

RFA (肺)

1. LeVeen Needle を用いた肺 RFA について

大阪市立大学 放射線医学教室
山本 晃，大隈智尚，松岡利幸

はじめに

ラジオ波凝固療法 (RFA : radiofrequency ablation) は、低侵襲性と局所制御の有効性から主に肝癌に対して広く実施されている。肺腫瘍に対する RFA は、臨床応用が開始されてから 10 年近くを経過した現在¹⁾、治療成績や合併症の発生率等で中長期の成績が報告されるまでになってきた²⁾。治療成績は比較的良好な局所制御成績を有し、肺腫瘍に対する新たな治療の選択肢となる可能性が示されている。本稿では技術教育セミナー実施時における分担に従い、我々の施設で主に使用している Boston Scientific 社の Radiotherapeutic RF Ablation system (穿刺針 : LeVeen needle) を中心に、「電極針の特徴」「穿刺手技の実際とコツ、留意点」「通電方法」「治療成績」について概説する。

電極針の特徴

現在日本国内では 3 社 (Radiotherapeutic RF Ablation system : Boston Scientific, RITA RF Ablation system : RITA Medical, Cool-Tip RF Ablation system : Valleylab)

の RFA システムが利用できる。LeVeen needle は展開型の穿刺針で (図 1)、ジェネレーター (RF3000 または RF2000) および対極板 (4 枚または 2 枚) で RFA システムを構成する。RFA のエネルギー出力アルゴリズムは抵抗により変化させる方式を採用しており、温度によって出力を変化させる RITA システムとは異なっている。実際には 2 cm, 3 cm の展開針径を持つ LeVeen SuperSlim ニードル (17G) が主に使用されており、その他 14G の展開針径 3.5 cm, 4 cm の針が用意されている。展開型穿刺針は展開する細径針の広がり方を予測しづらく、中枢側血管近くに位置する病変の穿刺が困難であるが、展開すればその内側の凝固は確実なため腫瘍焼灼時の safety margin を推測しやすいという特徴を持つ。穿刺・展開後、エネルギー出力を上昇させていくと、穿刺針内に 8~10 本存在する展開針先端から凝固が始まり、先端が凝固すれば針の中心に向かって凝固が行われ、中心まで凝固すれば各展開針の間が凝固される。焼灼は原則としてロール・オフ (目的焼灼範囲に存在する細胞の熱凝固が進むことにより、水分が蒸発し、ラジオ波通電性が失われ電気抵抗値が最大になった状態) を得るまで行い、ロール・オフ時には球形に近い凝固形状を形成する。

穿刺手技の実際とコツ、留意点

穿刺・焼灼は当施設では局所麻酔下で行っている。局所麻酔後、CT ガイド下に LeVeen Needle を穿刺、先進させる。その際のコツ、留意点で代表的なものを以下に示す。

①経路の選定

可能な限り最短距離で、最短通過胸膜数で設定している。気胸や出血をできる限り防ぐために、経験的にも文献的にも³⁾、穿刺ルート of 距離や通過胸膜数は少ない方がよい。患者は対象病変の局在に応じて仰臥位または腹臥位をとる。穿刺は CT 断面で垂直穿刺が基本で、肋間から垂直穿刺が可能になるように、吸気あるいは呼気で、また浅い呼吸や深い呼吸でといったように呼吸で至適な穿刺経路を調整する。また肩甲骨が穿刺経路に入る時は枕を抱え込むようにしてもらえれば肩甲骨の場所が大きく動く事がある。女性の乳房が穿刺経路に入る時は、テープで乳房を引っ張るなどの

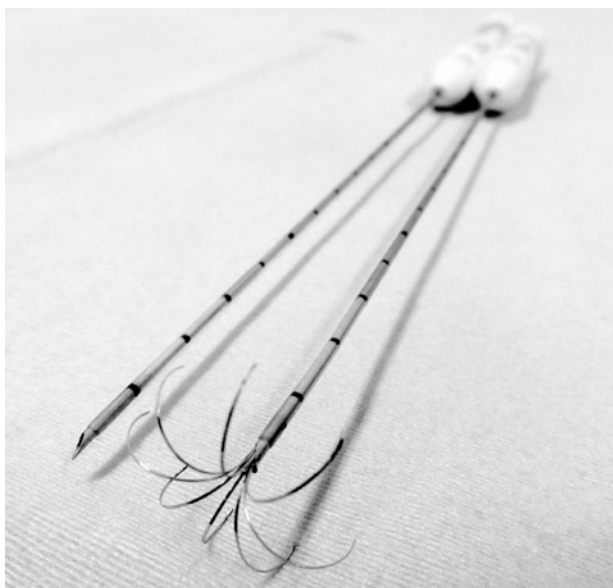


図 1 LeVeen Needle

展開前 (左側の針) と展開後 (右側の針)。穿刺針は 17G と細径で穿刺しやすい。シャフトに cm 単位でラインが刻まれており、穿刺時に目安とできる。

工夫で、腫瘍に対して垂直な穿刺経路をとるようにしている。どうしても肋骨の走行によって垂直穿刺が不可能な場合には、CT断面で斜めに穿刺を行う。病変と肋骨の位置関係によっては、肋間から頭側または尾側に向けて斜めに穿刺せざるを得ない場合もある。頭側に向けた穿刺の場合には、肋間動静脈、肋間神経を損傷しないように、肋骨下縁をかすめる穿刺は避ける。

②胸膜に接した病変

胸膜に接した病変においてはLeVein Needleの特徴上、十分な焼灼を得るために展開針が胸膜を貫通しなければならないことがある(図2)。我々の行った動物実験では⁴⁾ 胸膜を展開針が貫通した場合、胸膜は80度以上にも達し、熱損傷が強く認められており、臨床上でも同様にしばしば胸膜炎が生じることがある。また

焼灼時の疼痛も強く、焼灼中の疼痛コントロールが非常に肝要となる。腫瘍が小さな病変である場合にはあえて腫瘍の中心をねらわず展開針で焼灼する場合もある(図3)。今後は疼痛緩和に人工気胸法などの工夫も導入していく予定である⁵⁾。

③焼灼位置・回数の決定

当施設での肺RFAの初期では、根治可能例と考えられる腫瘍43個のうち7例に再発が認められ、その7例のうち5例がsafety margin不足と考えられた⁶⁾。焼灼範囲を把握するための基礎実験として、インピーダンスを正常肺の組織インピーダンスに近づけた卵白モデルでの通電実験では、しばしば凝固形状が球状にはいならず扁平な形状で凝固が起こることがわかっており(図4)、主に実質臓器である肝臓でのRFAの経験より



図2 50歳代男性、肝細胞癌肺転移に対するRFA

a | b | c

左下葉胸膜下肩甲骨下の17mm大の転移性腫瘍(a)に対してRFAを施行した。胸膜に接した病変はLeVein Needleでは穿刺ルートの設定が困難であることが多い。十分な焼灼範囲を得るためには3cm針を使用した上で胸膜を展開針が貫通する必要があった(b)。疼痛はfentanyl, midazolamでコントロール可能で術後のCTでhemorrhagic bandが腫瘍の周囲に認められ十分なsafety marginを確保して焼灼可能であった(c)。反応性の胸水が出現しているが経過観察で対応可能であった。その後再発は認めていない。

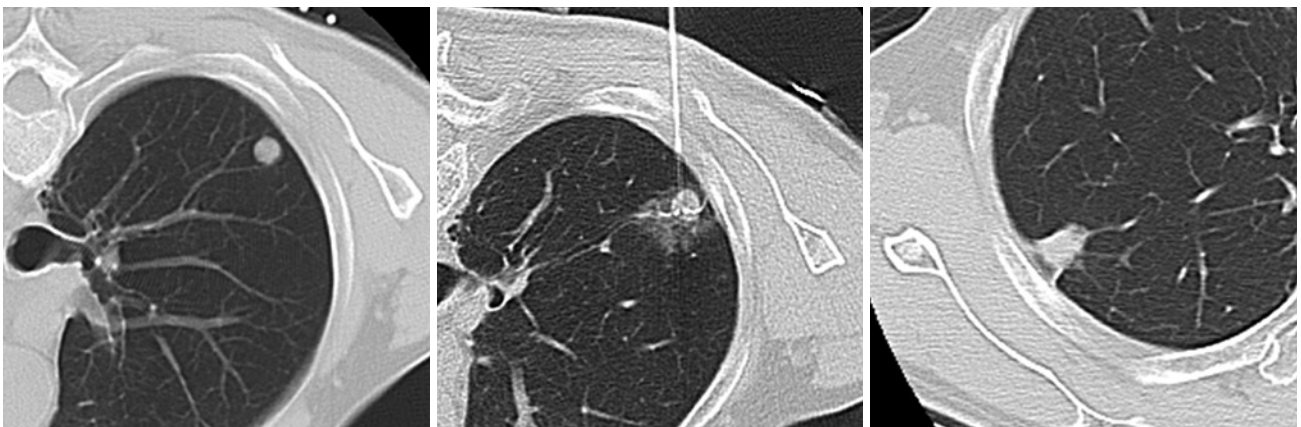


図3 70歳代男性、食道癌肺転移に対するRFA

a | b | c

右上葉胸膜下肩甲骨下の10mm大の転移性腫瘍(a)に対してRFAを施行した。腫瘍は胸膜近傍ではあったが、接してはおらず、展開針が胸膜を貫通しないように中心をやや避けて内側を穿刺した(b)。焼灼時の疼痛は自制範囲内であった。術後3ヵ月のCT(c)では良好な局所制御が得られている。

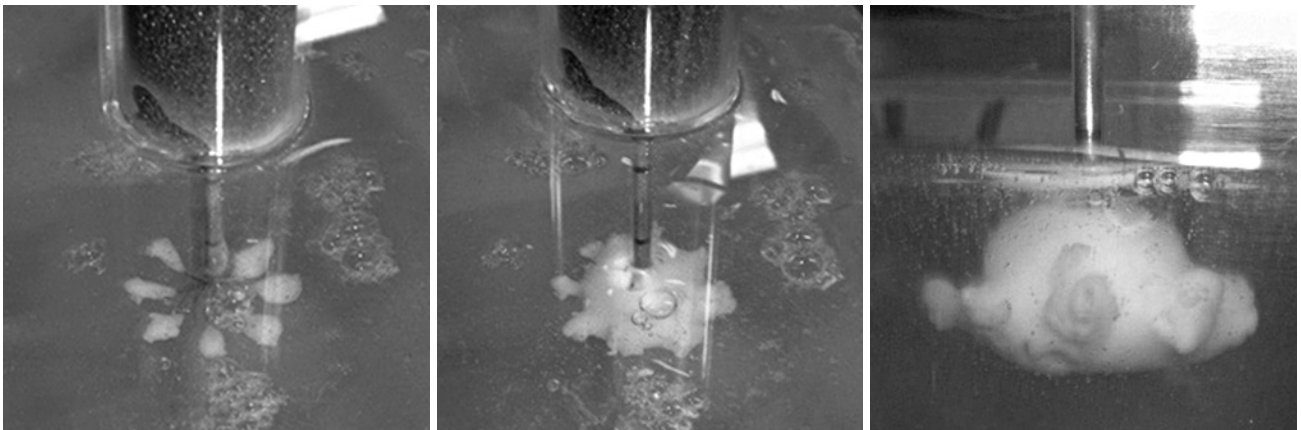
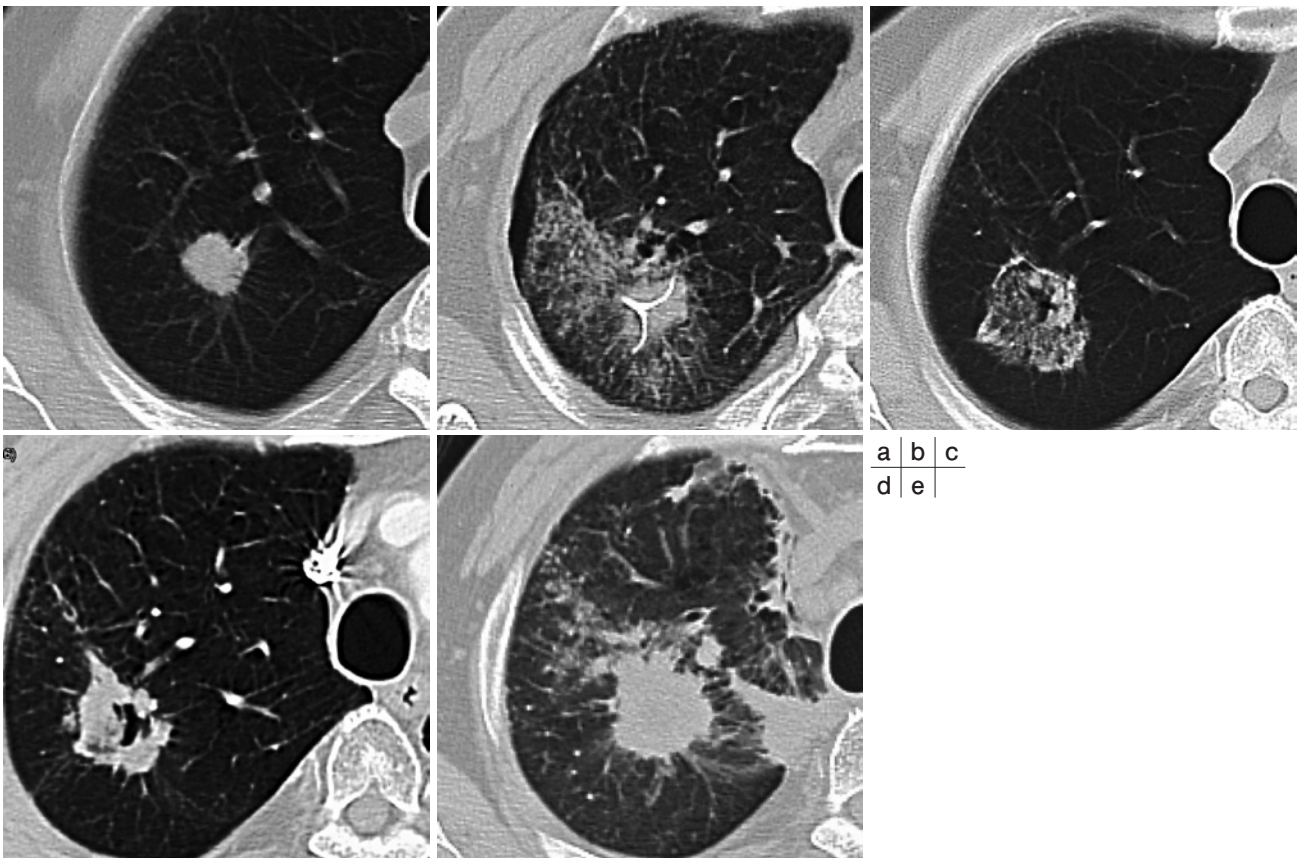


図4 LeVein Needleの焼灼実験

a | b | c

卵白のインピーダンスを肺実質に近づけた肺実質モデルで焼灼を行った。展開針先端から凝固が始まり (a)，先端が凝固すれば針の中心に向かって凝固が行われ，中心まで凝固すれば各展開針の間が凝固される (b)。メーカーの説明通りの凝固パターンが得られたがロール・オフ後の凝固形状は球形にはならず奥行きが足りない扁平な形状になることがあった (c)。



a	b	c
d	e	

図5 70歳代，原発性肺癌再発に対するRFA

肺RFA臨床応用開始初期の症例。当時はLeVein Needleの焼灼範囲についての経験が十分でなく，safety marginの認識も乏しい状態であった。右上葉の18mm大の再発腫瘍 (a) に対してRFAを施行した。腫瘍のほぼ中心の穿刺に成功したため，この部位での焼灼を3度行い治療終了した (b)。ロール・オフも得られたため治療効果に期待したが，術後8日目のCT (冠状断) では中枢側のsafety marginが不足していた (c)。術後3ヵ月で，術後8日目のすりガラス影に一致して肉芽組織による高濃度が認められる (d)。術後9ヵ月のCTでは再発が認められている (e)。

技術教育セミナー / RFA (肺)

も肺 RFA では焼灼範囲を過小評価すべきとの認識をもっている。特に展開針の奥の焼灼が不十分である事を数度経験したため (図5)，十分な焼灼範囲が得られていると考えられる場合でも，奥側，手前側と，できるだけ展開針の内側に腫瘍を入れて入念に焼灼するようにしている (図6)。

組織学的な検討では，肺癌では顕微鏡的腫瘍浸潤をカバーするために safety margin は6～8mm必要といわれている。肺組織を焼灼した動物実験でも焼灼後変化としてCTで認められる GGO 周辺部には不十分な凝固壊死しか得られないといった結果からも⁷⁾，肺腫瘍焼灼の際には腫瘍周囲十分な safety margin の確保を心がけている。

④ヒートシンクエフェクトの存在

肝臓では3mm以上の血管近傍でヒートシンクエフェクトが発生すると言われているが，我々の行った動物実験でも同様に3mm以上の血管や気管でヒートシンクエフェクトが認められた (図7)。血管や気管の近傍の腫瘍は，入念な焼灼が必要と考えている。そこで可能であれば，一度焼灼後ロール・オフが得られた場所でも一旦展開針を閉じ，回転させてから再び焼灼するように心がけている。実際，Hiraki らの再発の危険因子

での検討においても⁸⁾ 気管と接する病変の再発率は接していない病変よりも単変量解析で局所再発のリスクが高い結果が示されている。

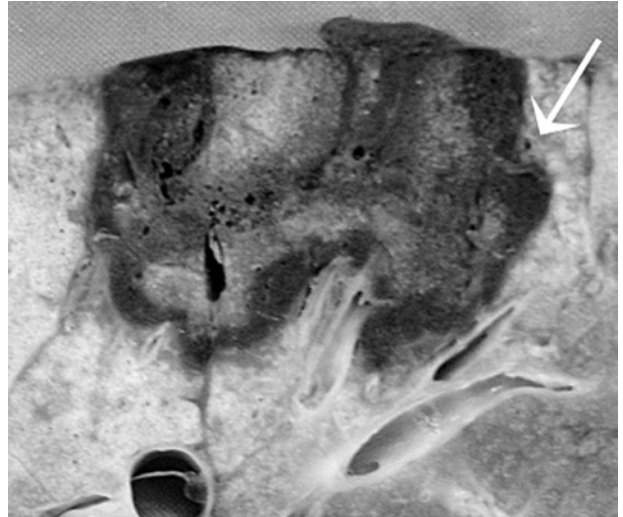


図7 豚正常肺における RFA 後の固定後マクロ像

本来円型になるべき焼灼部 (図中周囲の褐色部) は外周 hemorrhagic band，内部は凝固壊死が誘導される焼灼部) が気管血管束近傍で焼灼できず凹型に変形している。ヒートシンクエフェクトである。この現象は小さな気管近傍にも認められる (→)。

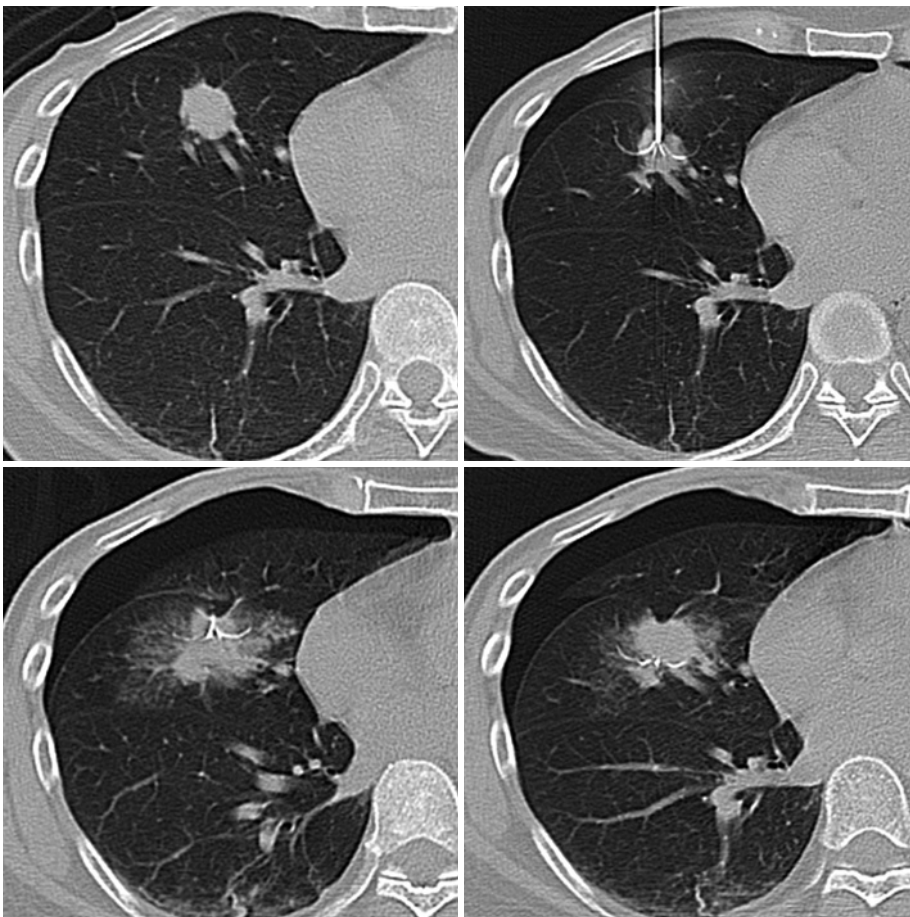


図6 50歳代，大腸癌肺転移に対する RFA

右中葉の20mm大の腫瘍 (a) に対して RFA を施行した。中心部 (b)，奥側 (c)，手前側 (d) と，針で囲むように腫瘍を焼灼。計4回の焼灼でいずれもロール・オフを得る事ができた。現在はこの症例のように入念な焼灼を行っている。術後再発は認めていない。

⑤大血管に接した病変

展開針であるために、どうしても心臓や径5mm以上の脈管や気管などに接した病変は焼灼困難な場合がある(図8)。その場合は無理をせず単極針型のRFAシステムを使用する等、柔軟に対応している。

⑥その他

LeVeen Needleは先端があまり鋭くなく、小さな腫瘍を焼灼する場合、腫瘍表面を針の先端がすべり貫通しないことが経験される。腫瘍の中心を穿刺できれば貫通できることが多いが、困難な場合は少なくとも展開針の内側で囲むように焼灼している。LeVeen Needleは展開が一旦行われると、展開した針が腫瘍/肺実質にしっかりと固定される。このため呼吸変動の影響が大きい横隔膜直上の病変でもRFA治療を安全に実施可能である。こういった支持機能を利用するとLeVeen Needleで焼灼後、一度抜いて場所を変えて焼灼を行おうとする場合、気胸が進行しているような場合には、気胸進行を止める意味からもあえて展開針の展開を解かず、2本目の針を刺してから1本目の針を抜去する等の工夫も可能である。

通電方法

肝臓におけるRFA同様、肺癌に対するRFAにおいてもロール・オフを得る事は再発防止に非常に重要であると重ねて報告されている^{8,9)}。我々の動物実験で焼灼部の肺実質の温度を測定しても、ロール・オフ直前に著明な温度の上昇が起こる事が確認できた。そのため焼灼時にロール・オフが得られないときは針を回転させる・場所を変えるなどの工夫が必要で、可能な限りロール・オフが得られるようにする。また3cm, 3.5cmの大型展開針を用いた場合にはロール・オフを得る事が困難

な場合がある。その場合は肝臓で行われているように最初は半分程度の展開を行い、続いて全展開にする等の多段階焼灼を行うとロール・オフが得られる事が多い。また腫瘍内部の圧を上昇させず焼灼できるため、播種を防ぐためにも多段階焼灼は有効であるかもしれない¹⁰⁾。実際の通電方法に関しては当施設で採用している通電プロトコルを示す(図9)。肺癌に対するRFAと比較して出力上昇が緩徐であることが特徴である。通電時の疼痛は、病変が胸壁から10mm以内に近接している場合に高度なことが多い。鎮痛剤として初期にはpentazocineを使用していたが、鎮痛効果が弱い。RFA

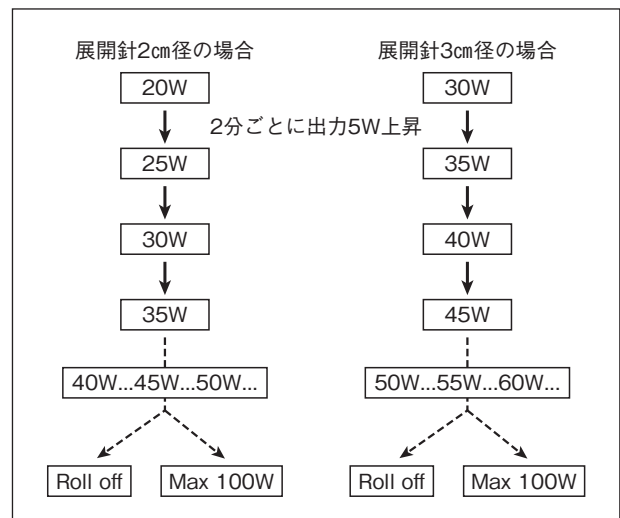


図9 当施設における焼灼プロトコル

展開針が2cm径の場合20Wから開始、展開針が3cm径の場合30Wから開始、以降2分で5Wの出力上昇を行い、原則としてロール・オフを目指す。ロール・オフが認められない場合の上限は100Wとする。



図8 50歳代、原発性軟部悪性混合腫瘍肺転移に対するRFA

右房近傍の20mm大の腫瘍(a)に対してRFAを施行した(b)。こういった大血管の近傍では展開型針を使用困難な場合も多い。この症例では単極針型RFAシステム(Cool-Tip)を使用している。

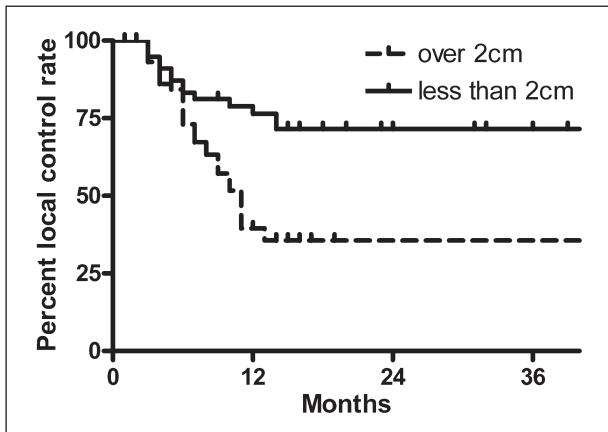


図10 当施設における局所再発率(2cm未満と2cm以上の腫瘍径で分類)(文献9より改変)

単変量解析にて、局所再発率は2cm以上の腫瘍群が2cm未満の腫瘍群に対して有意に($p < 0.05$)高い結果であった。RFAは特に2cm以下の腫瘍に適していると考えられる。

時の疼痛に対してはfentanylが鎮痛効果に優れている印象があり、最近では、適宜静注し、midazolamの鎮静剤として併用している。この処方を採用して後、通電中の疼痛のため治療不十分で終わる症例は激減した。

治療成績

当施設での9年の成績を示す⁹⁾(図10)。これらの成績は過去に報告されている他施設の成績と大きな差は認められない。我々は主に展開針を使用しているため単極針との比較はできないが、HirakiらはCool-Tip needleとLeVeen needleの局所制御成績ではLeVeen Needleの方が局所制御率が良いと報告しており⁸⁾、肺胞内空気に囲まれ熱伝達が悪いと考えられる肺において、主に多数の展開針で確実に腫瘍の焼灼凝固を行うLeVeen Needleは肺腫瘍に対するRFAでは特に有効である可能性がある。

おわりに

肺RFAは小さな肺癌に対して比較的安全で効果的な治療法である。国内で使用できる3社のRFAシステムの特徴と欠点を理解し、臨床に生かす事がより優れた成績を示すために必要と考えられる。エビデンスの確立や安全性の追求等の課題も残るが、今後もさらなる発展が期待される。

【参考文献】

- 1) Dupuy DE, Zagoria RJ, Akerley W, et al: Percutaneous radiofrequency ablation of malignancies in the lung. *AJR Am J Roentgenol* 174: 57-59, 2000.
- 2) Yamakado K, Hase S, Matsuoka T, et al: Radiofrequency ablation for the treatment of unresectable lung metastases in patients with colorectal cancer: a multicenter study in Japan. *J Vasc Interv Radiol* 18: 393-398, 2007.
- 3) Hiraki T, Tajiri N, Mimura H, et al: Pneumothorax, pleural effusion, and chest tube placement after radiofrequency ablation of lung tumors: incidence and risk factors. *Radiology* 241: 275-283, 2006.
- 4) Okuma T, Matsuoka T, Yamamoto A, et al: Chest wall temperature during radiofrequency ablation in a normal rabbit lung model *Jpn J Radiol* 28: 48-52, 2010.
- 5) Lee EW, Suh RD, Zeidler MR, et al: Radiofrequency ablation of subpleural lung malignancy: reduced pain using an artificially created pneumothorax. *Cardiovasc Intervent Radiol* 32: 833-836, 2009.
- 6) Matsuoka T: The study about the factor of local recurrence after RF ablation for small lung malignancies. 2007 SIR Annual Scientific Meeting.
- 7) Yamamoto A, Nakamura K, Matsuoka T, et al: Radiofrequency ablation in a porcine lung model: correlation between CT and histopathologic findings. *AJR Am J Roentgenol* 185: 1299-1306, 2005.
- 8) Hiraki T, Sakurai J, Tsuda T, et al: Risk factors for local progression after percutaneous radiofrequency ablation of lung tumors: evaluation based on a preliminary review of 342 tumors. *Cancer* 107: 2873-2880, 2006.
- 9) Okuma T, Matsuoka T, Yamamoto A, et al: Determinants of local progression after computed tomography-guided percutaneous radiofrequency ablation for unresectable lung tumors: 9-year experience in a single institution. *Cardiovasc Intervent Radiol* 33: 787-793, 2010.
- 10) Nakamuta M, Kohjima M, Morizono S, et al: Comparison of tissue pressure and ablation time between the LeVeen and cool-tip needle methods. *Comp Hepatol* 5: 10, 2006.

RFA (肺)

2. 肺RFAの合併症全般について

岡山大学 放射線科
平木隆夫

はじめに

肺ラジオ波焼灼療法(以下、肺RFA)は低侵襲治療ではあるが、様々な合併症を引き起こすことがあり、稀に死亡例も報告されている。気胸や空気塞栓、腫瘍の播種など電極針の穿刺に伴うものと胸水や末梢神経損傷など熱損傷によるものに大別される。ここでは、それぞれの合併症の頻度や危険因子、リスクを低減する工夫などについて述べる。

気 胸

気胸は、最も高頻度にかかる合併症である。頻度は11～52%と報告によりかなり幅があるが、経皮的肺生検と比べると、針が太く、胸膜穿刺回数も多く、手技時間も長いので、頻度はやや高いものと思われる。多くは保存的に治療可能であるが、6～21%では、胸腔ドレーン留置を要する。また、約10%で遅発性に生じるとされており、退院後に気胸が生じることもあり注意を要する。

気胸の危険因子としては様々なものが挙げられているが、多病変を治療したとき、小病変や中下葉の病変、深部の病変を治療したとき、肺気腫や高齢の患者、葉間胸膜を貫いて穿刺した場合などが挙げられている^{1,2)}。気胸のリスクを低減するためにも胸膜穿刺の回数は最小限に留めたい。また、経皮的肺生検後の気胸に関す

る研究では、術後穿刺点を下にした体位をとることがリスクを低減するとの結果も報告されており、試みる価値はある。

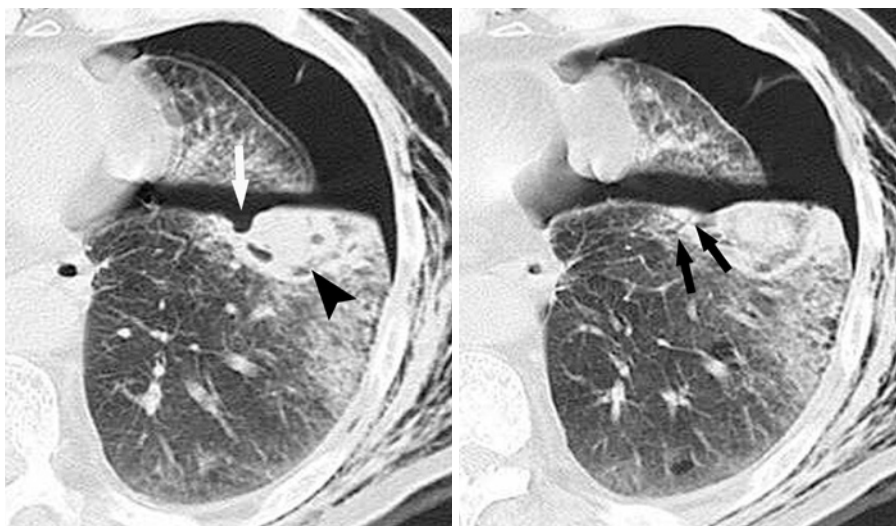
胸腔ドレーンを留置した後もなかなか空気漏れが止まらない難治性の気胸がみられることがある(図1)。気管支胸腔瘻を生じたためと思われる、胸膜癒着術や気管支鏡による気管支内充填、胸腔鏡下瘻孔閉鎖などでの治療を要する。難治性気胸の頻度は0.2～0.9%と稀ではあるが、術関連死亡の原因にもなり得る重篤な合併症である³⁾。

胸 水

胸水は胸膜の熱損傷に伴う滲出性胸水と考えられ、その頻度は4～19%とされている。そのほとんどは保存的に治療可能である。胸水発生の危険因子としては、クラスター針の使用、胸膜に近い病変の治療が挙げられている¹⁾。

腫瘍の播種

腫瘍の電極針経路上への播種(図2)は、0.2～0.7%の頻度で生じるとされている。報告例では、Cool-tip針を用いて焼灼し、焼灼直後の電極針先端の温度が十分に上昇せず(<60℃)、電極針経路の焼灼(tract ablation)を施行しなかった症例で起こっている⁴⁾。腫瘍を貫く際に電極針先端に付着した腫瘍細胞が、十分に加熱され



a | b

図1 気管支胸腔瘻による難治性気胸(文献3より引用)

a: 葉間胸膜に接した腫瘍(矢頭)のRFA 2日後のCT画像にて、葉間胸膜に欠損(矢印)がみられ、気胸が生じている。

b: aより5mm下方のレベルにて細気管支(矢印)が気胸腔に連続しており、気管支胸腔瘻が示唆される。

ないため死滅せず、電極針を抜去する際に生きた腫瘍細胞を撒いてしまったものと推察される。焼灼直後の電極針先端の温度が60℃に達しなかった場合は、内部冷却を行わずに焼灼を追加し、電極針先端の温度を一旦90～100℃まで上げた後、tract ablationをしながら抜去することが勧められる。また、コアキシャル法を用いれば播種リスクは低減するかもしれないが、電極針より太いコアキシャル針を使用することによる気胸や出血など他の合併症の増加が懸念される。

末梢神経損傷

末梢神経は熱に弱く、45℃程度の加熱でも損傷を受けるとされている。よって、横隔神経や腕神経などの神経近傍に位置する腫瘍を焼灼すれば神経損傷は十分起き得る合併症であり、まずそれらの神経の走行を熟知しておく必要がある。我々が経験した横隔神経損傷7例では、全例術中に肩や歯への放散痛を訴えており、横隔神経への刺激を示唆するサインと考えている。横隔神経損傷をきたすと肺活量が1ℓ程度低下することもあり、呼吸機能が不良な例では特に注意が必要である。

腕神経損傷は、肺尖部腫瘍を治療した場合に生じ得る⁵⁾。腕神経叢はC5～T1神経根からなっているが、損傷を受けやすいのはC8、T1神経根およびそれらが合流して形成される下神経幹である。神経症状は上腕、前腕尺側から第4、5指に生じる。遅発性に症状が発生する場合もある。症状は通常徐々に改善し、軽度の感覚異常を残す程度で済むことが多いが、患者のQOL (quality of life) を損ねることには違いない。また、稀に運動障害を残すこともあり、その場合は更に深刻である。予防措置としては、人工気胸を作成し神経と腫瘍との間に距離をとることが有効と思われるが、実際には肺尖部や縦隔側に人工気胸を作成するのは困難なことが多い。

空気塞栓症

経皮的肺生検に伴う空気塞栓症の報告は近年増加しているが、肺RFAにおいても起こり得るものである⁶⁾ (図3)。死にも至る可能性のある重篤な合併症である。危険因子や有効な予防措置は明らかではないが、比較的大きな気管支や肺静脈の穿刺を避けることは最低限必要なことと思われる。また、手技中の咳発作は気道内圧を高め大変危険と思われ、咳症状を伴う患者にはなるべく施行しないが、どうしても施行しないといけない場合は鎮咳剤を処方する。

大量出血、肺偽性動脈瘤

肺門部腫瘍をRFA後に多量出血をきたし死亡した例



図3 空気塞栓症 (国立病院機構 近畿中央胸部疾患センター放射線科 大隈智尚先生の御厚意による) RFA直後のCT画像にて下行大動脈内に空気の迷入 (矢印) を認める。

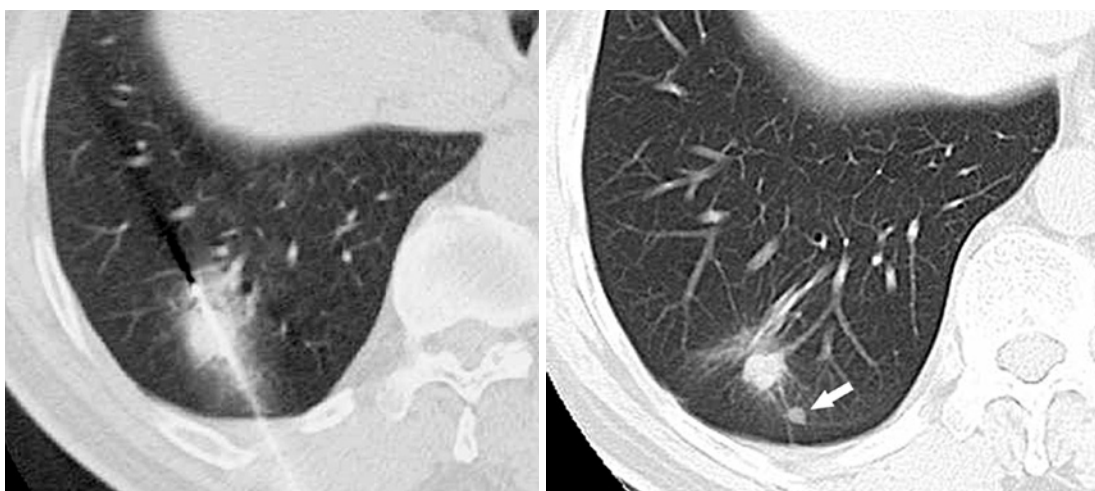


図2 電極針経路上の腫瘍播種 (文献4より引用)

a: RFA中のCT透視画像にて、背側胸壁から腫瘍に電極針が刺入されている。

b: RFA 4ヵ月のCT画像にて電極針の経路上に小結節の出現がみられ、播種と思われる。

a | b

が報告されている⁷⁾。また、肺動脈壁の損傷によりRFA後に偽性動脈瘤(図4)を生じることがある⁸⁾。多量の喀血で発症し、造影CTにて偽性動脈瘤が疑われ、経カテーテル的コイル塞栓術が施行されている。予防措置として有効なものは明らかではないが、血痰や喀血がみられた場合は、この合併症を疑い、造影CTを施行し、焼灼域近傍の肺動脈を注意深く観察し、発見すれば直

ちに塞栓することが肝要と思われる。

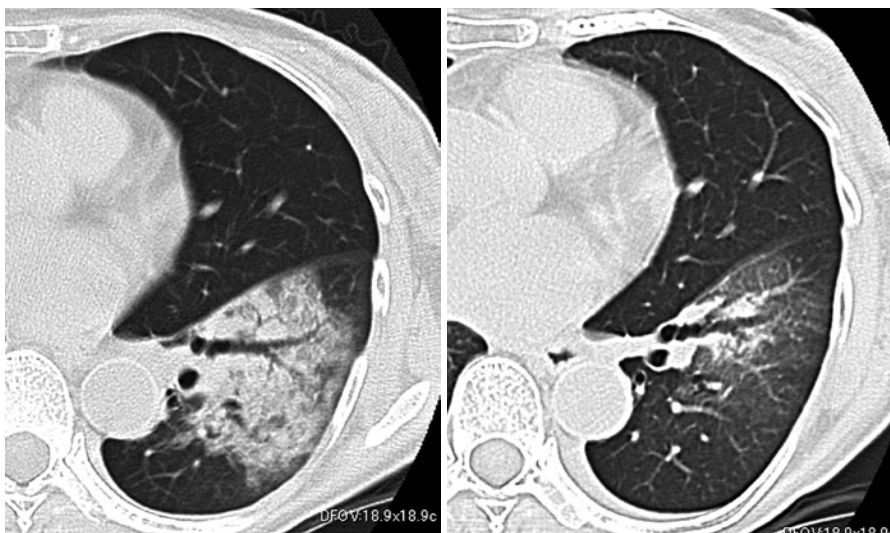
肺 炎

肺RFA後に間質性肺炎が生じて死亡したとの報告がある⁹⁾。また、RFA後に焼灼域外に浸潤影が生じることも時に経験する(図5)。機序はよく分かっていないが、焼灼により生じた肺胞腔の浸出液が経気道性散布



図4 肺偽性動脈瘤(文献8より引用)

- a: RFA前のCT画像にて左舌区の肺動脈近傍に小結節(矢印)がみられる。
- b: RFA 44日後の造影CT画像にて肺動脈瘤(矢印)を認める。
- c: 肺動脈造影にても肺動脈瘤(矢印)は確認される。
- d: 親動脈を動脈瘤の遠位から近位にかけてコイル塞栓した。



a | b

図5 RFA後肺炎

- a: RFA 2日後のCT画像では、焼灼域外に広範に浸潤影が広がっている。
- b: ステロイドを3日間投与後撮影したCT画像では浸潤影は著明に改善している。

され、それらに対して何らかの反応が生じたものと推察している。高度炎症を伴う事が多いが、呼吸器症状には乏しく、ステロイドに良好に反応することが多い。

間質性肺炎の急性増悪

間質性肺炎症例で、RFA後に急性増悪(図6)をきたし死亡した報告がある¹⁰⁾。RFAによる急性増悪のリスクがどの程度のものであるかを示すデータはなく、現段階で間質性肺炎症例を禁忌とするべきかどうかを決めることは出来ない。しかしRFAを施行する場合は、通常の症例よりもかなり高いリスクを負っての治療になることは覚悟する必要がある。



図6 間質性肺炎の急性増悪(国立病院機構近畿中央胸部疾患センター放射線科 大隈智尚先生の御厚意による)

左肺の腫瘍(矢印)のRFA9日後のCT画像にて、両肺に広範に浸潤影が広がっている。左側には気胸も生じている。

最後に、胸膜下腫瘍のRFAの際に、胸壁の熱損傷予防や術中の痛み軽減のために人工気胸を作成することがあるが、その方法を紹介する(図7)。まず展開型の電極針(LeVeen針)を腫瘍に刺入し、針を展開する。この状態で電極針を押すと胸腔にテント上のスペースができる。そこに針を刺入し、CO₂もしくは空気を注入し、大きな気胸腔を作る。胸膜癒着のある場合は困難なこともあるが、大部分の症例では容易に作成できる。

おわりに

上記のように肺RFAには様々な合併症のリスクがあり、時に死に至ることもある。それぞれの合併症の頻度や危険因子などをよく理解した上で患者に十分に説明し、治療のリスクとベネフィットとのバランスを考え慎重に適応を決定する必要がある。また、有効な予防措置がある場合にはそれを講じ、それでもなお合併症が生じた場合には、迅速かつ適切に対応することが重要である。

【参考文献】

- 1) Hiraki T, Tajiri N, Mimura H, et al: Pneumothorax, pleural effusion and chest tube placement after radiofrequency ablation of lung tumors: incidence and risk factors. *Radiology* 241: 275-283, 2006.
- 2) Nour-Eldin NE, Naguib NN, Saeed AS, et al: Risk factors involved in the development of pneumothorax during radiofrequency ablation of lung neoplasms. *AJR Am J Roentgenol* 193: 43-48, 2009.
- 3) Sakurai J, Hiraki T, Mukai T, et al: Intractable pneumothorax due to bronchopleural fistula after radiofrequency ablation of lung tumors. *J Vasc Interv Radiol* 18: 141-145, 2007.

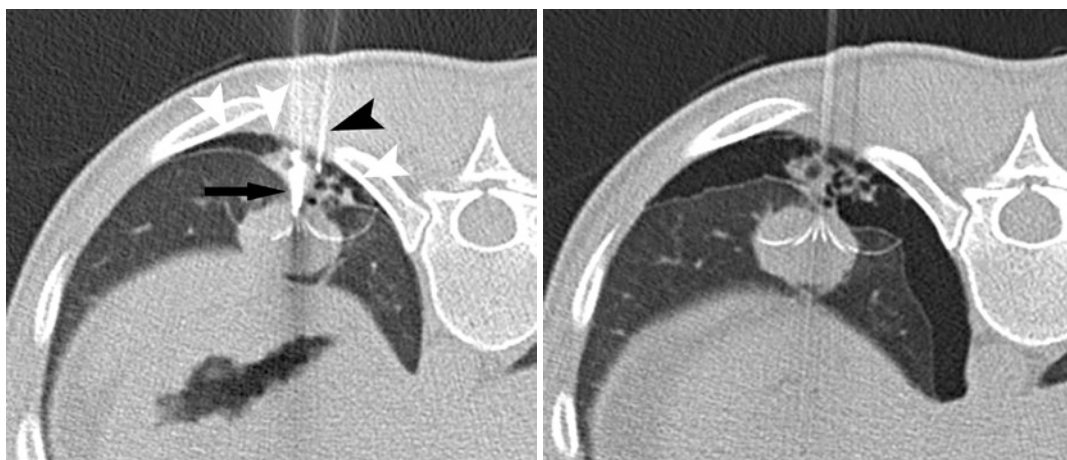


図7 人工気胸の作成

- a: 展開型電極針(矢印)を腫瘍に刺入し、電極針を展開した後に、針を押すと胸腔にテント上のスペース(矢頭)ができる。そこに針(黒矢頭)を刺入する。
b: 胸腔に刺入した針から胸腔内にCO₂もしくは空気を注入し、大きな気胸腔を作成する。

- 4) Hiraki T, Mimura H, Gobara H, et al: Two cases of needle tract seeding after percutaneous radiofrequency ablation for lung cancer. *J Vasc Interv Radiol* 20: 415-418, 2009.
- 5) Hiraki T, Gobara H, Mimura H, et al: Brachial nerve injury caused by percutaneous radiofrequency ablation of apical lung cancer: a report of four cases. *J Vasc Interv Radiol* 21: 1129-1133, 2010.
- 6) Okuma T, Matsuoka T, Tutumi S, et al: Air embolism during needle placement for CT-guided radiofrequency ablation of an unresectable metastatic lung lesion. *J Vasc Interv Radiol* 18: 1592-1594, 2007.
- 7) Sano Y, Kanazawa S, Gobara H, et al: Feasibility of percutaneous radiofrequency ablation for intrathoracic malignancies: a large single-center experience. *Cancer* 109: 1397-1405, 2007.
- 8) Sakurai J, Mimura H, Gobara H, et al: Pulmonary artery pseudoaneurysm related to radiofrequency ablation of lung tumor. *Cardiovasc Intervent Radiol* 33: 413-416, 2010.
- 9) Nomura M, Yamakado K, Nomoto Y, et al: Complications after lung radiofrequency ablation: risk factors for lung inflammation. *Br J Radiol* 81: 244-249, 2008.
- 10) Okuma T, Matsuoka T, Hamamoto S, et al: Percutaneous computed tomography-guided radiofrequency ablation of lung tumors complicated with idiopathic interstitial pneumonia. *Ann Thorac Surg* 87: 948-950, 2009.

RFA (肺)

3. Cool-tip RF ablation systemを用いた肺RFAのポイント

三重大学 放射線診断科，IVR科¹⁾児玉大志，山門亨一郎¹⁾，高木治行¹⁾，鹿島正隆¹⁾，浦城淳二¹⁾
中塚豊真¹⁾，山中隆嗣¹⁾，村嶋秀市，竹田 寛

はじめに

原発性肺癌は多くの国で癌死因の第一位である^{1,2)}。他の癌腫でも肺は転移の好発部位であり，転移性肺癌も多く，多くの患者の死因となっている^{1,2)}。原発，転移を問わず，肺悪性腫瘍に対しては外科的切除が生命予後をも最も延長させる治療方法と考えられているが，年齢や心肺機能，癌の進行状況などから，手術適応となる患者は10～30%以下と報告されている^{2,3)}。

近年，肺ラジオ波凝固療法 (radiofrequency ablation, 以下RFA) の安全性，高い実行性，良好な抗腫瘍効果が多数報告されるようになってきた^{4,5)}。

本稿では，Cool-tip RF ablation systemを用いた場合の肺RFAのポイントについて解説する。

RFA針の種類とその特徴

現在，本邦で使用可能なRFAシステムは3種類存在する (図1)。Cool-tip針は冷水を内部環流させる事によって電極周囲の組織が炭化するのを防ぎ，電気伝導性を向上させ，広範囲の焼灼を可能とする工夫がなされている。他2種類のRFA針との大きな違いは，Cool-

tip針が単極針であるのに対し，他2社の電極は展開針である事が挙げられる。単極針と展開針ではその焼灼範囲に差異がみられ，展開針の方がより広範囲に焼灼され，その焼灼範囲も推定しやすいと言われている。肺RFAの焼灼範囲は組織の熱・電気伝導性，血流及び換気の影響を大きく受けるが^{4,5)}，Cool-tip針は単極針であるがためにその影響をより受けやすいというのが理由とされている。Cool-tip針を用いた場合，展開針と比較して局所再発が有意に高いとの報告もあるため⁸⁾，この点に十分に留意して治療を行う必要がある。一方，Cool-tip針には単極針ならではの利点も存在する。展開針はその針を展開する際に三次元的な位置調整が必要となり，血管等の周囲構造物を誤穿刺する危険性が高くなるが，単極針の場合はそういった危険性は低い。このため，肺門側や胸膜，横隔膜に隣接した病変は単極針の方が使いやすいといった特徴がある。

良好な焼灼範囲を得るためのコツ

上述のごとく，肺RFAの焼灼範囲は周囲環境の影響を受け，想定していた焼灼範囲が得られない可能性もある。術前に焼灼計画を十分に練る事も大事であるが，

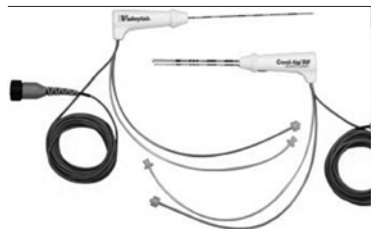
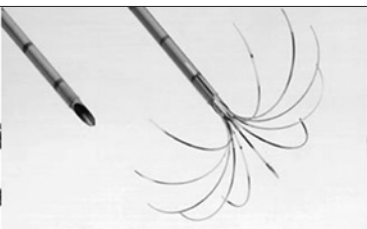
Cool-tip	LeVeen	Handpiece
Vallylab	Boston Scientific	RITA
単極針型	展開針型	展開針型
温度モニター付冷水内部還流		温度モニター付
17G	15～17G	15G
		

図1 RFAシステムの種類

現在本邦で使用可能なRFAシステムは3種類ある。Cool-tip針は冷水を内部環流させる事によって電極周囲の組織が炭化するのを防ぎ，電気伝導性を向上させ，広範囲の焼灼を可能とする工夫がなされている。他2種類のRFA針との大きな違いは，Cool-tip針が単極針であるのに対し，他2社の電極は展開針である事が挙げられる。

焼灼範囲が予測通りに得られない場合には、臨機応変に治療を行う事も重要となる。肺RFA後の焼灼範囲はすりガラス陰影としてCT画像で描出される⁹⁾。従って、RFA治療のエンドポイントは腫瘍周囲を十分にすりガラス影が取り囲む事である(図2)。

すりガラス影が十分に腫瘍を取り囲んでいないと思われた場合には電極の位置調整、あるいは電極を追加穿刺する事が必要な場合があり、これが良好な焼灼範囲を得るための一つのコツとなる(図3, 4)。また、径の大きな腫瘍や歪な形態をした腫瘍に対して良好な焼灼範囲を得るためには、当初より複数本の電極を用いて焼灼する計画を練る事も必要である(図5)。

Cool-tip針の利点を生かした焼灼

Cool-tip針は単極針であるが故に、針位置の調整が容易で、血管や胸膜、横隔膜等を誤穿刺する危険性が低

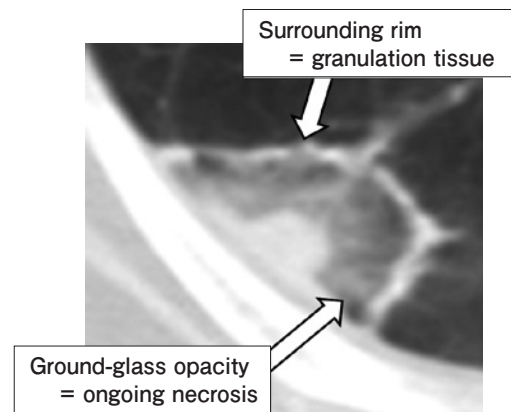


図2 肺RFA後焼灼範囲

肺RFA後の焼灼範囲はすりガラス陰影としてCT画像で描出される。辺縁の線状影は肉芽組織で、これより内側のすりガラス影が壊死に陥る領域と考えられている。

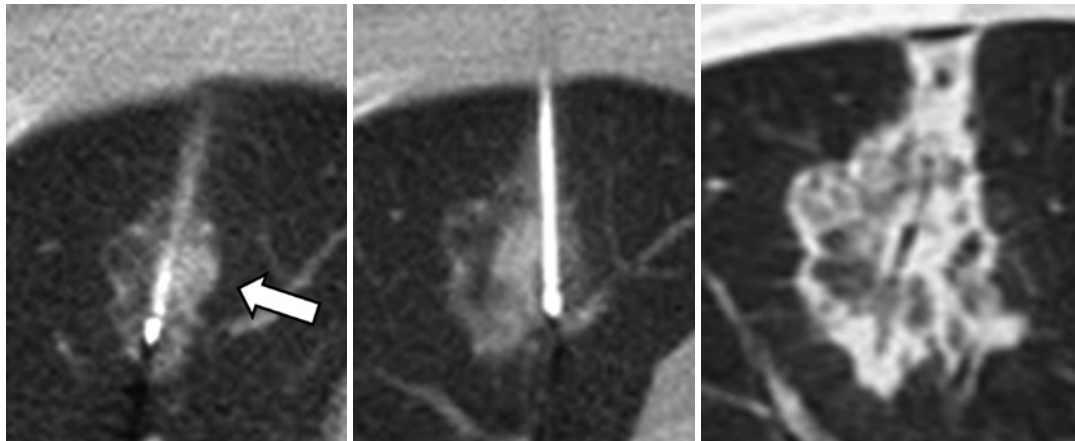


図3 良好な焼灼範囲を得るために：電極を穿刺し直して追加焼灼

a | b | c

- a: RFA中のCT上、結節内側を十分にすりガラス影が取り囲んでいない(矢印)。
- b: 焼灼不十分と思われる部位に電極を穿刺し直して焼灼。
- c: 効果判定CTでは良好な焼灼範囲が得られている。

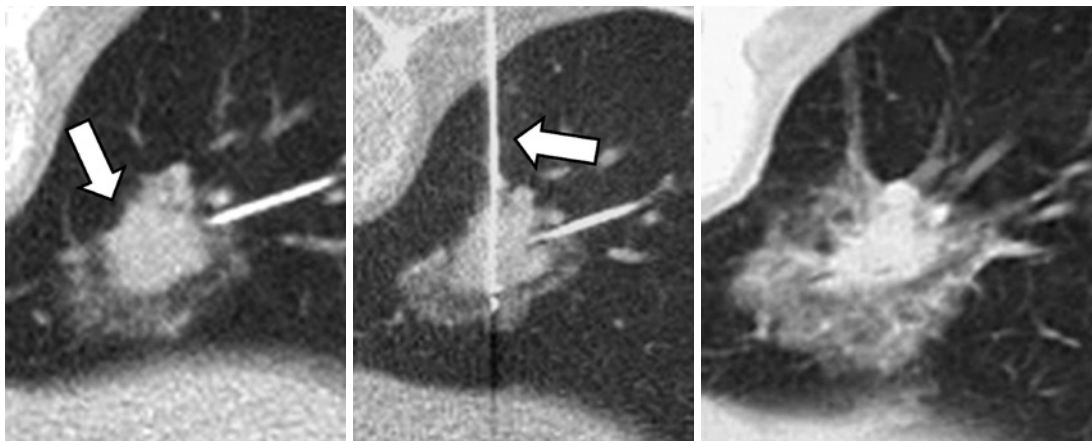


図4 良好な焼灼範囲を得るため：新たな電極を穿刺して追加焼灼

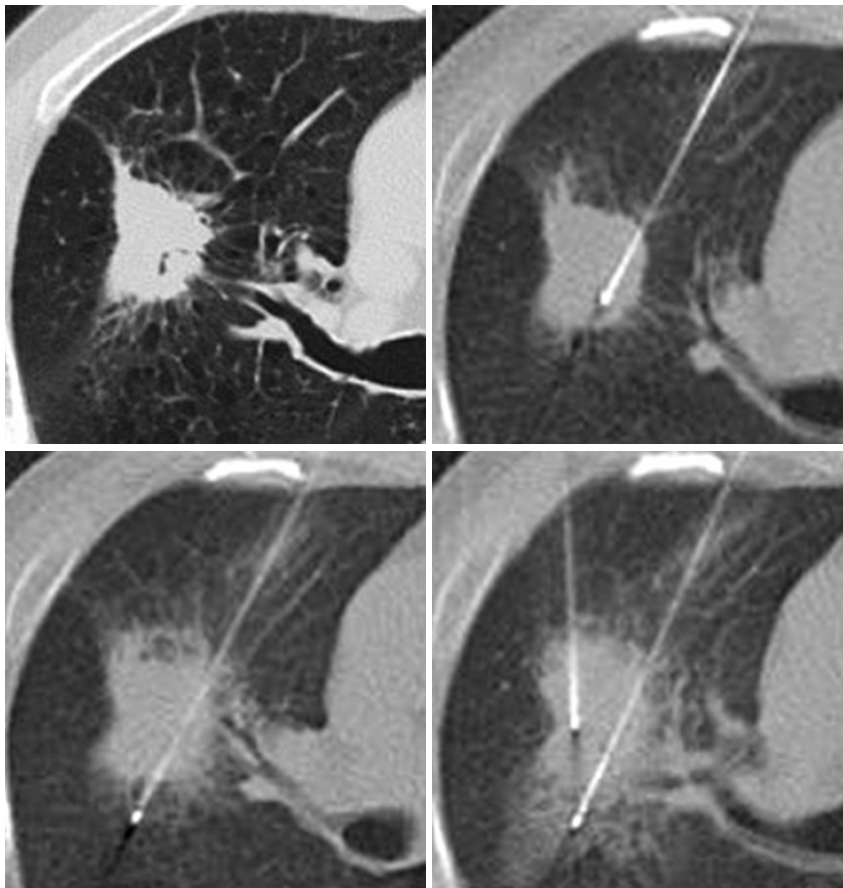
a | b | c

- a: RFA中のCT上、腫瘍背側を十分にすりガラス影が取り囲んでいない(矢印)。
- b: 焼灼不十分と思われる部位に新たに電極を留置して焼灼(矢印)。
- c: 効果判定CTでは良好な焼灼範囲が得られている。

技術教育セミナー / RFA (肺)

い。このため腫瘍の形態や局在によってはCool-tip針を用いた方がより安全に焼灼できる場合がある。胸膜に沿って広がった腫瘍に対しては、Cool-tip針を用いれば腫瘍の形態に合わせて留置して焼灼することが容易で、電極を展開して治療するよりも腫瘍の隣接する

胸膜や横隔膜に損傷を与える危険性が減少する(図6)。また、肺門側など血管の密集する領域では、Cool-tip肺を用いた場合、電極を適切な部位に留置する事さえできれば電極を展開する必要がないため比較的安全に焼灼が可能となる(図7)。



a	b
c	d

図5 良好な焼灼範囲を得るために：複数本で焼灼

- a: 径の大きな腫瘍や形態の歪な腫瘍に対しては、1本の電極留置では十分な焼灼範囲が得られないことが多い。このため当初から複数本の電極を用いて焼灼を行う計画を立てる必要がある。
- b: 先に肺門に近い部位を焼灼しておくと、heat-sink effectが軽減され広い焼灼範囲が得られやすいため、まず腫瘍内側に電極を留置し焼灼。
- c: 次にこの電極を進め、腫瘍尾側を焼灼。
- d: さらにもう一本電極を腫瘍外側に留置し焼灼することで、良好な焼灼範囲を得ることが可能となる。

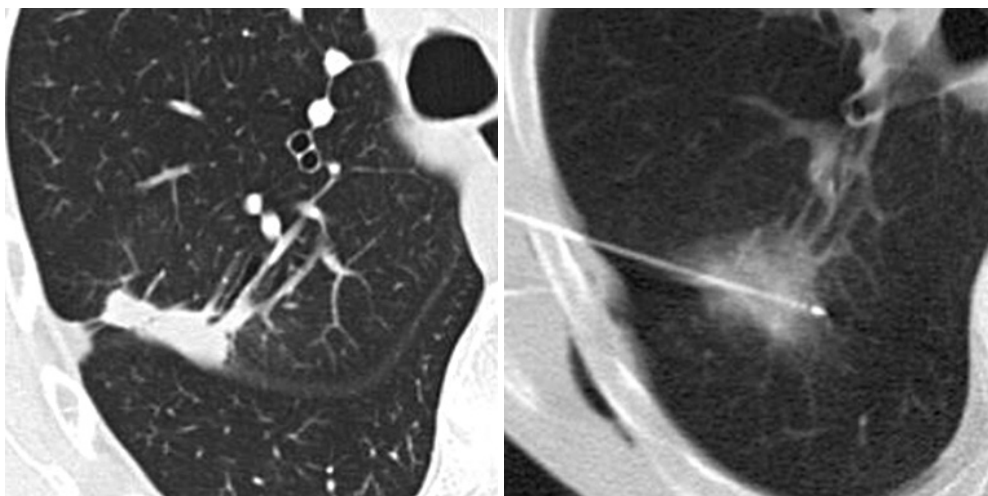


図6 Cool-tip針の利点を生かした焼灼：胸膜に広く接した腫瘍に対する焼灼

a	b
---	---

- a: 腫瘍は胸膜に沿って細長い形態をしている。
- b: 単極針であるCool-tip針を用いれば胸膜を直接穿刺する事なく焼灼をすることが可能。

安全に肺 RFA を行うためのコツ

肺 RFA 中，気胸が進行し肺が虚脱する場合がある。気胸の程度によっては留置した電極の位置が変化してしまい，安全かつ効果的な RFA が施行できない場合がある。こういった場合には静脈留置針を胸腔内に留置し，手動的に適宜脱気を行う事で肺の虚脱が進行するのを防ぐ事が可能な場合がある (図8)。

RFA の一つの欠点として，通電中に強い疼痛を伴う事が挙げられる。強い疼痛は患者の苦痛であると同時に

に，患者が同じ姿勢を保持できずに上下肢を動かしてしまい，電極の位置が変化してしまう原因の一つともなる。経静脈的な鎮痛剤の投与のみでは十分に疼痛を制御できない場合もあり，こういった場合は焼灼部近傍の胸膜に対して局所麻酔を追加する事で，疼痛の制御が容易となる場合がある (図9)。

腫瘍に電極を留置する際，より安全なルートを通る事も安全に RFA を行うために必要である。肺 RFA の場合は，肋骨や肩甲骨，胸膜が穿刺ルートの妨げとなる場合があるが，患者の体位の工夫 (肩甲骨位置の工夫)

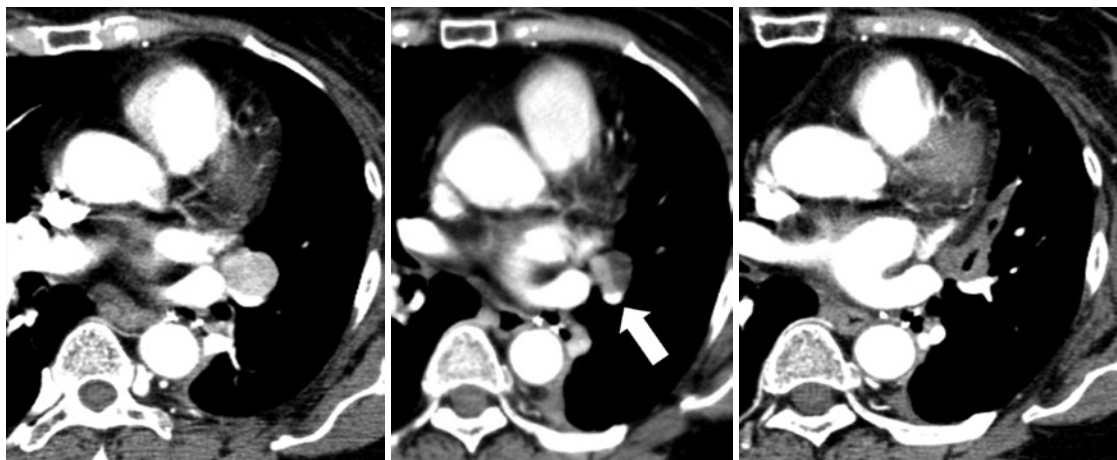


図7 Cool-tip 針の利点を生かした焼灼：肺門側腫瘍に対する焼灼

a | b | c

- a: 術前 CT 上，肺門部に良好に造影される腫瘍が認められる。肺門部腫瘍に対しては血管を誤穿刺する可能性の低い Cool-tip 針を用いた方が安全である。
- b: 効果判定 CT では内側に造影される部分が残存している (矢印)。
- c: 追加 RFA により造影される領域は消失。危険性の高い領域に存在する腫瘍に対しては1回の焼灼で治療完遂を目指すのではなく，安全性を最優先に焼灼範囲を見ながら複数回に分けて治療する事も重要である。

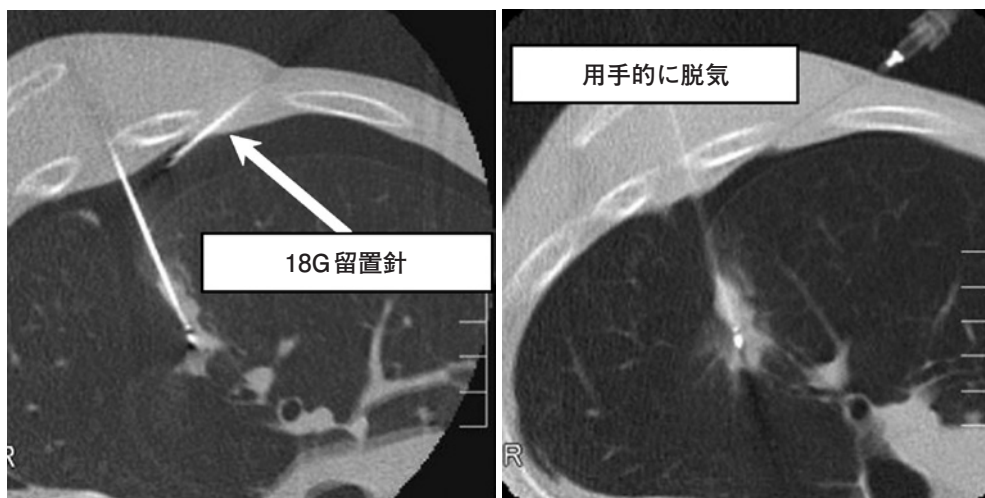


図8 RFA 中の気胸に対する対処

a | b

RFA 中に気胸がみられる事はしばしばあるが，肺の虚脱が大きいと留置した電極の位置がずれてしまう可能性もある。肺の虚脱が大きい場合には胸腔に静脈留置針を留置し，手動的に脱気しながら焼灼を行うと良い。

技術教育セミナー / RFA (肺)

やCTガントリー角度の調整などを行う事によって、より安全な穿刺ルートを確認する事が可能となる場合がある(図10)。

肺RFAを施行する際、RFAは低侵襲であるために比較的容易に反復して施行可能である¹⁰⁾。従って、1回の治療で完全に腫瘍を焼灼できなくても、繰り返しRFAを施行する事で根治を目指す事も可能である。肺門側などの危険性の高い領域の治療をする場合は無理な治療は行わず、安全性を最優先に二期的、三期的な治療を計画する事も重要である(図7)。

おわりに

Cool-tip RF ablation systemを用いた肺RFAのポイントについて解説した。RFAは今後主に非手術適応症例の肺悪性腫瘍に対して重要な治療optionとなる可能性がある。肺RFAそのものは当然の事、安全かつ確実な治療を行っていくためには、それぞれの電極の特徴、利点・欠点を十分に理解しておく必要があるものと思われる。

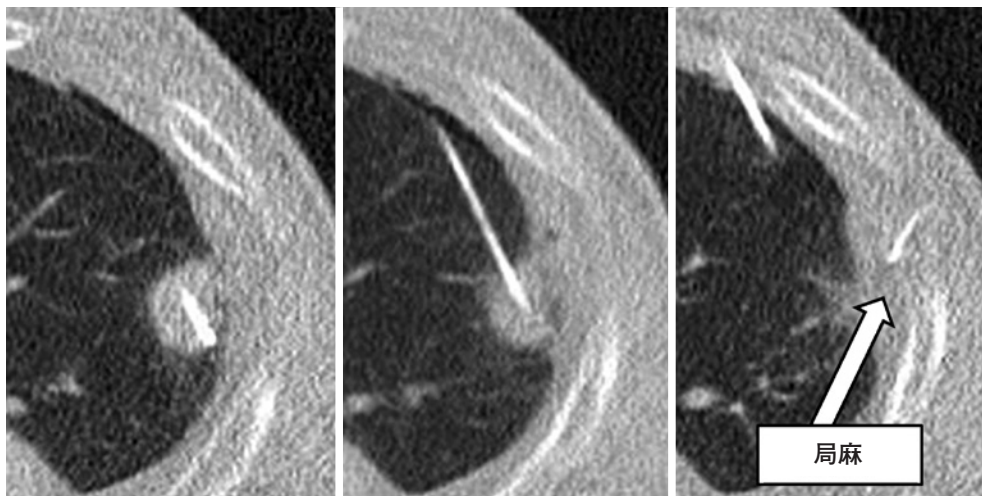


図9 RFA中の強い疼痛に対する対処

a | b | c

胸膜に接して腫瘍などを焼灼する場合、RFA中に強い疼痛がみられる事がある。強い疼痛に対しては経静脈的な鎮痛剤投与では不十分な場合があり、こういった場合は腫瘍の隣接する壁側胸膜下に十分に局所麻酔を追加すると疼痛が和らぐ事がある。

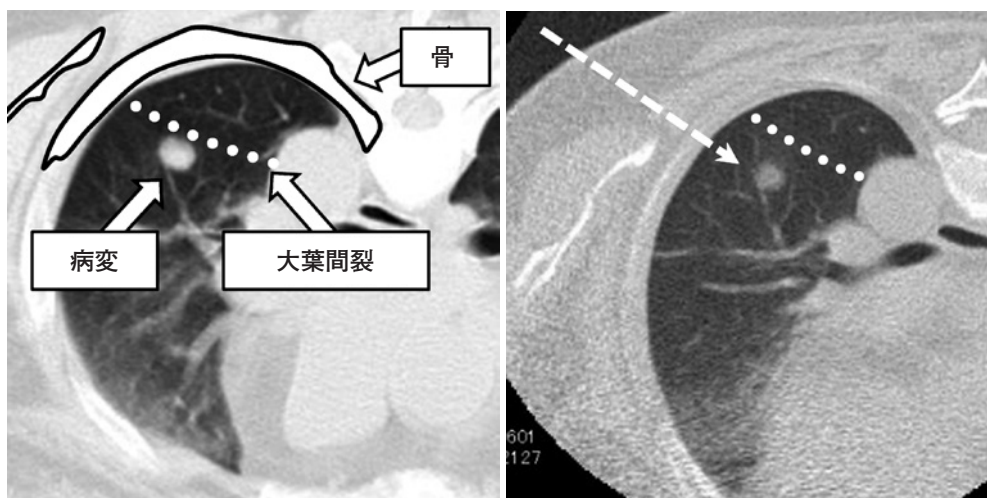


図10 安全な穿刺ルート確保のための体勢変換

a | b

- a: 腫瘍の背側に大葉間裂があり、また肋骨や肩甲骨との位置関係から安全な穿刺ルートが見当たらない。
- b: 胸の下に枕を置き腕を抱え込むような体勢にし、CTガントリー角度を傾ける事で安全な穿刺ルート(矢印)が確認できる。

【参考文献】

- 1) Youlten DR, Cramb SM, Baade PD: The international epidemiology of lung cancer: geographical distribution and secular trends. *J Thorac Oncol* 3: 819-831, 2008.
- 2) Inoue M, Ohta M, Iuchi K, et al: Benefits of surgery for patients with pulmonary metastases from colorectal carcinoma. *Ann Thorac Surg* 78: 238-244, 2004.
- 3) Sugimura H, Nichols FC, Yang P, et al: Survival after recurrent nonsmall-cell lung cancer after complete pulmonary resection. *Ann Thorac Surg* 83: 409-417, 2007.
- 4) 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* 9: 621-628, 2008.
- 5) Yamakado K, Inoue Y, Takao M, et al: Long-term results of radiofrequency ablation in colorectal lung metastases: single center experience. *Oncol Rep* 22: 885-891, 2009.
- 6) Anai H, Uchida BT, Pavcnik D, et al: Effects of blood flow and/or ventilation restriction on radiofrequency coagulation size in the lung: an experimental study in swine. *Cardiovasc Intervent Radiol* 29: 838-845, 2006.
- 7) Oshima F, Yamakado K, Akeboshi M, et al: Lung radiofrequency ablation with and without bronchial occlusion: experimental study in porcine lungs. *J Vasc Interv Radiol* 15: 1451-1456, 2004.
- 8) Hiraki T, Sakurai J, Tsuda T, et al: Risk factors for local progression after percutaneous radiofrequency ablation of lung tumors: evaluation based on a preliminary review of 342 tumors. *Cancer* 107: 2873-2880, 2006.
- 9) Tominaga J, Miyachi H, Takase K, et al: Time-related changes in computed tomographic appearance and pathologic findings after radiofrequency ablation of the rabbit lung: preliminary experimental study. *J Vasc Interv Radiol* 16: 1719-1726, 2005.
- 10) Sano Y, Kanazawa S, Mimura H, et al: A novel strategy for treatment of metastatic pulmonary tumors: radiofrequency ablation in conjunction with surgery. *J Thorac Oncol* 3: 283-288, 2008.