up period, target registration error and Newcastle Ottawa-Scale are reported in the Table 1.

All studies were single-center studies (100%). Only 2 of them were prospective studies (11,26). A large majority of lesions were HCCs (23/28 references), follow by CRMLs. Number of included patients ranged 10 - 178 (median: 52) among included studies.

The large majority of studies used RFA (22/28; 78.57%), 6/28 (21.43%) of them used MWA and only 2/28 (7.14%) used cryoablation. Only one reference reported on all 3 types of PTA(27).

The diameter of ablated tumors ranged between 3 – 75 mm.

Twenty-five out of twenty-eight references were feasibility studies (89.29%), and 22/28 (78.57%) were predictive studies. Only three studies investigated survival (28–30).

After studies were evaluated using the NOS, they were reclassified using Agency for Healthcare Research and Quality designations as described in Appendix 3 : 19/28 were considered as good, 1/28 was considered as fair and 5/28 were considered as poor. This scale was not applicable for 3/28 studies because they were not cohort studies.

Table 1 Published studies

References	Study design	N patients/lesions	HCC/CRMLs/ Other lesions	Alation	Tumor size (mm) Mean +/- SD (range)	Follow-up (median months)	Outcomes	NOS
Sandu R.M. et al, 2021[46]	R	NR/65	CRMLs	MWA	NR NR	NA	F	NA
An C. et al, 2020[32]	R	141/141	HCC	MWA	23 ± 9 NR	28.9	F/P/C	7
Laimer G. et al, 2020[10]	R	110/176	HCC	RFA*	25.2 ± 14.9 NR	26.0 ± 10.3	F/P	8
Laimer G. et al, 2020[31]	R	45/76	CRMLs	RFA*	24.3 (3 - 75)	36.1 ± 18.5	F/P	8
An C. et al, 2019[28]	R	68/68	HCC	MWA	27.8±7.2 (8 - 47)	21 (3 - 44)	F/P/O	8
Chen C. et al, 2019[33]	R	35/47	H/C/O (n = 5/19/23)	CRYO	27.0 ± 15.1 NR	≥ 6	F/P	6
Hendriks P. et al, 2019[34]	R	18/18	HCC	RFA	20 (12 - 45)	9.5	F/P/C	7
Kaye E.A. et al, 2019[36]	R	72/93	CRMLs	RFA	NR**** (6 - 55)	NR	F/C/P	7
Sibinga Mulder B.G. et al, 2019[40]	R	29/29	CRMLs	RFA	22 (8 - 42)	44.7 ± 20.5	F/P	7
Solbiati M. et al, 2019[16]	R	50/90	HCC	MWA	27 ± 20 (NR)	≥ 12	F/P	5
Jiang C. et al, 2018[35]	R	134/159	HCC	RFA	20 ± 9 (10 - 49)	26 (2 - 69)	F/P	8
Solbiati M. et al, 2018[47]	R	38/38	H/C n = 28/10	MWA	NR (7 - 33)	NA	F	NA
Takeyama N. et al, 2018[41]	R	31/61	HCC	RFA	11.2 ± 4.4 (5 - 24)	37.9 ± 12.4 (12 - 67)	F/P/C	9
Vandenbroucke F. et al, 2018 [43]	R	20/45	C/O ***	RFA	18.6 (6-41)	110 weeks (26 - 232 weeks)	P	7
Yoon J.H. et al, 2018[26]	P	68/88	HCC	RFA	16 ± 6 (6 - 32)	48 (0.9 - 72.6)	C/I/P	8
Hocquelet A. et al, 2017[30]	R	16/16	HCC	RFA	NR (18 - 27)	2.2 years (1.76 – 2.63 years)	F/P/O	7
Park J. et al, 2017[38]	R	178/178	HCC	RFA	17.3 ± 6.1 (5 - 40)	≥ 12	F/P	8
Tani S. et al, 2016[27]	R	19/21	H/C/O n = 3/9/9	MWA/RFA CRYO	20 (9 - 41)	NR	F/P	6
Makino Y. et al, 2015[37]	R	67/92	HCC	RFA	12.9 (4.8 - 41.4)	NR	F	8
Tang H. et al, 2015[29]	R	75/75	HCC	RFA	24.0 ± 7 (8 - 41)	NR	F/O	7
Wang X.L et al, 2015[44]	R	52/62	HCC	RFA	20 ± 10 (10 - 31)	14.2 ± 5.4 (1 - 23)	F/P/C	7
Sakakibara M. et al., 2014 [39]	R	84/134	HCC	RFA	13.8 ± 4.6 NR	NR	F/P/C	8
Shin S. et al, 2014[11]	P	150**/150	HCC	RFA	19.5 ± 7.9** NR	29.21 ± 10.84 (0 - 42)	F/P/C/I	6
Makino Y. et al, 2013[13]	R	85/94	HCC	RFA	14.0 ± 5.2 NR	21.0 (2 - 75)	P/C	8
Passera K. et al, 2013[45]	R	10/10	H/NR n = 5/5	RFA	NR (10 - 40)	NA	F	NA
Tomonari A. et al, 2012[42]	R	12/13	HCC	RFA	14.5 ± 4.8 (8 - 23)	15.2 (3 – 27)	F/C/P	5
Kim K.W. et al, 2011[24]	R	31/38	HCC	RFA	19 (10 - 35)	NR	F/C	8
Kim Y.S. et al, 2010[12]	R	103/110	HCC	RFA	27 ± 6 (21 – 48)	28.1 (12.9 - 46.6)	F/P/C	8

R : retrospective study, H : HCC, C : CMLs, O : other lesions, NR : Not Reported, NA : Not Applicable, CRYO : Cryoablation

F : Feasibility, C : Comparative, I : Clinical Impact, P : Predictive, O : Overall Survival

*Stereotactic; **Values for study group. For control group : n = 90 and mean tumor size : 21 ± 6.6 mm ; *** 16 patients with CRMLs and 4 for patients with other lesions; **** Median : 18 mm

Technical Features

Two types of articles were identified : those trying dedicated software (n=23) (10–13,16,24,26,28,29,31–44) and those proposing a new method on their own with the help of available algorithm (n=5) (27,30,45–47).

Technical features were reported in Table 2. The ablative margins were automatically obtained in four softwares (11,16,24,26,31,32,36,38,44), (Ablation-fit, HepaCare Siemens Healthcare, MIM MAESTRO, MyLab Twice). Otherwise, the authors themselves had to visually locate and manually measure the smallest ablation margin.

Most studies investigated margins by fusion of CT or MRI images. One study used contrast-enhanced PET-CT scan (43) and only one studied pre-operative CT with post-operative CE-CBCT registration (47).

Software time for use was often reported, but very inhomogeneously. Most of the time, the full usage time was not quoted, or only the segmentation time or the coregistration time was available, or it was not clear what precisely this time referred to. The total usage times ranged between 5 – 30 min (or more) when it was indicated.

Only 5 studies reported inter-operator reproducibility (30,34,40,41,47). When it was studied, it was quite high overall (κ range : 0.686 – 1).

Target Registration Errors (TRE) was available in 7/28 studies (13,24,27,28,30,32,37). Mean TRE was 1.62 mm, ranging between 1.20 – 2.23 mm.

An example of use of one of this software is available on Appendix 4.

Table 2 Characteristics

References	Software	Rigid / Non Rigid	Margin Endpoint	Pre- / Post-Ablation Modality	Interval Between Ablation and Control	Time For Use	Inter-operator Reproductibility	Target Registration errors (mm)
Laimer G. et al, 2020[31]	**Ablation-fit ; R.A.W. Srl**	Non-R	A	CT / CT	Day 0	5-20 min	NR	NR
Solbiati M. et al, 2019[16]				CT / CT	Day 0	Registration : <3 min	NR	NR
Sakakibara M. et al., 2014 [39]	**AquariusNET Viewer, version 4.4.6.50, TeraRecon**	R	NR	CT or MRI / CT or MRI	≤ Day 3	To create 3D registration : ≈ 10 min	NR	NR
Yoon J.H. et al, 2018[26]	**HepaCare, Siemens Healthcare**	Non-R	A	MR / CT	Day 0	NR	NR	NR
Park J. et al, 2017[38]				MR / CT	Day 0	Registration :35.32 ± 15.39 s Interpretation. :150.00 ± 16.91s	NR	NR
Shin S. et al, 2014[11]				CT / CT	Day 0	Registration and transfer : 5 min	NR	NR
Kim K.W. et al, 2011[24]				CT / CT	Day 0	Processing time : 123.3 ± 16.8 s Interpretation : 66.1 ± 34.9 s to 149.3 ± 40.7 s *		1.3 ± 1.1 (0 – 8.4)
Chen C. et al, 2019[33]	**Integrated Registration, GE Healthcare**	R	M	MR / CT	Day 0	14.57±1.64 min Range: 10.08-16.52 min	NR	NR
Vandenbroucke F. et al, 2018 [43]				PET-CT / PET-CT**	Day 0	Variable >30 min in some cases	NR	NR
Makino Y. et al, 2015[37]				CT / CT MRI/ MRI	≤ 7 days ≤ 1 month	CT fusion imaging : ≤ 15 min MRI fusion imaging : ≤ 20 min	NR	1.5 (0.27 – 2.92) 1.2 (0.26 – 3.0)
Makino Y. et al, 2013[13]				CT / CT	≤ 7 days	<15 min	NR	1.5 ± 0.68
Tomonari A., et al 2012[42]				CT / CT	1 week after	NR	NR	NR
Kaye E.A. et al, 2019[36]	**MIM MAESTRO® (MIM software, Inc.)**	R	A	CT / CT	1 - 2 months	4.26 ± 1.5 min	NR	NR
Hendriks P. et al, 2019[34]	**Mirada RTx software**	Non-R	M	CT / CT	Day 0	NR	Coregistration : κ = 0.88(SE: 0.12 ; p < 0.01) Quantitative assessment of MAM : κ = 0.88 (SE: 0.12 ; p < 0.01) Qualitative categorical assessment of MAM***: κ = 0.24 (SE of 0.28; p = 0.16)	NR
Sibinga Mulder B.G. et al, 2019 [40]				CT / CT	Day 0	NR	Agreement for completeness of the ablation : κ = 1.0 (p < 0.001) Agreement for measurement of the MAM : κ = 0.723 (p < 0.001)	NR
An C. et al, 2019[28]	**MITK**	Non-R	NR	MRI / MRI	≤ 1 week	Segmentation ≈ 2 min Registration : Median : 121.3 sec	NR	1.7±0.3

An C. et al, 2020[32]	**MyLab Twice, Esoate**	Non-R	A	MRI / MRI	≤ 3 months	Median registration time : 183.5 s	NR	1.6 ± 0.8
Wang X.L et al, 2015[44]				MRI / MRI	1 month	Creation of image fusion : 15.5 ± 5.5 min (8 - 22 min) Time for AM evalation : 9.6 ± 3.2 min (6 - 14 min)	NR	NR
Jiang C. et al, 2018[35]	**Myrian; Intrasense**	Non-R	M	CT / CT	1 month	≈ 30 min	NR	NR
Tang H. et al, 2015[29]				CT / CT	1 month	≈ 30 min	NR	NR
Laimer G. et al, 2020[10]	**Syngo.via VB20A, Siemens Healthineers**	R	M	CT / CT	Day 0	> 15 min	NR	NR
Kim Y.S. et al, 2010[12]	CT workstation : **Virtual Place Advance Plus version 2.03, Aze Corporation**	R	M	CT / CT	Day 0	NR	NR	NR
Takeyama N. et al, 2018[4]	**Volume Analyzer Synapse VINCENT, version 5.1, Fujifilm Medical Systems**	R	M	MRI / MRI	≤ Day 3	To create registration image : 10 - 15 min	Agreement level for registration error : κ = 0.686 Agreement level for the AM grading on fusion imaging : κ = 0.693	NR
Tani S. et al, 2016[27]	Registration, fusion and volumetric approach : **3D Slicer version 4** 3D distance map : **ITK**	Non-R	NR	MRI / MRI	≤ Day 3	Manual tasks : 10 - 15 min Computation : 15 min	NR	2.23 ± 0.95
Hocquelet A. et al, 2017[30]	Segmentation : **ITK-SNAP freeware** **Area insufficient margins :** *proposed a full technique*	NR	NA	MRI / MRI	1 month	Registration : < 7 min Segmentation < 1 min	Mean DSC values on pre- and post-ablation scans between 2 repeated segmentations : 0.98±0.03 and 0.96±0.03	2 ± 0.9
Solbiati M. et al, 2018[47]	Registration : **ITK libraries and Elastix toolbox**	Non-R	NA	CT / CE-CBCT	Intra-procedural	Landmark selection and coregistration : 30 to 120s	Extremely high concordance between both radiologists	NR
Sandu R.M. et al, 2021[46]	*Introduced a method* ********	Non-R	NA	CT / CT	Day 0	Segmentation : 5-30 min Computation AM : 30 sec	NR	NR
Passera K. et al, 2013[45]	Segmentation : **MevisLab** *Described a method for AM*	Non-R	NA	CT / CT	Day 15 - 20	Segmentation : 10 min Registration : 40 min	NR	NR

A : automatic, M : manually, MAM : minimal ablative margin, R : rigid registration, Non-R : Non-rigid registration, CE-CBCT : contrast enhanced Cone Beam CT, DSC : DICE similarity coefficient between the region-of-interest encompassing the liver in the registered volume and its counterpart in the reference frame.

* Depends on the reader; ** Contrast-enhanced PET-CT scan; *** Categorical margin assessment : negative, 0 to 5 mm, or ≥ 5 mm; **** Article found in AblaSure software publications

Co-Registration Quality

For included patients, the success rate in coregistration was available in only 12 studies (Appendix 5). Except in 2 studies (37,40), this rate was greater than 80%. Exclusion criteria that could have an influence on the success rate of co-registration and that could be a limiting factor for the use of the different software were identified and collected in appendix 5. The most common exclusion criteria were fully technical : "technical failure", "failed image fusion data", "data image format incompatible with registration", "image alignement deviation too large to meet the actual situation", "coregistration quality of pre- and post-ablation scans insufficient"(12,29,32,34,36,38,40,43) . Ascites (artificial or not) was an important exclusion criteria (11,24,38) or a factor of error of co-registration process (38,41,44,45). Liver deformation or different position (12,37,39–41,44) and undetectable tumor in pre-ablation CT scans (37,39) were also limiting factors.

Visual Assessment vs Quantitative assessment

Ablation Margin

In studies comparing visual and software-aided assessment (12,13,26,32,34,38,39,41,44), visual assessment tended to overestimate ablative margin, i.e. margins were too often considered sufficient when they were not. For *Kim Y.S et al* (12), using side-by-side comparison, 34.5% (38/110) tumor were considered with at least 5-mm AM vs 2.7% (3/110) with quantitative analysis ($p < 0.0001$).

For *Tomonari A. et al* (42), in 13 lesions considered with sufficient AM using qualitative assessment, 0/13 had sufficient AM with fused images.

Comparing impact of registration on experienced (5 years) and inexperienced reader (radiology fellow), *Park J. et al* (38) showed that quantitative assessment permitted to reassigned patients from incomplete or borderline on visual assessment to sufficient, particularly for inexperienced reader (18 patients from incomplete and 23 from borderline).

According to *Yoon J.H. et al*, tumors located above the hilum showed a higher incidence of discordance (23.8% [10/42] vs. 6.5% [3/46], $p = 0.047$) between visual assessment and software-assisted inspection.

Clinical Impact

Yoon J.H. et al (26) observed a significantly lower cumulative incidence of LTP for sufficient AM than those with insufficient AM (24.6% (14/57) vs 66.7% p=0.004) with software-assisted evaluation, whereas there were no significant difference in cumulative LTP between sufficient and insufficient AM (p=0.79) on visual assessment.

In their prospective study, *Shin S. et al* (11) demonstrated that an addition of registered CT images increased the proportion of patients requiring additional RFA from 8% (12/150) to 23.33% (35/150).

Local Tumor Progression

For 10/28 studies(10,12,13,16,31,34,35,39–41), ablation margin was the only risk factor of LTP. Information was not avalaible for 13 studies. For 5/28, AM was associated with an other risk factor (pre-neutrophil-lymphocyte ratio(29), maximal tumor diameter(28), older age(32), treatment refractory tumors(26), pre-procedural tumor volume and the largest diameter(27)). Cumulative incidence rates of LTP was significantly associated with an adequate ablative margin in 11 studies (13,26,28–30,32,33,35,38,39,41). Margin thresholds were quite inhomogeneous among studies or softwares: > 0 mm (13,34,36,39–41); 1 mm (27); 2 mm (11,38,43); 3 mm (10,12,26); 5 mm (16,28,29,31–33,35,42,44) or a volume (30).

Shin S. et al (11) conduced a prospective study in which they achieved an additional-RFA, when it was possible, when incomplete ablation according to registered images (named : study group) was shown. When an incomplete ablation was considered by visual assessment, margin assessment with adding registered images found the same result. In study group, 16/150 patients (10.67%) showed LTP versus 21/90 in control group (23.33%), with a significative difference (p = 0.0101).

When it was analysed, LTP occurred in the location where residual non-ablated tumor or where the thinnest AM was identified (11). For HCCs with incomplete tumor treatment (17/90) and which presented LTP during follow-up (13/17), *Solbiati et al* (16) found that 100% LTP occurred in the exact location where residual non-ablated tumor was identified by Ablation-fit. For *Tomonari A. et al* (42), 13/13 LTP of HCCs occurred at the location of the thinnest margin found with registration (Integrated Registration). *Wang X.L. et al* (44) had 4/4 LTP of HCCs that occurred in the area in which the 5 mm AM was not achieved, 3/5 for *Tani S. et al* (thinnest margin of 0 mm) (27), 25/30 (83.3%) for *Kim Y.S. et al* (12), 19/22 (86.4%) for *Sakakibara M. et al* (39).

For *Kaye E.A et al* (36), in 39/50 (78%) ablations that had LTP, 3D Volume Insufficient Coverage assessment metrics were spatially well co-localized with the area signifying LTP.

Survival

Only 3/28 studies have investigated impact of AM on survival (28–30), only related on HCCs. Samples size ranged between 16 – 75 patients. Two out of three showed a significant difference in Overall Survival (29,30) according to the PTA margin. *Tang H. et al* (29) found a significant difference in 1-, 3- and 5-years OS rates between Group with AM≥ 5 mm and Group with 0<AM<5mm at 94.3%, 73.8%, 64.6%, and 86.2%, 60.5%, 47.6%, respectively (p = 0.046). They also found a significant difference in recurrence free-survival rate between these two groups, at 50.6% and 35.6% in 5 years, respectively (p = 0.042).

Prospectively, *Shin S. et al* (11) found a significant difference in 42-month disease free-survival rates between study group (AM≥5mm with software) at 52.67% and control group (AM≥5mm with visual assessment) at 28.89% (p=0.0027).

DISCUSSION

This systematic review identified clinical studies aiming to improve our practices through a software-based quantitative evaluation of ablative margins. In all studies, feasibility of software-based assessment as claimed by the authors, nevertheless, 62 – 100% of registration success rate were reported in the articles.

A considerable number of lesions were excluded from the study due to ascites(11,24,38), technical failure(29,34,36,38,40,43), incompatible image format(36), liver deformation or different position(10,34,37,40,41,44). Sometimes, artificial ascites is used during thermoablation to protect adjacent structures. Software have to take this into account.

In 10/28 studies(10,12,13,16,31,34,35,39–41), the only risk factor for local recurrence was minimal ablative margin. The assessment of incomplete PTA (with residual tumor) or ablative margin was more reliable with the help of software than by visual conventional method. Studies(12,13,26,32,34,38,39,41,44) comparing visual and quantitative assessment have shown an overestimation of margin with side-by-side assessment, reclassifying some ablation margins as inadequate, when they were previously considered satisfactory.

In a prospective study, *Shin S. et al.* (11) found a significative difference ($p = 0.0101$) in term of LTP between study group (ablative margin assessment by using software HepaCare) and control group (only visual assessment), i.e. 10.67% and 23.33%, respectively. They also compared the 42-month disease free-survival rates, and found a significative difference between study and control groups, i.e. 52.67% and 28.89%, respectively ($p = 0.0027$). These results suggest that a sufficient ablative margin might be a predictive factor of patient's oncological outcome. Interestingly, it has been shown in many studies that LTP preferentially occurs at the location of the thinnest ablation margin (13,16,27,34,36,39,42,44).

In our systematic review, 11/28 studies used post-PTA images taken more than 3 days or even 1 month after. However, the volume of the ablation zone decreases rapidly a few weeks after PTA, depending on the technique (48,49). It should be noted that with electroporation, the ablation zone decreases much faster than with RFA or MWA or even disappears completely(50). These data underline that post-PTA evaluation should be performed as early as possible with regard to PTA, in order to precisely evaluate ablation margins. Otherwise, there is a risk of underestimation. The ideal approach is certainly to perform post-PTA evaluation after

completion of PTA, to allow re-ablation in case of incomplete treatment or insufficient margin. However, intra-procedural analysis of the ablation margin basically implies performing PTA in CT rooms, even when they are performed under US guidance. Angio-CT systems incorporating three imaging modalities (US, CT, angiography) on-board have recently gained increased interest (51) worldwide and might improve even more the work-flow.

This systematic review highlight the considerable heterogeneity in the right threshold for ablation margin. The same debate has been observed in surgery for decades(52–55). Whatever the optimal threshold for ablation margins, whether we are really able to achieve this threshold in all cases, through re-ablation during or after the initial procedure, remains questionable. In the prospective study of *Yoon J.H. et al* (26), for 22 patients with insufficient ablative margin estimated in at least one inspection (using HepaCare or in visual inspection), only 5 of them have benefited from a second-look RFA and 1 have benefited of transarterial chemoembolization. Reasons why they cannot perform second-look RFA were as follow: nearby hepatic vessels, concerns of thoracic or cardiac injury, concerns of central bile duct injury, patients' intolerance to additional RFA or unstable vital signs for additional conscious sedation and concerns of gallbladder perforation. *Sakakibara M. et al.* (39) and *Shin S. et al* (11) warn of the risk of overzealous treatment, which can be deleterious for patients with a considerable increase in the risk of complications and impairment of liver function. Ideally, assessment of a truly achievable ablation margin based on anatomical criteria could be evaluated pre-operatively using registration software. Imaging and clinical follow-up could therefore be tailored depending on the situation (adequate margins achievable or not).

However, significant technical limitations were identified. The time of use was the main limiting factor (10,31). When information was avalaible, time taken to use the software and obtain margins could be as long as 20 minutes or more (10,27,29,31,35,37,43–46), which does not seem applicable in clinical practice. It is all the more so the case as the physician performing PTA works in sterile conditions, and it is highly desirable that physician-software interactions be optimized in a sterile environment, through easy and fast process to stick with routine practice as much as possible.

With rigid software, despite locoregional registration just around the tumor, regional thermal distortion may occur after RFA, sometimes confusing for the assessment of minimal AM (10,12,13,28).

Definition of corresponding anatomical landmarks on the different image datasets was a rather challenging method even for very experienced radiologists with the risk of many potential sources of error(10). Despite non-rigid registration, difference in position and shape of the liver remains a limit to the quality or even the possibility of co-registration (27,34,40).

When it was available, mean Target Registration Error was 1.62 mm (range : 1.20 – 2.23 mm). For *Kim K.W. et al* (24), mean TRE was 1.3 ± 1.1 mm but with a range between 0 to 8.4 mm. According to the Shannon Theorem, registration error of 1.5 mm can be significant for an expected margin of 3 mm or lower. *Archip N. et al* (23) showed that error registration was significantly lower in non-rigid registration than in rigid registration. Nevertheless, in our systematic review, target registration errors did not really differ between rigid(13,37) and non-rigid(24,27,28,32) registrations. This might be mitigated by the fact that only one software (Integrated Registration, GE Healthcare) with rigid registration was evaluated.

Therefore, non-rigid registration might be acceptable to determine whether ablation margin is >3-5 mm as it is faster than rigid registration and reliable enough to provide such binary (ie. adequate vs. inadequate) evaluation.

The problem of subcapsular tumors is also a limitation of the assessment of ablation margins by co-registration. *Sandu R.M. et al* (46) assume that ablation margins may appear erroneously small in quantitative measurements due to inherent impossibility of obtaining adequate margins in subcapsular tumors. Therefore, they proposed an algorithm for accurate measurement.

Several limitations should be noted in the studies of this systematic review. First, none of them were multi-center and only two were prospective studies. Therefore, the level of evidence is low with a lack of external validity. The ideal way to evaluate the benefit of assessing ablative margins using a software would be a prospective multi-center study demonstrating a change in patient management that could translate into improved oncological outcome. A phase II, randomized two-arms trial COVER-ALL conducted by *Odisio et al* (56) with the primary outcome to evaluate if the intraprocedural feedback of non-rigid registration volumetric method during PTA will increase the minimal ablation margins on a 3D CT-generated analysis (Morfeus software). This trial is ongoing. Another phase II trial, ACCLAIM trial, a multi-center and prospective study is also currently planned by *Sofocleous*, as he commented in a newspaper (17) : “ thermal ablation will be offered in patients with limited number and relatively small CRLMs. A mandatory requirement for enrolment in the trial is the use of real-time 3D software to assess the ablation zone and show that the target tumor has been completely covered with ideally 10mm and not less than 5mm of

minimal ablation margins. The study hypothesis is that if ablation margins are larger than 5mm, local progression-free survival at 12 months after ablation will be over 85%."

Second, data from the different studies were difficult to homogenize due to a lack of standardization. Some data were not systematically reported (TRE available in only 7 studies, inter-operator reproducibility in 5 studies and time for use in 23 studies) or reported with various outcomes (cumulative incidence of LTP vs LTP rate, variability of reported time of use, different definitions of ablation margins or complete ablation with different scores).

A major limit of our systematic review is the Newcastle Ottawa-Scale. This scale is famous to judge the quality of observational study, fast to use but also criticized. *Hartling L. et al* (57) evaluated the inter-rater reliability and validity of the NOS. Reliability for overall score was fair ($\kappa = 0.29$, 95% CI = 0.10, 0.47). They recommended a revision of this scale and the provision of a more detailed guide to the different items. In our experiment, we were sometimes confronted with a difficult choice of scoring items due to a lack of clarity of the items.

Therefore, our review focused on methods and software to assess ablation margins after PTA treatment. In order to make PTA treatment more efficient, other approaches are under investigation.

ClinicIMPPACT (Clinical intervention modelling, planning and proof for ablation cancer treatment) is a multi-center prospective non randomized conducted by *Reinhardt M. et al* (58), evaluating the accuracy and efficiency of a planning and simulation software. They postuled that "accelerated and optimized workflow integration, and real-time intraoperative image processing, as well as inclusion of patient specific information, e.g. organ perfusion and registration of the real RFA needle position might make the introduced software a powerful tool for interventional radiologists to optimize patient outcomes". The next step could be Virtual Navigation for both planning and controlling the ablation zone using real-time fusion with US or CEUS (59).

One of the likely ways forward is Augmented Reality (AR)(60–62). Margin quantification software could be integrated into such AR devices. The learning curve and inter-operator performance variability might be lowered, even though the main limitation we can expect would be needle bending during insertion and control during breathing.

Finally, CT-guided robotic assistance for percutaneous needle placement in the liver (63) associated with an ablation margin evaluation software could help extending the ablation area through complex and optimised paths whenever necessary.

CONCLUSION AND PERSPECTIVES

Thermoablation of liver lesions has a growing field of indication and will continue to expand.

In most studies, ablation margin is the only significant risk factor for LTP. The therapeutic impact of margin assessment software should therefore be of major importance. The ideal ablation-confirmation software would imply a fast and easy to use workflow, as automatic as possible, with high precision. This review underlines that this ideal software does not exist so far.

Available studies on ablation-confirmation softwares present a low level of evidence overall, due to the fact that most of them are feasibility studies, retrospective and single-centre.

We look forward to the results of the ACCLAIM and COVER-ALL trials, which in the future could significantly improve our practice, and ultimately patient's outcome.

Bibliographie

1. Cancer today [Internet]. [cité 15 avr 2021]. Disponible sur: http://gco.iarc.fr/today/home

2. Galle PR. EASL Clinical Practice Guidelines: Management of hepatocellular carcinoma. Journal of Hepatology. 2018;69:55.

3. Horn SR, Stoltzfus KC, Lehrer EJ, Dawson LA, Tchelebi L, Gusani NJ, et al. Epidemiology of liver metastases. Cancer Epidemiology. août 2020;67:101760.

4. Filippiadis DK, Velonakis G, Kelekis A, Sofocleous CT. The Role of Percutaneous Ablation in the Management of Colorectal Cancer Liver Metastatic Disease. Diagnostics (Basel). 14 févr 2021;11(2).

5. Crocetti L, Baére T de, Pereira PL, Tarantino FP. CIRSE Standards of Practice on Thermal Ablation of Liver Tumours. Cardiovasc Intervent Radiol. 1 juill 2020;43(7):951-62.

6. Cutsem EV, Cervantes A, Adam R, Sobrero A, Krieken JHV, Aderka D, et al. ESMO consensus guidelines for the management of patients with metastatic colorectal cancer. Annals of Oncology. 1 août 2016;27(8):1386-422.

7. Wang X, Sofocleous CT, Erinjeri JP, Petre EN, Gonen M, Do KG, et al. Margin size is an independent predictor of local tumor progression after ablation of colon cancer liver metastases. Cardiovasc Intervent Radiol. févr 2013;36(1):166-75.

8. Wang C-Z, Yan G-X, Xin H, Liu Z-Y. Oncological outcomes and predictors of radiofrequency ablation of colorectal cancer liver metastases. World J Gastrointest Oncol. 15 sept 2020;12(9):1044-55.

9. Zytoon AA, Ishii H, Murakami K, El-Kholy MR, Furuse J, El-Dorry A, et al. Recurrence-free Survival after Radiofrequency Ablation of Hepatocellular Carcinoma. A Registry Report of the Impact of Risk Factors on Outcome. Jpn J Clin Oncol. 1 sept 2007;37(9):658-72.

10. Laimer G, Schullian P, Jaschke N, Putzer D, Eberle G, Alzaga A, et al. Minimal ablative margin (MAM) assessment with image fusion: an independent predictor for local tumor progression in hepatocellular carcinoma after stereotactic radiofrequency ablation. Eur Radiol. mai 2020;30(5):2463-72.

11. Shin S, Lee JM, Kim KW, Joo I, Han JK, Choi BI, et al. Postablation assessment using follow-up registration of CT images before and after radiofrequency ablation (RFA): prospective

evaluation of midterm therapeutic results of RFA for hepatocellular carcinoma. AJR Am J Roentgenol. juill 2014;203(1):70-7.

12. Kim Y, Lee WJ, Rhim H, Lim HK, Choi D, Lee JY. The Minimal Ablative Margin of Radiofrequency Ablation of Hepatocellular Carcinoma (> 2 and < 5 cm) Needed to Prevent Local Tumor Progression: 3D Quantitative Assessment Using CT Image Fusion. American Journal of Roentgenology. 1 sept 2010;195(3):758-65.

13. Makino Y, Imai Y, Igura T, Hori M, Fukuda K, Sawai Y, et al. Utility of computed tomography fusion imaging for the evaluation of the ablative margin of radiofrequency ablation for hepatocellular carcinoma and the correlation to local tumor progression. Hepatol Res. sept 2013;43(9):950-8.

14. Sotirchos VS, Petrovic LM, Gönen M, Klimstra DS, Do RKG, Petre EN, et al. Colorectal Cancer Liver Metastases: Biopsy of the Ablation Zone and Margins Can Be Used to Predict Oncologic Outcome. Radiology. sept 2016;280(3):949-59.

15. Laimer G, Schullian P, Putzer D, Eberle G, Goldberg SN, Bale R. Can accurate evaluation of the treatment success after radiofrequency ablation of liver tumors be achieved by visual inspection alone? Results of a blinded assessment with 38 interventional oncologists. Int J Hyperthermia. 30 nov 2020;37(1):1362-7.

16. Solbiati M, Muglia R, Goldberg SN, Ierace T, Rotilio A, Passera KM, et al. A novel software platform for volumetric assessment of ablation completeness. Int J Hyperthermia. 2019;36(1):337-43.

17. Ablation 2.0: Improved precision as interventionalists approach A0 [Internet]. [cité 18 avr 2021]. Disponible sur: https://interventionalnews.com/ablation-new-era-improved-precision/

18. Cassinotto C, Nogue E, Morell M, Panaro F, Molinari N, Guiu B. Changing trends in hepatocellular carcinoma management: Results from a nationwide database in the last decade. Eur J Cancer. mars 2021;146:48-55.

19. Ahmed M, Solbiati L, Brace CL, Breen DJ, Callstrom MR, Charboneau JW, et al. Image-guided Tumor Ablation: Standardization of Terminology and Reporting Criteria—A 10-Year Update. Radiology. oct 2014;273(1):241-60.

20. Goldberg SN, Grassi CJ, Cardella JF, Charboneau JW, Dodd GD, Dupuy DE, et al. Image-guided Tumor Ablation: Standardization of Terminology and Reporting Criteria. Journal of Vascular and Interventional Radiology. 1 juill 2009;20(7, Supplement):S377-90.

21. Penny WD, Friston KJ, Ashburner JT, Kiebel SJ, Nichols TE. Statistical Parametric Mapping: The Analysis of Functional Brain Images. Elsevier; 2011. 689 p.

22. Fujioka C, Horiguchi J, Ishifuro M, Kakizawa H, Kiguchi M, Matsuura N, et al. A Feasibility Study: Evaluation of Radiofrequency Ablation Therapy to Hepatocellular Carcinoma Using Image Registration of Preoperative and Postoperative CT. Academic Radiology. 1 août 2006;13(8):986-94.

23. Archip N, Tatli S, Morrison P, Jolesz F, Warfield SK, Silverman S. Non-rigid registration of pre-procedural MR images with intra-procedural unenhanced CT images for improved targeting of tumors during liver radiofrequency ablations. Med Image Comput Comput Assist Interv. 2007;10(Pt 2):969-77.

24. Kim KW, Lee JM, Klotz E, Kim SJ, Kim SH, Kim JY, et al. Safety margin assessment after radiofrequency ablation of the liver using registration of preprocedure and postprocedure CT images. AJR Am J Roentgenol. mai 2011;196(5):W565-572.

25. Ottawa Hospital Research Institute [Internet]. [cité 25 avr 2021]. Disponible sur: http://www.ohri.ca/programs/clinical_epidemiology/oxford.asp

26. Yoon JH, Lee JM, Klotz E, Woo H, Yu MH, Joo I, et al. Prediction of Local Tumor Progression after Radiofrequency Ablation (RFA) of Hepatocellular Carcinoma by Assessment of Ablative Margin Using Pre-RFA MRI and Post-RFA CT Registration. Korean Journal of Radiology. 1 déc 2018;19(6):1053-65.

27. Tani S, Tatli S, Hata N, Garcia-Rojas X, Olubiyi OI, Silverman SG, et al. Three-dimensional quantitative assessment of ablation margins based on registration of pre- and post-procedural MRI and distance map. Int J Comput Assist Radiol Surg. juin 2016;11(6):1133-42.

28. An C, Li X, Liang P, Yu J, Cheng Z, Han Z, et al. A tumor map generated from three-dimensional visualization of image fusion for the assessment of microwave ablation of hepatocellular carcinoma: a preliminary study. Cancer Manag Res. 2019;11:1569-78.

29. Tang Hui, Tang Yunqiang, Hong Jian, Chen Tiejun, Mai Cong, Jiang Peng. A measure to assess the ablative margin using 3D-CT image fusion after radiofrequency ablation of hepatocellular carcinoma. HPB. 1 avr 2015;17(4):318-25.

30. Hocquelet A, Trillaud H, Frulio N, Papadopoulos P, Balageas P, Salut C, et al. Three-Dimensional Measurement of Hepatocellular Carcinoma Ablation Zones and Margins for Predicting Local Tumor Progression. J Vasc Interv Radiol. juill 2016;27(7):1038-1045.e2.

31. Laimer G, Jaschke N, Schullian P, Putzer D, Eberle G, Solbiati M, et al. Volumetric assessment of the periablational safety margin after thermal ablation of colorectal liver metastases. Eur Radiol. 14 janv 2021;

32. An C, Jiang Y, Huang Z, Gu Y, Zhang T, Ma L, et al. Assessment of Ablative Margin After Microwave Ablation for Hepatocellular Carcinoma Using Deep Learning-Based Deformable Image Registration. Front Oncol. 2020;10:573316.

33. Chen C, Xu LC, Wang Y, Wang YH, Li GD, Huang HZ, et al. Assessment of the cryoablation margin using MRI–CT fusion imaging in hepatic malignancies. Clinical Radiology. 1 août 2019;74(8):652.e21-652.e28.

34. Hendriks P, Noortman WA, Baetens TR, van Erkel AR, van Rijswijk CSP, van der Meer RW, et al. Quantitative Volumetric Assessment of Ablative Margins in Hepatocellular Carcinoma: Predicting Local Tumor Progression Using Nonrigid Registration Software. J Oncol. 2019;2019:4049287.

35. Jiang C, Liu B, Chen S, Peng Z, Xie X, Kuang M. Safety margin after radiofrequency ablation of hepatocellular carcinoma: precise assessment with a three-dimensional reconstruction technique using CT imaging. Int J Hyperthermia. déc 2018;34(8):1135-41.

36. Kaye EA, Cornelis FH, Petre EN, Tyagi N, Shady W, Shi W, et al. Volumetric 3D assessment of ablation zones after thermal ablation of colorectal liver metastases to improve prediction of local tumor progression. Eur Radiol. mai 2019;29(5):2698-705.

37. Makino Y, Imai Y, Igura T, Hori M, Fukuda K, Sawai Y, et al. Comparative evaluation of three-dimensional Gd-EOB-DTPA-enhanced MR fusion imaging with CT fusion imaging in the assessment of treatment effect of radiofrequency ablation of hepatocellular carcinoma. Abdom Imaging. janv 2015;40(1):102-11.

38. Park J, Lee JM, Lee DH, Joo I, Yoon JH, Park JY, et al. Value of Nonrigid Registration of Pre-Procedure MR with Post-Procedure CT After Radiofrequency Ablation for Hepatocellular Carcinoma. Cardiovasc Intervent Radiol. juin 2017;40(6):873-83.

39. Sakakibara M, Ohkawa K, Katayama K, Imanaka K, Ishihara A, Hasegawa N, et al. Three-Dimensional Registration of Images Obtained Before and After Radiofrequency Ablation of Hepatocellular Carcinoma to Assess Treatment Adequacy. American Journal of Roentgenology. 23 avr 2014;202(5):W487-95.

40. Sibinga Mulder BG, Hendriks P, Baetens TR, van Erkel AR, van Rijswijk CSP, van der Meer RW, et al. Quantitative margin assessment of radiofrequency ablation of a solitary colorectal hepatic metastasis using MIRADA RTx on CT scans: a feasibility study. BMC Med Imaging. 20 août 2019;19(1):71.

41. Takeyama N, Mizobuchi N, Sakaki M, Shimozuma Y, Munechika J, Kajiwara A, et al. Evaluation of hepatocellular carcinoma ablative margins using fused pre- and post-ablation hepatobiliary phase images. Abdom Radiol (NY). mars 2019;44(3):923-35.

42. Tomonari A, Tsuji K, Yamazaki H, Aoki H, Kang J-H, Kodama Y, et al. Feasibility of fused imaging for the evaluation of radiofrequency ablative margin for hepatocellular carcinoma. Hepatology Research. 2013;43(7):728-34.

43. Vandenbroucke F, Vandemeulebroucke J, Buls N, Thoeni RF, de Mey J. Can tumor coverage evaluated 24 h post-radiofrequency ablation predict local tumor progression of liver metastases? Int J Comput Assist Radiol Surg. déc 2018;13(12):1981-9.

44. Wang X-L, Li K, Su Z-Z, Huang Z-P, Wang P, Zheng R-Q. Assessment of radiofrequency ablation margin by MRI-MRI image fusion in hepatocellular carcinoma. World J Gastroenterol. 7 mai 2015;21(17):5345-51.

45. Passera K, Selvaggi S, Scaramuzza D, Garbagnati F, Vergnaghi D, Mainardi L. Radiofrequency ablation of liver tumors: quantitative assessment of tumor coverage through CT image processing. BMC Med Imaging. 16 janv 2013;13:3.

46. Sandu R-M, Paolucci I, Ruiter SJS, Sznitman R, de Jong KP, Freedman J, et al. Volumetric Quantitative Ablation Margins for Assessment of Ablation Completeness in Thermal Ablation of Liver Tumors. Front Oncol. 10 mars 2021;11:623098.

47. Solbiati M, Passera KM, Goldberg SN, Rotilio A, Ierace T, Pedicini V, et al. A Novel CT to Cone-Beam CT Registration Method Enables Immediate Real-Time Intraprocedural Three-Dimensional Assessment of Ablative Treatments of Liver Malignancies. Cardiovasc Intervent Radiol. juill 2018;41(7):1049-57.

48. Cassinotto C, Denys A, Gay F, Duran R, Hocquelet A, Piron L, et al. Radiofrequency Ablation of Liver Tumors: No Difference in the Ablation Zone Volume Between Cirrhotic and Healthy Liver. Cardiovasc Intervent Radiol. 1 juin 2018;41(6):905-11.

49. Terraz S, Constantin C, Majno PE, Spahr L, Mentha G, Becker CD. Image-guided multipolar radiofrequency ablation of liver tumours: initial clinical results. Eur Radiol. 1 sept 2007;17(9):2253-61.

50. Li S, Zeng Q, Zhong R, Mao S, Shen L, Wu P. [Liver regeneration after radiofrequency ablation versus irreversible electroporation]. Zhonghua Yi Xue Za Zhi. 6 janv 2015;95(1):66-8.

51. Piron L, Le Roy J, Cassinotto C, Delicque J, Belgour A, Allimant C, et al. Radiation Exposure During Transarterial Chemoembolization: Angio-CT Versus Cone-Beam CT. Cardiovasc Intervent Radiol. 1 nov 2019;42(11):1609-18.

52. Jeng K-S, Jeng W-J, Sheen I-S, Lin C-C, Lin C-K. Is less than 5 mm as the narrowest surgical margin width in central resections of hepatocellular carcinoma justified? The American Journal of Surgery. 1 juill 2013;206(1):64-71.

53. Lee J-W, Lee Y-J, Park K-M, Hwang D-W, Lee JH, Song KB. Anatomical Resection But Not Surgical Margin Width Influence Survival Following Resection for HCC, A Propensity Score Analysis. World J Surg. 1 juin 2016;40(6):1429-39.

54. Chau G-Y, Lui W-Y, Tsay S-H, King K-L, Loong C-C, Chiu J-H, et al. Prognostic significance of surgical margin in hepatocellular carcinoma resection: An analysis of 165 Childs' A patients. Journal of Surgical Oncology. 1997;66(2):122-6.

55. Nitta H, Allard M-A, Sebagh M, Golse N, Ciacio O, Pittau G, et al. Ideal Surgical Margin to Prevent Early Recurrence After Hepatic Resection for Hepatocellular Carcinoma. World J Surg. avr 2021;45(4):1159-67.

56. NCT04083378. Software-Aided Imaging (Morfeus) for Confirming Tumor Coverage With Ablation in Patients With Liver Tumors, the COVER-ALL Study. https://clinicaltrials.gov/show/NCT04083378 [Internet]. 30 sept 2019 [cité 7 mars 2021]; Disponible sur: https://www-cochranelibrary-com.ezpum.biu-montpellier.fr/central/doi/10.1002/central/CN-01984156/full

57. Hartling L, Milne A, Hamm MP, Vandermeer B, Ansari M, Tsertsvadze A, et al. Testing the Newcastle Ottawa Scale showed low reliability between individual reviewers. J Clin Epidemiol. sept 2013;66(9):982-93.

58. Clinical evaluation of in silico planning and real-time simulation of hepatic radiofrequency ablation (ClinicIMPPACT Trial) | Cochrane Library [Internet]. [cité 7 mars 2021]. Disponible sur: https://www-cochranelibrary-com.ezpum.biu-montpellier.fr/central/doi/10.1002/central/CN-01986265/full

59. Calandri M, Mauri G, Yevich S, Gazzera C, Basile D, Gatti M, et al. Fusion Imaging and Virtual Navigation to Guide Percutaneous Thermal Ablation of Hepatocellular Carcinoma: A Review of the Literature. Cardiovasc Intervent Radiol. mai 2019;42(5):639-47.

60. Solbiati LA. Augmented Reality: Thrilling Future for Interventional Oncology? Cardiovasc Intervent Radiol. 11 mars 2021;s00270-021-02801-9.

61. Solbiati M, Passera KM, Rotilio A, Oliva F, Marre I, Goldberg SN, et al. Augmented reality for interventional oncology: proof-of-concept study of a novel high-end guidance system platform. Eur Radiol Exp. déc 2018;2:18.

62. Solbiati L, Gennaro N, Muglia R. Augmented Reality: From Video Games to Medical Clinical Practice. Cardiovasc Intervent Radiol. oct 2020;43(10):1427-9.

63. Guiu B, De Baère T, Noel G, Ronot M. Feasibility, safety and accuracy of a CT-guided robotic assistance for percutaneous needle placement in a swine liver model. Sci Rep. déc 2021;11(1):5218.

Annexes

Appendix 1.

KEY WORDS AND RESEARCH

PubMed :

(("Software"[Mesh:NoExp]) AND "Ablation Techniques"[Mesh]) AND "Liver Neoplasms"[Mesh]

(("Ablation Techniques"[Mesh]) AND "Liver Neoplasms"[Mesh]) AND "Image Processing, Computer-Assisted"[Mesh]

(("Imaging, Three-Dimensional"[Mesh]) AND "Liver Neoplasms"[Mesh]) AND "Ablation Techniques"[Mesh]

(volumetric assessment) AND (ablation)

((ablative margin) AND (liver)) AND (radiofrequency ablation)

(local tumor progression) AND (ablative margin)

Embase :

(ablative) AND (margin) AND (radiofrequency)

local AND tumor AND progression AND ablative AND margin

(ablative) AND (margin) Title, abstract author keywords AND liver all fields

Cochrane :

local tumor progression in Title Abstract Keyword AND ablative margin in Title Abstract Keyword - (Word variations have been searched)

"software" in Title Abstract Keyword AND "radiofrequency ablation" in Title Abstract Keyword AND liver in All Text

“software” in Title Abstract Keyword AND “ablation” in Title Abstract Keyword AND “liver” in All Text

Appendix 2.

NEWCASTLE-OTTAWA QUALITY ASSESSMENT SCALE FOR COHORT STUDIES

Selection

1) Representativeness of the exposed cohort
   a) truly representative of the average _____ (describe) in the community *
   b) somewhat representative of the average _____ in the community *
   c) selected group of users eg nurses, volunteers
   d) no description of the derivation of the cohort

2) Selection of the non exposed cohort
   a) drawn from the same community as the exposed cohort *
   b) drawn from a different source
   c) no description of the derivation of the non exposed cohort

3) Ascertainment of exposure
   a) secure record (eg surgical records) *
   b) structured interview *
   c) written self report
   d) no description

4) Demonstration that outcome of interest was not present at start of study
   a) yes
   b) no

Comparability

1) Comparability of cohorts on the basis of the design or analysis
   a) study controls for _____ (select the most important factor) *
   b) study controls for any additional factor (This criteria could be modified to indicate specific control for a second important factor.)

Outcome

1) Assessment of outcome
   a) independent blind assessment *
   b) record linkage *
   c) self report
   d) no description

2) Was follow-up long enough for outcomes to occur
   a) yes (select an adequate follow up period for outcome of interest) *
   b) no

3) Adequacy of follow up of cohorts
   a) complete follow up - all subjects accounted for *
   b) subjects lost to follow up unlikely to introduce bias - small number lost - > ____ % (select an adequate %) follow up, or description provided of those lost) *
   c) follow up rate < ____% (select an adequate %) and no description of those lost
   d) no statement

Appendix 3.

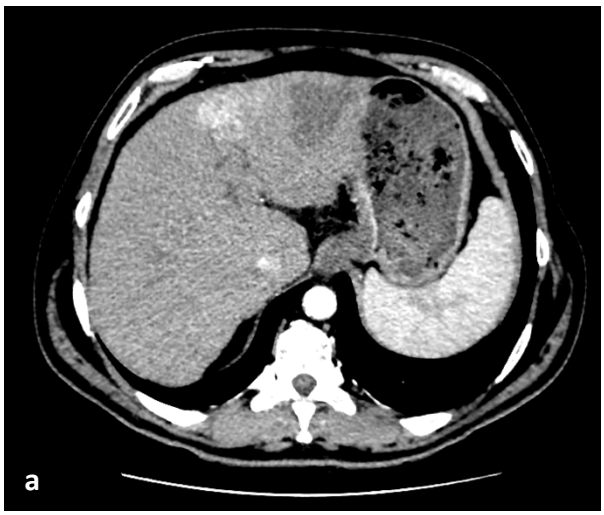
Thresholds for converting the Newcastle-Ottawa scales to AHRQ standards (good, fair, and poor):

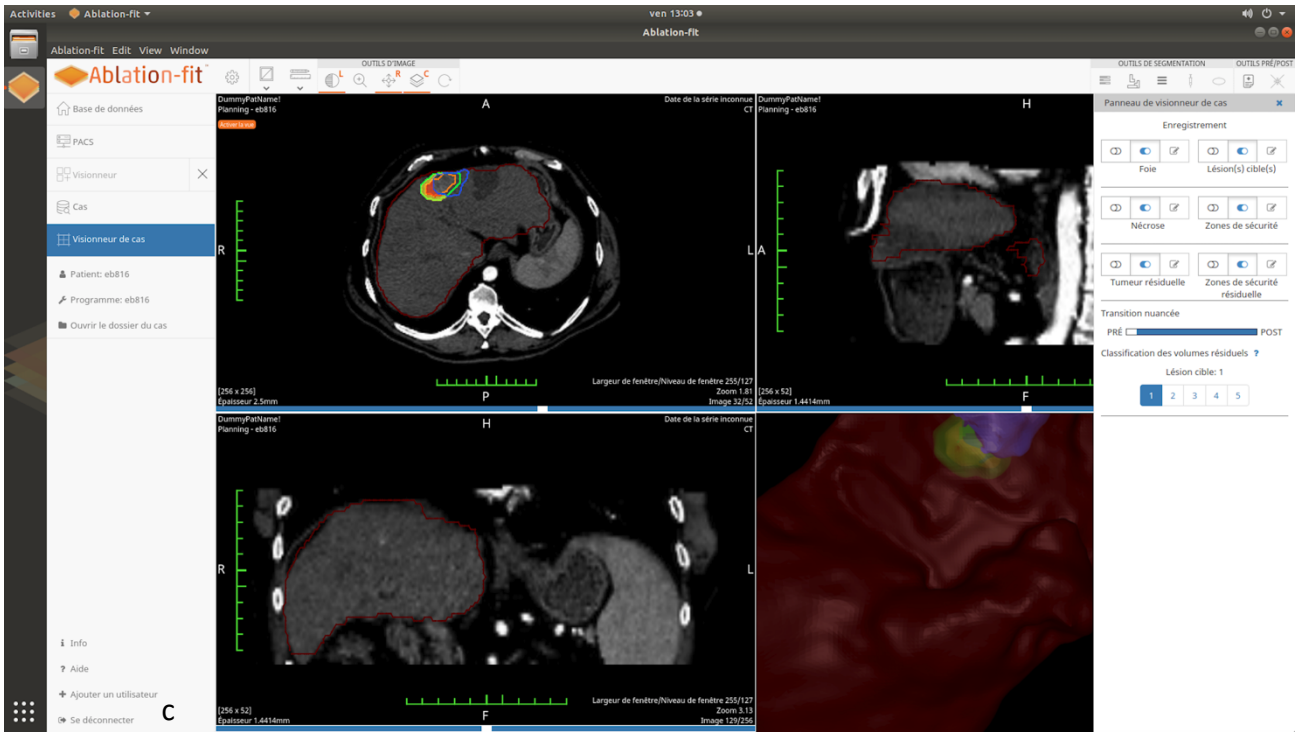
Good quality: 3 or 4 stars in selection domain AND 1 or 2 stars in comparability domain AND 2 or 3 stars in outcome/exposure domain

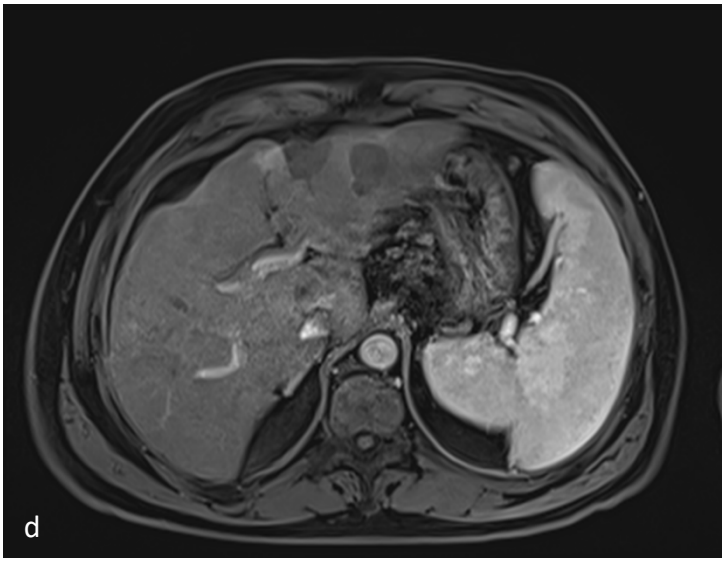
Fair quality: 2 stars in selection domain AND 1 or 2 stars in comparability domain AND 2 or 3 stars in outcome/exposure domain

Poor quality: 0 or 1 star in selection domain OR 0 stars in comparability domain OR 0 or 1 stars in outcome/exposure domain

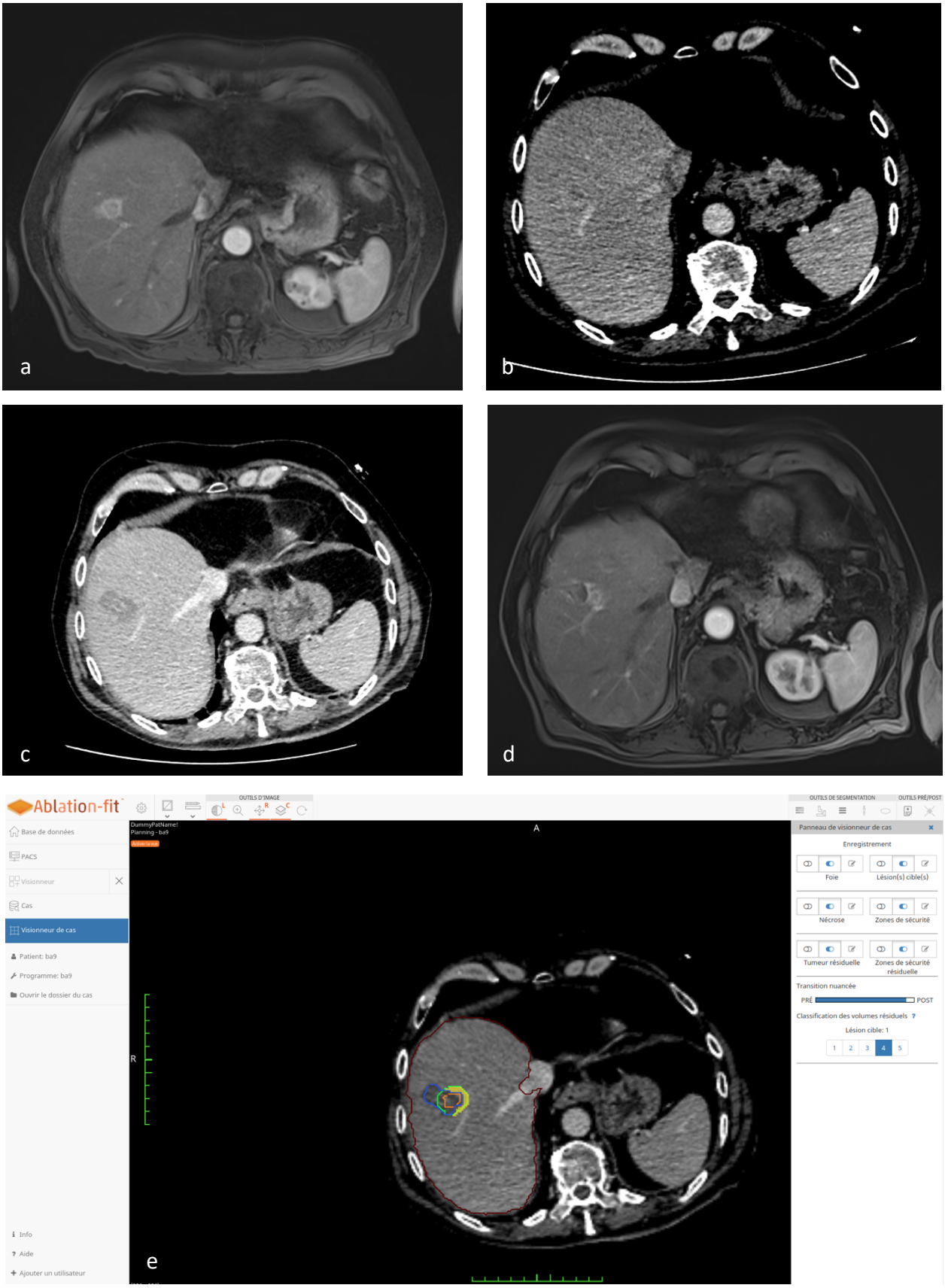
Appendix 4.







Appendix 4. *Test 1 with Ablation-Fit*
a.Pre-PTA CT scan showing HCC at junctions of segment II-IV
b.Post-PTA CT scan showing ablation zone
c.Software interface : orange contour corresponds to the tumor, green contour corresponds to the security margins and blue corresponds to the ablation zone. In this case, the ablation zone encompasses the safety margin in its medial portion, but there is a residual tumor (in red) in its lateral portion. Treatment was scored 1/5, corresponding to an incomplete ablation with residual unablated tumor volume.
d.MRI 3 months later showing residual tumor.



Appendix 4 bis. *Test 2 with Ablation-Fit (safety margin choosen : 5 mm)*
a.Pre-PTA MRI showing hypervascular HCC b.On pre-PTA CT scan, tumor is only discreetly visible on venous phase c. Post-PTA CT scan showing the ablation zone d LTP 2 years later e. Software interface showing non-safety margin on the same location where LTP occurred, scored 4/5 (complete ablation with 95-100% 3D safety margin)

Appendix 5.

Table 4

Registration Quality

References	Software	Success rate (%)	Grading	Exclusion Criteria Affecting Registration Quality	Other Results
Laimer G. et al, 2020[31]	Ablation-fit ; R.A.W. Srl	NR	N	Tumor no visible in CT-scan; need of preinterventional image fusion with MRI (n=55)	NR
Solbiati M. et al, 2019[16]		NR	N	NR	NR
Sakakibara M. et al., 2014 [39]	AquariusNET Viewer, version 4.4.6.50, TeraRecon	95.7	N	NR	**Unsuccessfull** : 2 in left lobe (high deformity) 1 pre-post-MRI : blurry hypointensity in the HBP 3 pre-post-CT : very slight enhancement in arterial phase of pre-CT
Yoon J.H. et al, 2018[26]	HepaCare, Siemens Healthcare	100	N	N	NR
Park J. et al, 2017[38]		NR	N	Use of artificial ascites (n=215) Technical failure (n=13)	This registration technique is limited in patients with a large amount of ascites
Shin S. et al, 2014[11]		NR	N	Use of artificial ascites during RFA (n=NR)	NR
Kim K.W. et al, 2011[24]		100%	Y 3 : Good 2 : Medium 1 : Poor	Use of artificial ascites (n=56)	According to 2 different radiologists : 87.3% - 90.3% : good image quality 9.7% - 12.9% : medium quality 22.6% : landmark-based constraints were added
Chen C. et al, 2019[33]	Integrated Registration, GE Healthcare	97.9	N	N	NR
Vandenbroucke F. et al, 2018 [43]		89	N	Did not achieve adequate fusion (n=1)	Easily for spherical tumors Manual correction of polymorph shaped tumors 5/45 cases challenging : local manual adjustment of the registration was repeated several times in the 3 planes, and proved very time-consuming (up to 30min)
Makino Y. et al, 2015[37]		CT : 67.4 MRI : 93.5		NR	**CT fusion** : 32.6% evaluation impossible : tumor undetectable (n = 19), or detectable but too inconspicuous for treatment evaluation on CT fusion images (n = 11) Incidence of hypovascularity significantly greater : impossible 15/30 (50.0%) **MRI fusion :** cause severe deformation of the liver
Makino Y. et al, 2013[13]		NR	N	No apparent tumor images on pre-RFA CT (n=66)	NR
Tomonary A., et al 2012[42]		NR	N	NR	NR
Kaye E.A. et al, 2019[36]	MIM MAESTRO®	NR	N	Incompatible image format (n=4) 3D volumetric assessment not performed due to sub-optimal rigid registration results (n = 15)	NR
Hendriks P. et al, 2019[34]	Mirada RTx software	NR	Y 1= completely unreliable 2= suboptimal 3=sufficient quality but	Lateral patient positioning on the postablation scan (n = 11) Coregistration quality of pre- and post-ablation scans ≤3 (n =7)	Difference in position and shape of the liver may hamper reliable image coregistration

Sibinga Mulder B.G. et al, 2019[40]		62	not accurate enough for measurements 4=good coregistration 5=perfect coregistration	Technical failure (n = 3)	Cause for suboptimal co-registration : difference in liver position during pre- and post-ablation scan (could be due to a difference in position of the patient or because the scans were obtained during a different breathing phase)
An C. et al, 2019[28]	MITK	100	N	N	NR
An C. et al, 2020[32]	MyLab Twice, Esoate	100	N	Data image format is incompatible with registration (n=9) Images alignment deviation is too large to meet the actual situation (n=8)	NR
Wang X.L et al, 2015[44]		98.4	N	NR	Cause of error of fusion for 1/62 : significant deformation of the liver and massive ascites after RFA
Jiang C. et al, 2018[35]	Myrian; Intrasense	NR	N	NR	NR
Tang H. et al, 2015[29]		NR	N	Failed image fusion data n=1	NR
Laimer G. et al, 2020[10]	Syngo.via VB20A	NR	N	Extensive liver deformation due to stereotactic RFA of large or multiple tumors leading to an inacceptable (n = 20)	NR
Kim Y.S. et al, 2010[12]	CT workstation : Virtual Place Advance Plus version 2.03, Aze Corporation	NR	N	Technical failure of RFA (n = 18)	23/123 tumors : unable to assess fusion Difficult in some cases to synchronize the 2 sets of CT images completely, because the liver is not a rigid organ
Takeyama N. et al, 2018 [41]	Volume Analyzer Synapse VINCENT, version 5.1, Fujifilm Medical Systems	NR	Y Good : no (0mm) vascular misregistration Fair : minimal (<2mm) in less than 4 vessels Poor : minimal (<2mm) in more than 5 vessels Severe : (>3mm) in more than 1 vessel	N	Good : 53/61 Fair : 6/61 Poor : 2/61 2 HCCs with poor results were exluded due to liver deformation and massive ascite Artificial pleural effusion was used in 15 (25.4%) of 59 HCCs : no lesions showed registration errors.
Tani S. et al, 2016[27]	Registration, fusion and volumetric approach : 3D Slicer version 4 3D distance map : ITK	NR	N	N	NR
Hocquelet A. et al, 2017 [30]	Segmentation : ITK-SNAP freeware Area insufficient margins : *proposed a full technique*	NR	N	NA	When implemented motion compensation strategy was applied, the average positionning error decreased from 17.3 mm± 8 to 2 mm±0.9 Intrarater variation in positioning landmarks was 2 mm (voxel size)
Solbiati M. et al, 2018[47]	Registration : ITK libraries and Elastix toolbox	NR	Y 1: poor / 2 : fair / 3: satisfactory / 4: good 5: excellent	NR	**Registration quality :** Scored high : Reader 1 : 4.3 ± 0.6, Reader 2: 4.4 ± 0.5 No 1 and 2 **Perceived increase of confidence for treatment evaluation :** Higher increase of confidence 96.1% as high or very high; 3.9% as discrete
Sandu R.M. et al, 2021[46]	Introduced a method	100	N	NR	NR
Passera K. et al, 2013[45]	Segmentation : **MevisLab** *Described a method for AM*	80	N	NR	For 2 patients : not possible due to contingent image features : 1 serous fluid effusion, 1 RFA and hepatic resection

Résumé

OBJECTIF - Réaliser une revue exhaustive des études cliniques évaluant un logiciel ou une nouvelle méthode d'évaluation des marges après thermoablation percutanée de tumeurs hépatiques.

MATERIELS ET METHODES - Trois bases de données ont été utilisées : Pubmed/MEDLINE, Embase et The Cochrane Library. Les mots-clés étaient : "logiciel", "techniques d'ablation", "néoplasies hépatiques", traitement d'image", "imagerie tridimensionnelle", "évaluation volumétrique", "ablation", "marge d'ablation", "progression tumorale locale", "ablation par radiofréquence".

Les critères d'inclusion étaient : tumeur hépatique traitée par thermoablation percutanée, dix ou plus patients inclus, fusion d'images CT, IRM ou ConeBeam-CT pré- et post-thermoablation, étude des marges d'ablation, description des étapes de fusion d'images et d'analyse.

Après une extraction exhaustive des données des articles, celles-ci ont été analysées et regroupées au sein de tableaux.

RESULTATS - 678 articles ont été recensés. Après application des critères d'exclusion, 28 références ont été incluses. Toutes étaient monocentriques, seulement 2 étaient prospectives. La majorité étaient des études de faisabilité (89,29%) ou prédictives (78,57%).

Quatre logiciels étaient capables de générer automatiquement des marges. Le temps d'utilisation rapporté était hétérogène (rang : 5-30 minutes voire plus). La reproductibilité inter-opérateur était élevée (κ rang : 0.686 – 1). L'ascite, la déformation du foie, une position différente ou une tumeur indétectable étaient les principaux facteurs d'erreur de fusion d'images.La marge était souvent le seul facteur de risque de progression tumorale locale (LTP). L'évaluation visuelle surestimait les marges. La plupart du temps, la LTP est survenue au niveau de la marge la plus fine ou de la tumeur résiduelle.

CONCLUSION - La marge d'ablation est un facteur de risque indépendant de LTP. L'impact thérapeutique d'un logiciel d'évaluation des marges devrait donc être d'une importance majeure. Le logiciel idéal d'ablation-confirmation impliquerait un flux de travail rapide et facile à utiliser, aussi automatique que possible, avec une grande précision.

Mots clés : Logiciel, Tumeur du foie, Evaluation volumétrique, Progression Tumorale Locale, Marge d'Ablation, Traitement d'Image, Techniques d'Ablation, Imagerie Tridimensionnelle.

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'Etre 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.*

- *Admise 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.*

- *Respectueuse et reconnaissante 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 couverte d'opprobre et méprisée de mes confrères si j'y manque.*

Résumé

OBJECTIF - Réaliser une revue exhaustive des études cliniques évaluant un logiciel ou une nouvelle méthode d'évaluation des marges après thermoablation percutanée de tumeurs hépatiques.

MATERIELS ET METHODES - Trois bases de données ont été utilisées : Pubmed/MEDLINE, Embase et The Cochrane Library. Les mots-clés étaient : "logiciel", "techniques d'ablation", "néoplasies hépatiques", traitement d'image", "imagerie tridimensionnelle", "évaluation volumétrique", "ablation", "marge d'ablation", "progression tumorale locale", "ablation par radiofréquence".

Les critères d'inclusion étaient : tumeur hépatique traitée par thermoablation percutanée, dix ou plus patients inclus, fusion d'images CT, IRM ou ConeBeam-CT pré- et post-thermoablation, étude des marges d'ablation, description des étapes de fusion d'images et d'analyse.

Après une extraction exhaustive des données des articles, celles-ci ont été analysées et regroupées au sein de tableaux.

RESULTATS - 678 articles ont été recensés. Après application des critères d'exclusion, 28 références ont été incluses. Toutes étaient monocentriques, seulement 2 étaient prospectives. La majorité étaient des études de faisabilité (89,29%) ou prédictives (78,57%). Quatre logiciels étaient capables de générer automatiquement des marges. Le temps d'utilisation rapporté était hétérogène (rang : 5-30 minutes voire plus). La reproductibilité inter-opérateur était élevée (κ rang : 0.686 – 1). L'ascite, la déformation du foie, une position différente ou une tumeur indétectable étaient les principaux facteurs d'erreur de fusion d'images.La marge était souvent le seul facteur de risque de progression tumorale locale (LTP). L'évaluation visuelle surestimait les marges. La plupart du temps, la LTP est survenue au niveau de la marge la plus fine ou de la tumeur résiduelle.

CONCLUSION - La marge d'ablation est un facteur de risque indépendant de LTP. L'impact thérapeutique d'un logiciel d'évaluation des marges devrait donc être d'une importance majeure. Le logiciel idéal d'ablation-confirmation impliquerait un flux de travail rapide et facile à utiliser, aussi automatique que possible, avec une grande précision.

Mots clés : Logiciel, Tumeur du foie, Evaluation volumétrique, Progression Tumorale Locale, Marge d'Ablation, Traitement d'Image, Techniques d'Ablation, Imagerie Tridimensionnelle.