

Ablación por radiofrecuencia de tumores primarios y metastásicos de pulmón: técnica del procedimiento

Radiofrequency ablation of primary and metastatic lung tumors: procedural description

Patricio Méndez , Cristian A. Angeramo , Eduardo P. Eyeheremendy 

Sector de Radiología Vascular e Intervencionista, Servicio de Diagnóstico por imágenes. Hospital Alemán de Buenos Aires, Argentina

Los autores declaran no tener conflictos de interés.
Conflicts of interest
None declared.

Correspondencia
Correspondence:
Cristian A. Angeramo
E-mail:
angeramoagustin@gmail.com

RESUMEN

La ablación por radiofrecuencia se presenta como una variante de tratamiento para los pacientes con estadio temprano de cáncer de pulmón de células no pequeñas o enfermedad oligometastásica, que no son candidatos a una resección quirúrgica. Se describe de manera detallada la preparación y la técnica de ablación en este grupo de pacientes.

■ **Palabras clave:** ablación por radiofrecuencia, carcinoma de pulmón de no células pequeñas, metástasis pulmonares.

ABSTRACT

Radiofrequency ablation is a treatment option for patients with early-stage non-small cell lung cancer or oligometastatic disease who are not eligible for surgical resection. We provide a detailed description of how the procedure is planned and of the ablation technique in this group of patients.

■ **Keywords:** radiofrequency catheter ablation, non-small cell lung carcinoma, lung metastases.

Recibido | Received
25-12-22
Aceptado | Accepted
22-03-23

ID ORCID: Patricio Méndez, 0000-0002-6677-2439; Cristian A. Angeramo, 0000-0001-7833-9416; Eduardo P. Eyeheremendy, 0000-0002-9884-7044.

En la Argentina, el cáncer de pulmón es el tercero en frecuencia y comprende el 9,3% del total de los tumores diagnosticados¹. Además, el pulmón es un sitio frecuente de asiento de metástasis; las principales son el cáncer de mama, colon, próstata, riñón y vejiga. Históricamente, la resección quirúrgica ha sido el estándar de tratamiento con la mejor tasa de supervivencia a largo plazo. Sin embargo, varios estudios previos han demostrado la seguridad y eficacia de la ablación por radiofrecuencia (ARF) tanto en lesiones primarias como secundarias. Incluso en estos estudios, luego de realizar un apareamiento por puntaje de propensión, la supervivencia global a dos años fue comparable a la de los pacientes sometidos a cirugía y radioterapia corporal estereotáctica (SBRT)².

En nuestro hospital, todos los pacientes con lesiones pulmonares son presentados en un ateneo multidisciplinario conformado por médicos oncólogos, cirujanos torácicos, especialistas en diagnóstico por imágenes, radioterapeutas y radiólogos intervencionis-

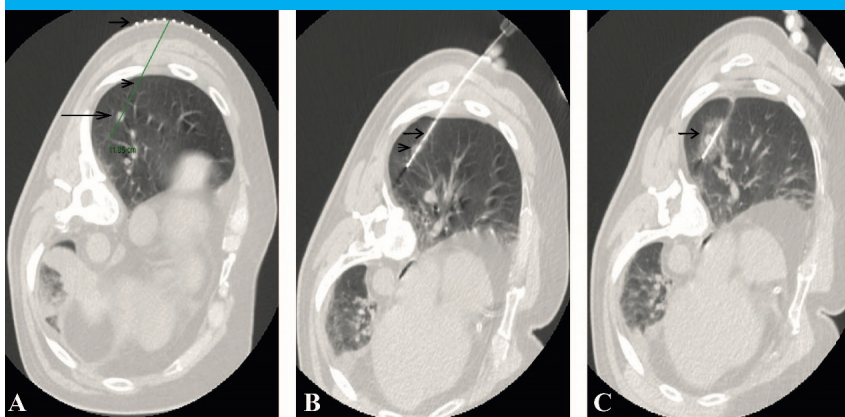
tas. En estos ateneos se decide la conducta terapéutica por seguir para cada paciente en particular. La ARF se propone de acuerdo con las indicaciones de la guía *Clinical Practice Guidelines in Oncology* (NCCN Guidelines®): pacientes con estadio IA de cáncer de pulmón de células no pequeñas (CPCNP) y alto riesgo quirúrgico, pacientes con múltiples lesiones pulmonares (metástasis de cáncer colorrectal, pulmón, renal, melanoma, hepatocarcinoma y sarcoma) y aquellos con recurrencia locorregional. Consideramos pacientes de alto riesgo quirúrgico a aquellos que cumplen con un criterio mayor o dos o más criterios menores. Los criterios mayores son: un FEV1 o DLCO $\leq 50\%$ y los criterios menores son: una FEV1 o DLCO entre 51 y 60%, edad ≥ 75 años, hipertensión pulmonar, FEV1 $\leq 40\%$, PaO₂ ≤ 55 mm Hg en reposo o con ejercicio y pCO₂ > 45 mm Hg.

Una vez indicada la ARF, se debe realizar una tomografía computarizada (TC) de tórax, la cual permitirá evaluar el tamaño de las lesiones y la relación de estas con la pleura parietal, las estructuras vasculares,

los bronquios y cisuras pulmonares. Con esta información podremos realizar una adecuada elección de la longitud del electrodo, la cantidad de electrodos y la longitud de la punta activa. Realizamos, también, un examen prequirúrgico que cuenta con un estudio de coagulación, un electrocardiograma y una evaluación por los Servicios de cardiología, neumología y anestesia para detectar a aquellos pacientes con contraindicación del procedimiento. Los criterios de contraindicación absoluta que utilizamos son: enfermedad enfisematosa grave con bullas, expectativa de vida de menos de 3 meses, ECOG (Eastern Cooperative Oncology Group) > 2 , diástasis hemorrágica no corregible y cáncer de pulmón de células pequeñas. Las contraindicaciones relativas son: tumores cerca de grandes vasos o hilio pulmonar (< 1 cm), marcapasos cardíaco, diástasis hemorrágica corregible y función pulmonar deteriorada. Según la Sociedad Europea de Radiología Intervencionista y Cardiovascular (CIRSE), la ablación pulmonar es un procedimiento de alto riesgo hemorrágico, por lo que es necesario evaluar y corregir los parámetros de coagulación previos al procedimiento.

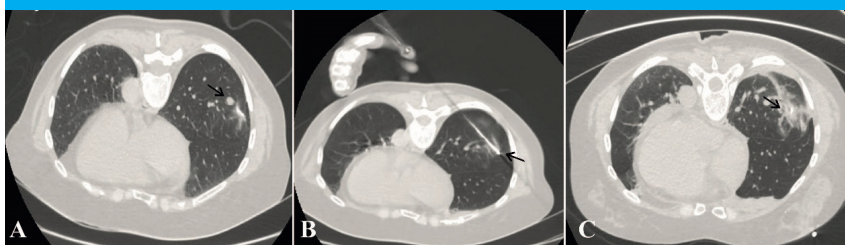
El procedimiento se lleva a cabo bajo sedación, ya que de esta forma el paciente puede colaborar con indicaciones sobre la respiración. Además, la anestesia general puede aumentar el riesgo de neumotórax al utilizar presión positiva. Sin embargo, la utilizamos en pacientes pediátricos y en aquellos que no toleran el decúbito prolongado, priorizando su seguridad. El decúbito es escogido de acuerdo con la localización de la lesión y el sitio de acceso. Realizamos una TC torácica cuyo objetivo es tener una imagen inicial del tórax y localizar las lesiones para tratar. Una vez identificada la lesión, se coloca una marca radiopaca en la proyección cutánea de dicha imagen, se planifica la punción en la consola y se realiza una marca en la piel (Fig. 1). Luego de la antisepsia del sitio de punción y tras colocar los campos estériles, se administra anestesia local con lidocaína al 1% a nivel del tejido celular subcutáneo y pleural. Se realiza una incisión con bisturí de 1-2 mm sobre la piel y se coloca el electrodo, el cual debe ser posicionado a lo largo del eje longitudinal de la lesión que se va a ablacinar para lograr un margen oncológico adecuado (10 mm) (Figs. 2 y 3). Esto puede implicar

■ FIGURA 1



A: marca radiopaca (flecha corta negra) sobre la piel y planificación de la dirección del electrodo (cabeza de flecha negra) hasta el centro de la lesión pulmonar (flecha larga negra). B: electrodo (flecha corta negra) localizado en el centro de la lesión pulmonar (cabeza de flecha negra). C: electrodo correctamente posicionado y halo de ablación perilesional (flecha corta negra)

■ FIGURA 2

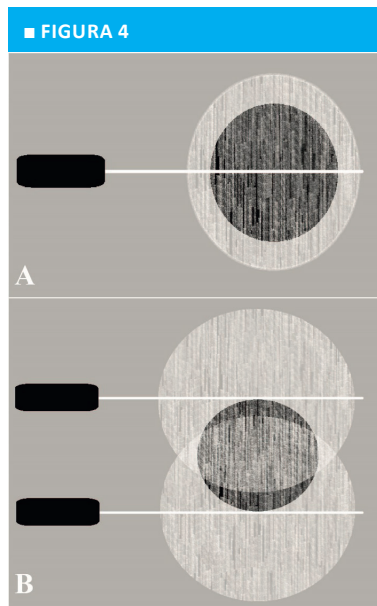


A: nódulo pulmonar en el lóbulo superior derecho (flecha corta negra). B: electrodo atravesando el nódulo pulmonar (flecha corta negra). C: tomografía computarizada evidenciando el nódulo pulmonar ablacinado (flecha corta negra)

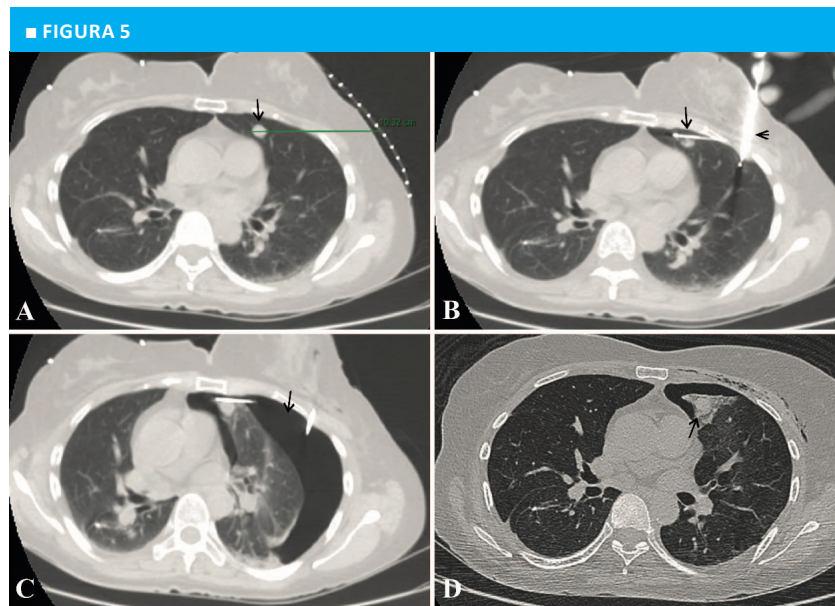
■ FIGURA 3



A: nódulo pulmonar en lóbulo inferior derecho (flecha corta negra). B: electrodo posicionado en el centro del nódulo pulmonar (flecha corta negra). C: halo de ablación con un correcto margen oncológico en el sitio donde previamente se encontraba el nódulo pulmonar (flecha corta negra)



A: un solo electrodo atravesando la lesión por su centro y generando un correcto margen de ablación. B: dos electrodos pasan por los bordes de la lesión generando dos halos ablativos que abarcan la lesión pulmonar



A: nódulo pulmonar en segmento anterior del lóbulo superior izquierdo (flecha corta negra). B: electrodo colocado en el centro de la lesión para ablacionar (flecha corta negra) y una aguja 21 G colocada en el espacio pleural (cabeza de flecha negra). C: neumotórax iatrogénico para proteger los grandes vasos del mediastino (flecha corta negra). D: nódulo pulmonar ablacionado con un correcto margen oncológico (flecha corta negra)

la utilización del trayecto más largo hasta la lesión, lo cual aporta estabilidad al electrodo en el parénquima pulmonar. El electrodo puede atravesar la lesión (un solo electrodo) o pasar por sus bordes (múltiples electrodos) y debe ser al menos 10 mm más largo que el diámetro mayor de la lesión para lograr un halo de ablación adecuado (Fig. 4). La temperatura y la impedancia utilizados dependerán de las especificaciones del fabricante.

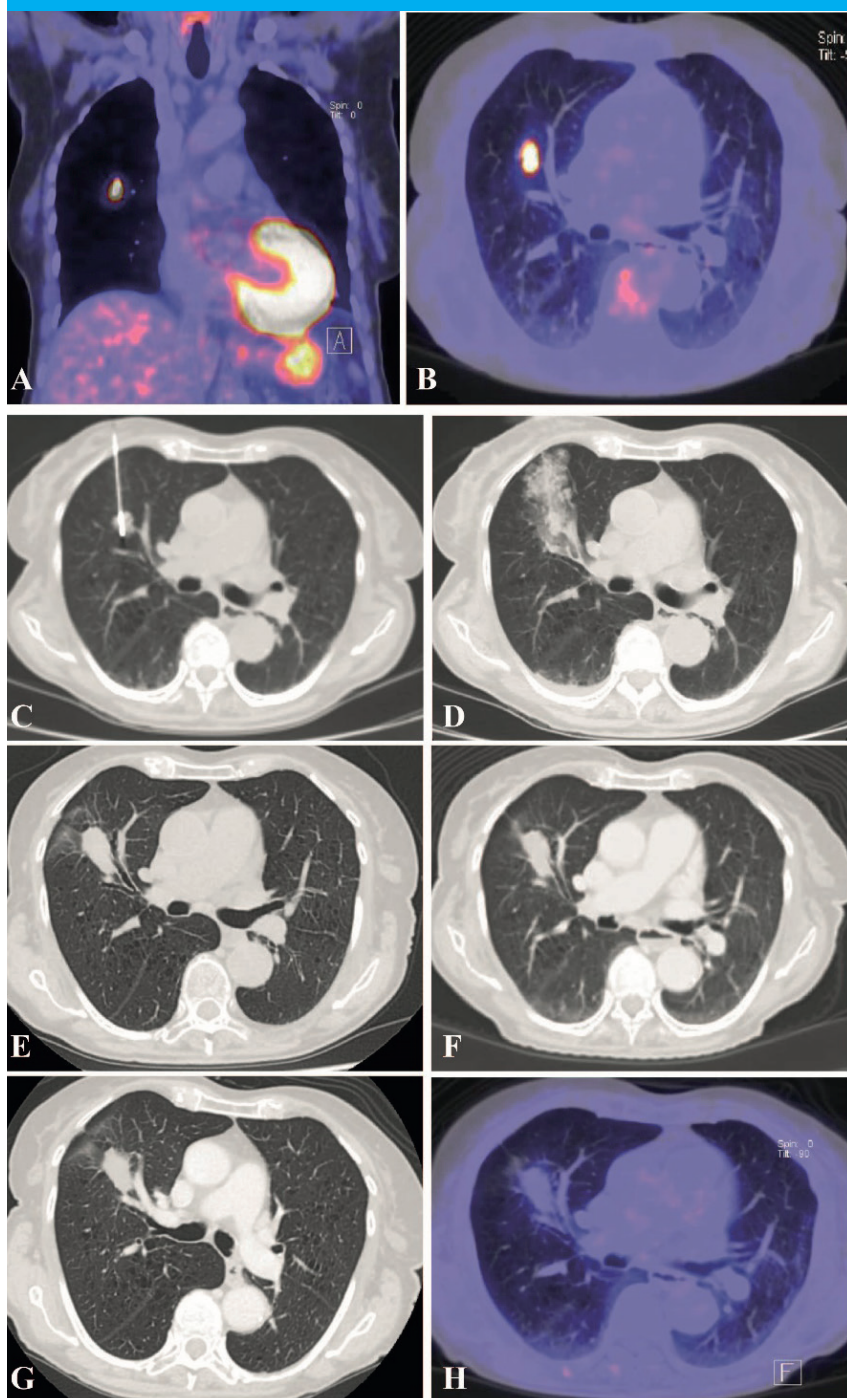
Cuando la lesión para ablacionar se encuentra cerca de estructuras que debemos preservar, se pueden aplicar técnicas de termoprotección, como el neumotórax iatrogénico (Fig. 5) y la hidrodissección. Una vez finalizado el procedimiento se realiza un control tomográfico inmediato para evaluar el margen de la lesión ablacionada y las posibles complicaciones. Las complicaciones más frecuentes luego de la ARF son el neumotórax (11-52%) y la hemorragia parenquimatosa (6-18%), aunque generalmente son asintomáticas y no requieren un procedimiento extra. En el paciente con neumotórax leve asintomático, realizamos tratamiento expectante. Por el contrario, cuando el neumotórax es grave, sintomático o se reproduce, lo tratamos colocando una válvula de Heimlich. El derrame pleural suele ser reactivo, aunque debe evaluarse su evolución para descartar un sangrado. El hemotórax es extremadamente infrecuente y, en la mayoría de los casos, la hemorragia se autolimita; sin embargo, si el sangrado es arterial, puede requerir una embolización endovascular. Otras complicaciones poco frecuentes son la fístula broncopulmonar, la neumonía y la embolia aérea³.

El paciente permanece internado 24 horas para un control clínico estricto y para un nuevo control

tomográfico a la hora del procedimiento. El seguimiento lo realizamos con TC a los 1, 3, 6, 9, 18, 24 meses y luego anualmente. Aunque el estándar actual para el seguimiento es la TC, la tomografía por emisión de positrones (PET/TC) ha tomado gran relevancia. En nuestro centro, indicamos una PET/TC a los 3 y 12 meses luego del procedimiento y ante la sospecha de recurrencia (Fig. 6). Es de vital importancia que los controles tomográficos en el seguimiento sean evaluados por un profesional con conocimiento de los cambios esperados en las distintas fases: inmediata (< 24 h), temprana (24 h a 1 mes), intermedia (1-3 meses) y tardía (> 3 meses) posteriores a una ablación pulmonar.

Numerosos estudios han demostrado resultados alentadores de la ARF en pacientes con estadio I de CPCNP. El primer estudio prospectivo evaluó 54 pacientes con estadio I tratados con ARF e informó una sobrevida global de 86,3% a un año y de 69,8% a dos años, llegando al 83% en aquellos tumores menores de 2 cm⁴. Otro estudio prospectivo que incluyó pacientes con estadio I inoperables y con lesiones > 3 cm informó una sobrevida global de 91,67% y 58,33% a 1 y 3 años, respectivamente⁵. Para alcanzar estas tasas de sobrevida es de vital importancia, además de un correcto conocimiento de la técnica, una selección criteriosa de los pacientes. Por eso es necesario conocer que los tumores con un diámetro entre 2 y 3 cm tendrían una mayor tasa de éxito y menor riesgo de recurrencia. Con respecto al SBRT, en la serie retrospectiva más importante analizada se determinó que la sobrevida global obtenida con la ARF (85,4%, 65,2%, 47,8% y 24,6% a 1, 2, 3 y 5 años, respectivamente) no es inferior a la obtenida con SBRT (86,3%, 64,5%, 45,9% y 26,1% a 1, 2,

■ FIGURA 6



A y B: nódulo pulmonar hipercaptante en PET-TC localizado en el segmento anterior del lóbulo superior derecho. C: electrodo colocado en el centro de la lesión para ablacionar. D: nódulo pulmonar ablacionado. E: control tomográfico a 1 mes del procedimiento. F: control tomográfico a 3 meses de la ablación por radiofrecuencia. G: control por tomografía computarizada 6 meses después del procedimiento. H: control por PET-TC 1 año después de la ablación que no evidencia captación del radiofármaco a nivel de la lesión ablacionada

3 y 5 años, respectivamente)⁶. Por lo tanto, la elección del tratamiento para realizar deberá basarse en cada paciente en particular y ser consensuado entre las distintas especialidades.

Otra indicación de la ARF es la recurrencia local luego del tratamiento con radioterapia. Cheng y cols. demostraron una mediana de sobrevida global de 35 meses y 14 meses de sobrevida libre de recurrencia⁷. Con el advenimiento de la inmunoterapia, los tratamientos miniminvasivos han tomado gran relevancia. Se ha demostrado previamente que los tratamientos locales aumentan la respuesta del sistema inmunitario y que el efecto obtenido al combinarlos es mayor que al utilizarlos de forma individual⁸. Actualmente hay múltiples estudios clínicos en curso para evaluar la sinergia entre la inmunoterapia y los tratamientos térmicos ablativos. La enfermedad oligometastásica también puede ser tratada con radiofrecuencia como lo demostró el estudio prospectivo RAPTURE, que refirió una sobrevida global de 89-92% y 64-66% a 1 y 2 años, respectivamente⁹. De modo semejante, un estudio reciente evaluó la eficacia de la radiofrecuencia en pacientes con metástasis pulmonares < 3 cm de origen colorrectal y encontró una sobrevida global a 3 años del

84% y una tasa de complicación del 1%¹⁰. Al igual que en los CPCNP, las metástasis < 3 cm tienen mejor respuesta y mayor sobrevida. Otros factores pronósticos en la enfermedad oligometastásica son el origen del tumor primario, el intervalo libre de enfermedad y la presencia de más de 3 metástasis pulmonares¹¹. Nuestra experiencia incluye 12 ablaciones pulmonares en 9 pacientes en el período 2017-2022. La edad promedio fue de 62,33 (35-83) años y el 55% (5 pacientes) fue de sexo femenino. De las 12 ablaciones pulmonares, el 58% (7 pacientes) se debió a enfermedad metastásica y el 42% (5 pacientes) a CPCNP. El tamaño promedio de las lesiones fue de 2 (1-3.3) cm. La morbilidad general fue de 42% (5 complicaciones). Registramos un 25% (3 pacientes) de neumotórax de los cuales solo 1 paciente requirió la colocación de una válvula de Heimlich. Se registraron, además, 1 caso de hemorragia parenquimatosa y 1 caso de derrame pleural, ambos autolimitados.

En conclusión, la ARF es una técnica mínimamente invasiva que permite alcanzar una sobrevida global similar a la obtenida con la cirugía en pacientes seleccionados con estadio temprano de CPCNP, recurrencia local y enfermedad oligometastásica que no pueden ser sometidos a cirugía.

■ ENGLISH VERSION

In Argentina, lung cancer is the third most common cancer, accounting for 9.3% of all malignancies¹. In addition, the lung is a common site of metastasis, mainly of breast, colon, prostate, kidney and bladder cancers. Historically, surgical resection has been the standard of care with the best long-term survival rate. However, several previous studies have demonstrated the safety and efficacy of radiofrequency ablation (RFA) for both primary and secondary tumors. Even in these studies, overall 2-year survival after propensity score matching was similar to that of patients undergoing surgery and stereotactic body radiation therapy (SBRT)².

In our hospital, all patients with lung tumors are discussed in a multidisciplinary conference made up of oncologists, thoracic surgeons, specialists in diagnostic imaging, radiotherapists and interventional radiologists to decide the therapeutic approach for each particular patient. Radiofrequency ablation is suggested when the indications of the Clinical Practice Guidelines in Oncology (NCCN Guidelines®) are fulfilled: patients with stage IA non-small cell lung cancer (NSCLC) and high surgical risk, those with multiple lung lesions (metastases from colorectal, lung or renal carcinoma, melanoma, hepatocellular carcinoma and sarcoma) or with locoregional recurrence. We consider patients with one major criterion or two minor criteria or greater to be at high surgical risk. Major criteria include

FEV₁ or DLCO ≤ 50% and minor criteria include FEV₁ or DLCO 51-60%, age ≥ 75 years, pulmonary hypertension, FEV₁ ≤ 40%, resting or exercise arterial PO₂ < 55 mm Hg, and PCO₂ > 45 mm Hg.

Once RFA has been indicated, a computed tomography (CT) scan of the chest should be performed to evaluate tumor size and its relationship with the parietal pleura, vascular structures, bronchi and pulmonary fissures. With this information we will be able to choose the appropriate length of the electrode, number of electrodes and length of the active tip. We also perform a preoperative risk assessment which includes coagulation tests, electrocardiogram and evaluation by a cardiologist, pulmonologist and anesthesiologist to detect those patients with contraindications for the procedure. The absolute contraindication criteria we use are severe emphysematous disease with bullae, life expectancy < 3 months, ECOG (Eastern Cooperative Oncology Group) score > 2, non-correctable bleeding diathesis and small-cell lung cancer. Relative contraindications are tumors located near large vessels or pulmonary hilum (< 1 cm), cardiac pacemaker, correctable bleeding diathesis and impaired lung function. As the European Society of Interventional and Cardiovascular Radiology (CIRSE) considers pulmonary ablation a procedure with high bleeding risk, coagulation parameters should

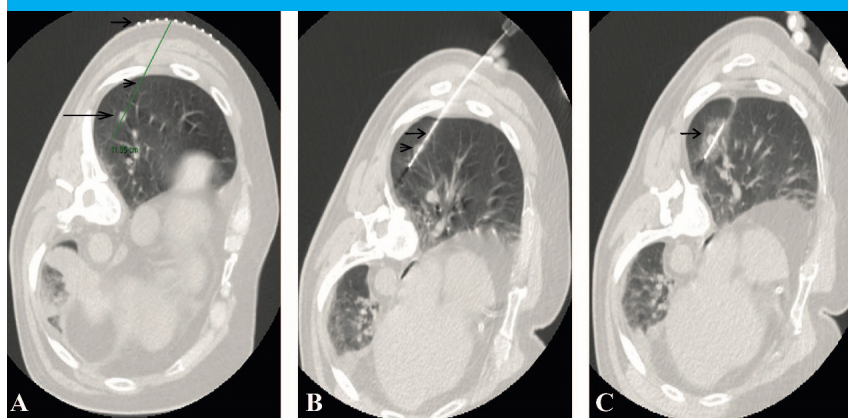
be checked, and the necessary corrections should be made before the procedure.

The procedure is performed under sedation, so that the patient can cooperate with breathing instructions. General anesthesia also increases pneumothorax risk when positive pressure is used; nevertheless, we use it in pediatric patients and in those who cannot tolerate prolonged supine position, prioritizing their safety. The position is chosen based on tumor location and access site. We perform a CT scan of the thorax to obtain an initial image of the thorax and locate the lesions to treat. Once the tumor has been identified, a radiopaque mark is placed on the tumor projection on the skin surface, the percutaneous access is planned on the monitor and the skin is marked (Fig. 1). After antisepsis, sterile drapes are placed on the puncture site and local anesthesia with lidocaine 1% is administered at the level of the subcutaneous tissue and pleura. A scalpel is used to create a 1-2 mm skin incision and the electrode is introduced and positioned along the longitudinal axis of the tumor to achieve

an adequate oncologic margin (10 mm) (Fig. 2 and 3). This may involve using the longest pathway to the lesion to properly anchor it in the lung parenchyma. The electrode may pass through the tumor (single electrode) or its edges (multiple electrodes) and must be at least 10 mm larger than the tumor's maximum diameter to achieve an adequate ablation halo (Fig. 4). The temperature and impedance used will depend on the manufacturer's specifications.

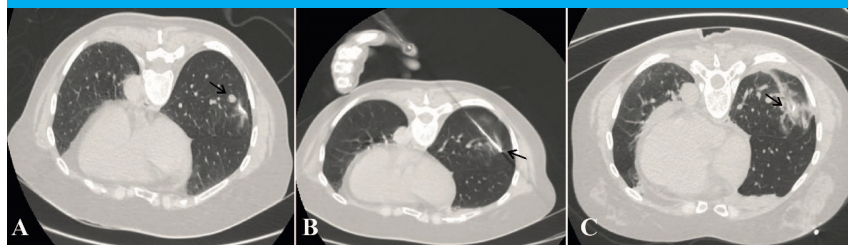
When the tumor is close to structures that must be preserved, thermoprotection techniques can be used, as iatrogenic pneumothorax (Fig. 5) and hydrodissection. A CT scan must be performed immediately after the procedure to evaluate the margin of the tumor ablated and rule out possible severe complications. The most common complications after RFA are pneumothorax (11-52%) and parenchymal hemorrhage (6-18%), although they are usually asymptomatic and do not require an additional procedure. Patients with mild asymptomatic pneumothorax require expectant management.

■ FIGURE 1



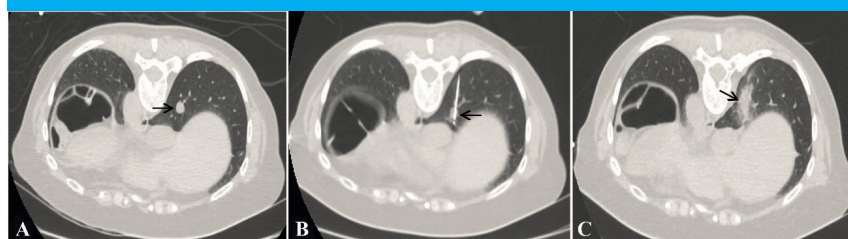
A: radiopaque mark (short black arrow) on the skin and planning of electrode direction (black arrowhead) to the center of the lung tumor (long black arrow). B: electrode (short black arrow) in the center of the lung tumor (black arrowhead). C: electrode correctly positioned and perilesional ablation halo (short black arrow)

■ FIGURE 2

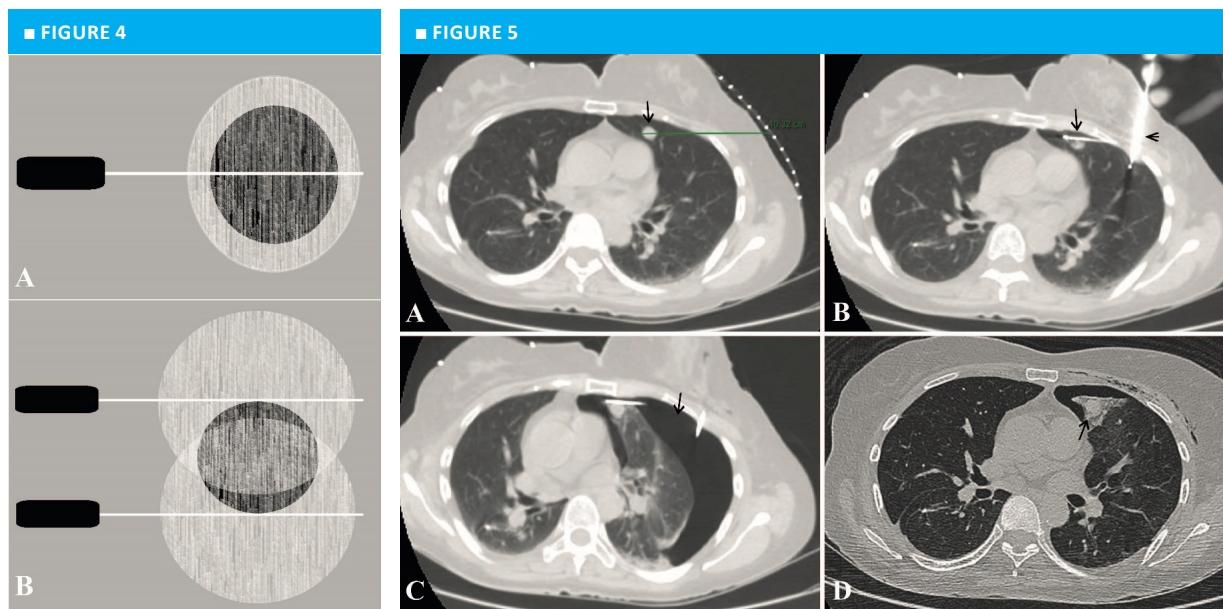


A: pulmonary nodule in the right upper lobe (short black arrow). B: electrode passing through the pulmonary nodule (short black arrow). C: computed tomography scan showing the ablated pulmonary nodule (short black arrow).

■ FIGURE 3



A: pulmonary nodule in the right lower lobe (short black arrow). B: electrode positioned in the center of the pulmonary nodule (short black arrow). C: ablation halo with a correct oncologic margin where the pulmonary nodule was previously located (short black arrow).



A: single electrode passing through the center of the tumor producing a correct ablation margin. B: two electrodes pass through the tumor edges generating two ablation halos covering the pulmonary lesion.

A: pulmonary nodule in anterior segment of the left upper lobe (short black arrow). B: electrode placed in the center of the tumor to be ablated (short black arrow) and a 21G needle placed in the pleural space (black arrowhead). C: iatrogenic pneumothorax to protect the great vessels of the mediastinum (short black arrow). D: ablated pulmonary nodule with a good oncologic margin (short black arrow).

Severe, symptomatic or recurrent pneumothorax is managed with placement of a Heimlich valve. Pleural effusion is usually a reactive phenomenon but should be monitored to rule out bleeding events. Hemothorax is extremely uncommon, and is self-limited in most cases; however, arterial bleeding may require endovascular embolization. Other rare complications include bronchopulmonary fistula, pneumonia and gas embolism³.

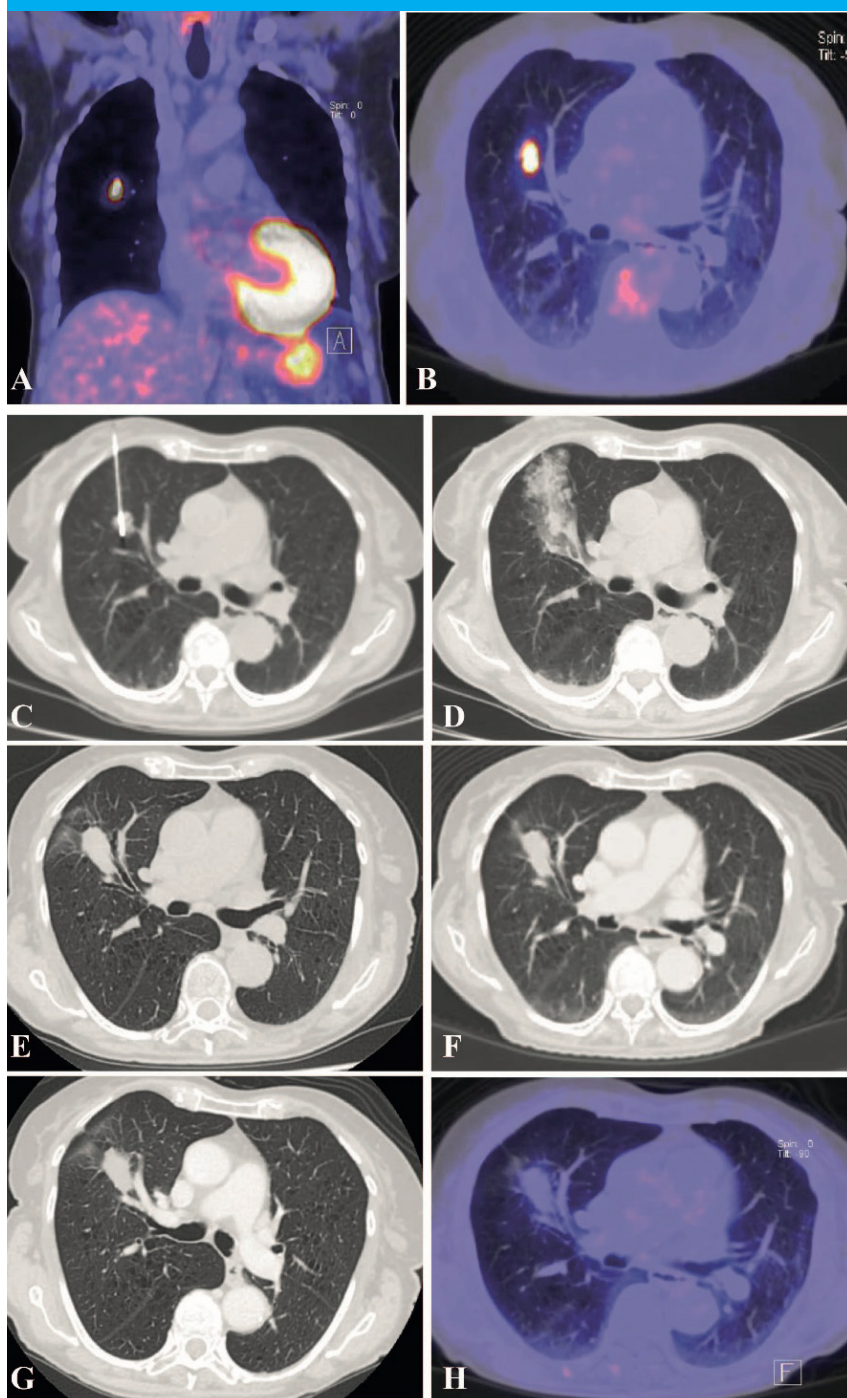
The patient remains hospitalized for 24 hours for close monitoring and a CT scan is performed 1 h after the procedure. Additional CT scan monitoring is scheduled at 1, 3, 5, 9, 18 and 24 months and once a year thereafter. Although CT scan is the standard for imaging care, positron emission tomography (PET-CT) has gained relevance. In our center, we indicate a PET-CT scan at 3 and 12 months after the procedure and when recurrence is suspected (Fig. 6). CT monitoring should be performed by professionals completely aware of the expected changes occurring in the different phases: after-treatment-phase (< 24 h), early-phase (< 24 h to 1 month), intermediate-phase (1 to 3 months), and late phase (> 3 months) after pulmonary ablation.

Many studies have shown encouraging results of RFA in patients with stage I NSCLC. The first prospective study evaluated 54 stage IA patients who underwent RFA and reported an overall survival of 86.3% at one year and 69.8% at two years, reaching 83% in tumors < 2 cm⁴. Another prospective study included inoperable patients with stage IA NSCLC and tumors ≤ 3 cm and reported overall survival of 91.67% and 58.33% at 1 and 3 years, respectively⁵. Careful patient selection and

appropriate knowledge of the technique are of utmost importance to achieve these survival rates. Therefore, it is necessary to know that tumors with a diameter between 2 and 3 cm have higher success rate and lower risk of recurrence. The most important retrospective series on SBRT found that the overall survival obtained with RFA (85.4%, 65.2%, 47.8% and 24.6% at 1, 2, 3 and 5 years, respectively) was not inferior to that obtained with SBRT (86.3%, 64.5%, 45.9% and 26.1% at 1, 2, 3 and 5 years, respectively)⁶. Therefore, treatment choice should be based on each individual patient in agreement with the different specialties.

Another indication for RFA is local recurrence after radiation therapy. Cheng et al. demonstrated median overall survival of 35 months and recurrence-free survival of 14 months⁷. Minimally invasive treatments have gained prominence with the advent of immunotherapy. It has previously been shown that local treatments increase the immune system response and that the effect obtained by combining them is greater than when they are used individually⁸. At present, several ongoing clinical studies are being conducted to evaluate the synergy between immunotherapy and thermal ablation. Oligometastatic disease can also be treated with radiofrequency as it was demonstrated in the prospective RAPTURE study, which reported an overall survival of 89-92% and 64-66% at 1 and 2 years, respectively⁹. Similarly, a recent study evaluated the efficacy of radiofrequency in patients with colorectal lung metastases < 3 cm and found an overall 3-year survival of 84% and a complication rate of 1%¹⁰. As in NSCLC, metastases < 3 cm have better

■ FIGURE 6



A and B: hyperenhanced pulmonary nodule on PET-CT scan located in the anterior segment of the right upper lobe. C: electrode placed in the center of the tumor to be ablated. D: ablated pulmonary nodule. E: tomographic monitoring 1 month after the procedure. F: tomographic monitoring 3 months after radiofrequency ablation. G: tomographic monitoring 6 months after the procedure. H: PET-CT scan 1 year after ablation with no evidence of radiotracer uptake at the level of the ablated tumor.

response and longer survival. Other prognostic factors in oligometastatic disease are primary tumor origin, disease-free interval and > 3 lung metastases¹¹. Our experience includes 12 lung ablations in 9 patients between 2017 and 2022. Mean age was 62.33 (35-83) years and 55% (5 patients) were women. Of the 12 lung ablations, 58% (7 patients) were due to metastatic disease and 42% (5 patients) to NSCLC. The mean tumor diameter was 2 (1-3.3) cm. Overall morbidity was 42% (5 complications). Three patients (25%) presented

pneumothorax, and only one of these patients required placement of a Heimlich valve. In addition, 1 patient developed parenchymal hemorrhage and there was one case of pleural effusion; both were self-limited.

As a conclusion, radiofrequency ablation is a minimally invasive technique resulting in overall survival rates similar to those achieved with surgery in selected patients with early-stage NSCLC, local recurrence and oligometastatic disease who are not eligible for surgery.

Referencias bibliográficas /References

1. Instituto Nacional del Cáncer. Estadísticas-Incidencia. At: <https://www.argentina.gob.ar/salud/instituto-nacional-del-cancer/estadisticas/incidencia>; accessed 06/19/2022.
2. Petre EN, Solomon SB, Sofocleous CT. The role of percutaneous image-guided ablation for lung tumors. *Radiol Med* 2014;119:541-8. doi: 10.1007/s11547-014-0427-7.
3. Hiraki T, Gobara H, Fujiwara H, et al. Lung cancer ablation: complications. *Semin Intervent Radiol* 2013;30(2):169-75. doi:10.1055/s-0033-1342958.
4. Dupuy DE, Fernando HC, Hillman S, et al. Radiofrequency ablation of stage IA non-small cell lung cancer in medically inoperable patients: results from the American College of Surgeons Oncology Group Z4033 (Alliance) trial. *Cancer* 2015; 121:3491-8. doi: 10.1002/cncr.29507.
5. Palussière J, Chomy F, Savina M, et al. Radiofrequency ablation of stage IA non-small cell lung cancer in patients ineligible for surgery: results of a prospective multicenter phase II trial. *J Cardiothorac Surg* 2018; 13:91. doi: 10.1186/s13019-018-0773-y.
6. Uhlig J, Ludwig JM, Goldberg SB, et al. Survival rates after thermal ablation versus stereotactic radiation therapy for stage 1 non-small cell lung cancer: a national cancer database study. *Radiology* 2018; 289:862-70. doi: 10.1148/radiol.2018180979.
7. Cheng M, Fay M, Steinke K. Percutaneous CT-guided thermal ablation as salvage therapy for recurrent non-small cell lung cancer after external beam radiotherapy: A retrospective study. *Int J Hyperthermia* 2016; 32:316-23. doi: 10.3109/02656736.2015.1137640.
8. Rangamuwa K, Leong T, Weeden C, et al. Thermal ablation in non-small cell lung cancer: a review of treatment modalities and the evidence for combination with immune checkpoint inhibitors. *Transl Lung Cancer Res* 2021;10(6):2842-57. doi:10.21037/tlcr-20-1075.
9. Lencioni R, Crocetti L, Cioni R, et al. Response to radiofrequency ablation of pulmonary tumours: a prospective, intention-to-treat, multicentre clinical trial (the RAPTURE study). *Lancet Oncol*. 2008; 9:621-8. doi: 10.1016/S1470-2045(08)70155-4.
10. Hasegawa T, Takaki H, Kodama H, et al. Three-year survival rate after radiofrequency ablation for surgically resectable colorectal lung metastases: a prospective multicenter study. *Radiology* 2020; 294:686-95. doi: 10.1148/radiol.2020191272.
11. de Baère T, Aupérin A, Deschamps F, et al. Radiofrequency ablation is a valid treatment option for lung metastases: experience in 566 patients with 1037 metastases. *Ann Oncol* 2015; 26:987-91. doi: 10.1093/annonc/mdv037.