

呼気息止めによる Video-Assisted Thoracoscopic Surgery (VATS) 前 CT ガイド下マーキングの合併症に関する検討

山田 圭一* 竹腰 大也

長野市民病院放射線診断科

Complication of Computer Tomography-Guided Pre-Video-Assisted Thoracoscopic Surgery (VATS) Marking While Breath-Holding During Exhalation

Keiichi YAMADA* and Daiya TAKEKOSHI

Nagano Municipal Hospital Diagnostic Radiology

Purpose: Computed tomography (CT)-guided marking is performed to assist nodule localization before video-assisted thoracoscopic surgery. Several complications associated with CT-guided marking, such as pneumothorax, pulmonary hemorrhage, and air embolism, have been reported. Air embolism is an infrequent but serious complication. We hypothesized that CT-guided marking while breath-holding during exhalation might be effective in preventing air embolism. This study aimed to validate the safety and efficacy of CT-guided marking while breath-holding during exhalation.

Methods: This retrospective study was performed in 90 patients, who underwent 93 CT-guided marking procedures while breath-holding during exhalation for 93 nodules between July 1997 and January 2023. CT and clinical findings regarding pneumothorax, intrapulmonary hemorrhage, and air embolism were assessed. Risk factors for complications were evaluated by univariate and multivariate analysis.

Results: Pneumothorax and intrapulmonary hemorrhage were observed in 62 and 34 patients (66.7 and 36.6 %), respectively. No air embolism was observed. A smaller nodule diameter and longer puncture distance were independent risk factors for pulmonary hemorrhage, while there were no independent risk factors for pneumothorax to clarify when to place a hook-wire while breath-holding during exhalation.

Conclusion: CT-guided marking while breath-holding during exhalation showed no air embolism or serious complications and seems effective in preventing air embolism. *Shinshu Med J* 72: 61–67, 2024

(Received for publication September 29, 2023; accepted in revised form January 4, 2024)

Key words: CT-guided marking, hook-wire, breath-holding during exhalation, pneumothorax, pulmonary hemorrhage

CT ガイド下マーキング, フックワイヤー, 呼気息止め, 気胸, 肺内出血

I はじめに

肺結節に対する胸腔鏡下手術 (Video-Assisted Thoracoscopic Surgery: VATS) において, 結節の局在同定を補助する目的で, CT ガイド下マーキングが施行されている¹⁾。結節が胸膜から直接触れない場

合やすりガラス影の場合, 術中に病変の位置を確認することが困難であり, 術前に病変部位のマーキングを行うことで肺病変の存在部位の同定が容易となる²⁾。マーキングにはフックワイヤー, インジゴカルミンやインドシアニングリーンなどの色素, 造影剤 (リピオドール) などが用いられている³⁾⁴⁾。CT ガイド下マーキングの合併症には, 気胸や肺内出血といった頻度の高い合併症の他, 重篤な合併症として空気塞栓症や緊張性気胸などの報告がある⁴⁾⁻¹⁰⁾。

* Corresponding author: 山田 圭一 〒381-0006
長野市富竹1333-1 長野市民病院放射線診断科
E-mail: yamada.jump767@gmail.com

空気塞栓症の発症頻度は0～1.4%と報告されているが²⁾⁴⁾⁶⁾¹¹⁾⁻¹⁴⁾、塞栓症状を伴わない心腔内空気栓を1.9%に認めたとする報告もあり¹⁵⁾、潜在的な空気塞栓の発生率はより高い可能性がある。頻度は稀ではあるが、脳動脈塞栓による脳虚血や冠動脈塞栓による心筋虚血を引き起こし、致死的となる場合もある¹⁶⁾。空気塞栓症が発生した際のエピソードとして、マーキング後の体位変換や咳嗽、吸気時息止め下のマーキング、穿刺中の突然の深吸気が報告されている²⁾⁸⁾。いずれも気道内圧が急激に上昇した状況と考えられることから、穿刺による肺静脈損傷および肺組織挫滅後に気道内圧が急上昇することで空気が肺静脈へ流入し、左心腔内を経由し大動脈へ流出して発症すると考えられる。

本邦のVATS前CTガイド下マーキング時の空気塞栓症の症例報告では、マーカー留置は一般的に吸気息止め下で施行されている⁶⁾⁸⁾¹⁰⁾。吸気息止め下での留置は手技前CTと同様の息止め方法となるため穿刺経路が企図しやすく、肋間が開くため穿刺経路を確保しやすい。また、患者の息止め時間を長くできる。ただし、吸気の程度により結節位置がずれる可能性がある。一方で、呼気息止め下での留置は、吸気に比して比較的一定の位置に結節が位置しやすい。ただし、肋間が狭小化し穿刺に難渋する可能性があり、呼吸停止可能な時間が短く短時間で手技を行う必要がある。また、呼気息止め下では背景肺が拡張不良により濃度上昇するためGround-glass nodule (GGN)の認識が困難になる可能性がある。

当院では吸気息止め下よりも呼気息止め下に留置針を穿刺する方が、穿刺後の気道内圧上昇を抑制することができ、空気塞栓症予防に寄与すると考え、呼気息止め下にCTガイド下マーキングを行っているが、これまで呼気息止め下でのVATS前CTガイド下マーキングの合併症に関して検討した報告はない。今回、当院でのCTガイド下マーキングの合併症について後方視的に評価し、呼気息止め下VATS前CTガイド下マーキングの安全性と有用性について検討した。

II 対象と方法

A 対象

本研究はヘルシンキ宣言、患者プライバシー保護に関する指針を遵守し、長野市民病院医倫理委員会の承認を得て実施した(承認番号 2023 市病倫第0038号)。

当院で1997年7月～2023年1月の間に施行したVATS前CTガイド下マーキングの症例を対象とした。101症

例に対してマーキングを施行したが、手技時のCT画像が現存していなかった2002年11月以前の8症例、呼吸停止困難のため自由呼吸下に穿刺した1症例、1結節に対し複数回穿刺を行った2症例を除外した。別結節を同時に穿刺対象とした症例が2症例、同一症例で別時期に穿刺を施行した症例が1症例あり、合計90症例93結節93留置手技(年齢18～85歳(平均66.2±10.9歳)、男性39例、女性51例)を評価対象とした。

B 当院でのVATS前CTガイド下マーキング

手術室入室直前にCT室でマーキングを施行し、留置終了直後に手術室へ移動している。皮膚刺入点が上面となるような体位で計画用CTを呼気息止めで施行し刺入経路の検討を行い、局所麻酔後に呼気息止め下でガイディングマーカーシステム(21G 100mm; 八光メディカル, 長野)を刺入しフックワイヤーを留置している。安価で手技が比較的簡便かつ短時間で施行できるため、フックワイヤーを用いている。フックワイヤーの留置位置は、手術を担当する呼吸器外科医師と相談して決定し、正常肺を極力残せるように結節とフックワイヤーが接触しない程度に可能な限り結節近傍に留置している。確認の胸部単純CTも呼気息止めで行い、フックワイヤーの位置および合併症の有無を確認している。1997年7月～2010年12月まではCTガイド下(通常のCT撮影で留置針の先端位置や角度を繰り返し確認しながら留置部位まで穿刺する)に留置手技を行い(LightSpeed 16; GE Healthcare, Chicago), 2011年1月以降はCT透視下(留置針の先端位置や角度をリアルタイムにCT画像で確認しながら留置部位まで穿刺する)に手技を行った(2011年1月～2021年12月 LightSpeed RT16; GE Healthcare, Chicago, 2022年1月～2023年1月 SOMATOM go. Sim; Siemens Healthineers, Bayern)。手技は全ての患者に対してインフォームドコンセントを得た上で行った。

C 評価方法

対象とした90症例93結節の肺気腫、結節径、結節位置、結節深度(胸膜面から結節中心の距離)、性状、病理診断、体位、穿刺距離(胸膜面からフックワイヤー先端の距離)を集計した。

気胸と肺内出血、空気塞栓症もしくは心大血管内の空気貯留像の有無に関して、CT所見と臨床所見を評価した。CT所見はフックワイヤー留置直後の胸部単純CT画像で気胸、肺内出血、心大血管内の空気貯留像の有無を評価した。肺内出血は刺入経路周囲に浸潤像が見られたものと定義した。臨床所見は手技中や手

Table 1 Characteristics of Patient, Lesions, and Procedures

Variable		Value
Patient characteristics(n=93)		
Pulmonary emphysema	Mean ± SD(minimum-maximum)	0.12 ± 0.32(0-1)
Lesion characteristics(n=93)		
Size	Mean ± SD(minimum-maximum)	8.4 ± 4.4(3-30)
Lobar location	Upper/Middle/Lower lobe	33/6/54
Distance to the nearest pleura	Mean ± SD(minimum-maximum)	11.6 ± 6.1(2.5-34.5)
Lesion type	GGN/Solid	62/31
Pathology	Benign lesion/Malignancy	7/86
Procedure characteristics(n=93)		
Patient positioning	Supine/Prone/Lateral(left)/Lateral(right)	27/42/18/6
Length of the intrapulmonary pathway	Mean ± SD(minimum-maximum)	22.6 ± 7.4(9-52)

技後の臨床症状の有無をレポートや看護記録、カルテ記載で確認した。

肺気腫の定量的な評価方法として、病理組織上の気腫病変は CT 画像上での肺野の低吸収領域 (Low attenuation area ; LAA) として認識されることから、設定した閾値以下の低 CT 値の領域を気腫病変とする方法が用いられている¹⁷⁾。本研究では 3D 画像解析システムの SYNAPSE VINCENT (version 6.3 ; FUJIFILM, 東京) を用いて閾値を -950 HU に設定し Goddard 分類に準じて Goddard スコアを算出した。具体的には、両肺をそれぞれ上部 (大動脈弓頭側)、中部 (大動脈弓～気管分岐部)、下部 (気管分岐部尾側) の合計 6 領域に分け、各領域の閾値以下の LAA が占める割合を 5% 未満 : 0 点, 5% 以上～25% 未満 : 1 点, 25% 以上～50% 未満 : 2 点, 50% 以上～75% 未満 : 3 点, 75% 以上 : 4 点とした。手技直前の呼気時 CT 画像では体位が異なるため、解析には術前の吸気時 CT 画像を使用した。穿刺を行った肺結節が存在する肺葉と Goddard 分類における上部～下部領域を、右肺上葉 = 右上部, 右肺中葉 = 右中部, 右肺下葉 = 右下部, 左肺上大区 = 左上部, 左肺舌区 = 左中部, 左肺下葉 = 左下部と簡易的に定義して、穿刺を行った肺葉の肺気腫のスコアを定量的に算出した。

D 統計解析

フックワイヤー留置時の主要合併症 (気胸, 肺内出血, 空気塞栓症) について、それぞれ発生の有無で 2 群に分け、肺気腫, 結節径, 結節位置, 結節深度, 性状, 病理診断, 体位, 穿刺距離について統計解析を行い、2 群間 (合併症あり対なし) で影響を与える因子について検討した。統計解析においては、SPSS

software (version 22.0 ; IBM, New York) を用いてスチューデントの t 検定, ピアソンのカイ 2 乗検定, 二項ロジスティック回帰分析を行った。多変量解析の変数には、年齢, 肺気腫, 結節径, 結節距離, 穿刺距離を使用した。p 値 < 0.05 を統計学的有意差ありと判断した。

III 結 果

対象とした 90 症例の肺気腫スコアは 0 点～1 点 (平均 0.12 ± 0.32 点) だった。穿刺対象とした 93 結節の結節径は 3 mm～30 mm (平均 8.4 ± 4.4 mm), 局在は右肺上葉 21 例, 右肺中葉 4 例, 右肺下葉 35 例, 左肺上大区 12 例, 左肺舌区 2 例, 左肺下葉 29 例, 結節深度は 2.5 mm～34.5 mm (平均 11.6 ± 6.1 mm), 性状は GGN 62 例, solid type 31 例, 病理診断は肺癌 66 例, 転移性腫瘍 20 例, 良性病変 7 例だった。手技時の体位は仰臥位 27 例, 腹臥位 42 例, 左側臥位 18 例, 右側臥位 6 例, 手技後 CT 画像の所見では穿刺距離は 9 mm～52 mm (平均 22.6 ± 7.4 mm) だった (Table 1)。呼気息止めに伴い GGN の認識が困難となることはなかった。

マーキングを施行した 93 留置手技中, 脱気を要さない気胸が 62 例 (66.7%), 肺内出血が 34 例 (36.6%) 発生した。心大血管内の空気貯留像は認めなかった。

空気塞栓症を認めなかったため, 気胸と肺内出血に関して, 2 群 (合併症あり対なし) の評価項目結果について Table 2 に, 統計解析結果について Table 3 に示す。単変量解析では, 気胸の有無は ① 穿刺した肺葉の肺気腫スコアが大きい場合 (p = 0.045) ② 結節径が大きい場合 (p = 0.02) に有意差が見られた。肺

Table 2 All variables in each group in case of pneumothorax and pulmonary hemorrhage

Variable		Pneumothorax		Pulmonary hemorrhage	
Patient characteristics(n=93)		Yes(n=62)	No(n=31)	Yes(n=34)	No(n=59)
Pulmonary emphysema	Mean ± SD	0.15 ± 0.36	0.03 ± 0.18	0.06 ± 0.24	0.14 ± 0.35
Lesion characteristics(n=93)					
Size	Mean ± SD	9.0 ± 5.0	7.1 ± 2.6	6.6 ± 2.4	9.4 ± 5.0
Lobar location	Upper/Middle/Lower lobe	25/4/33	8/2/21	11/2/21	22/4/33
Distance to the nearest pleura	Mean ± SD	11.7 ± 6.2	11.1 ± 6.2	10.5 ± 6.1	12.1 ± 6.1
Lesion type	GGN/Solid	28/18	18/13	20/14	42/17
Pathology	Benign lesion/Malignancy	5/57	2/29	4/30	3/56
Procedure characteristics(n=93)					
Patient positioning	Supine/Prone/Lateral(left)/ Lateral(right)	16/26/17/3	11/16/1/3	13/15/5/1	14/27/13/5
Length of the intrapulmonary pathway	Mean ± SD	22.3 ± 6.1	23.3 ± 9.3	24.6 ± 9.6	21.5 ± 5.6

Table 3 Results of univariate and multivariate logistic regression analysis

Variable	Pneumothorax		Pulmonary hemorrhage	
	Univariate analysis	Multivariate analysis	Univariate analysis	Multivariate analysis
	P value	P value	P value	P value
Patient characteristics(n=93)				
Age		0.888 ^c		0.973 ^c
Pulmonary emphysema	0.045 ^{a†}	0.176 ^c	0.21 ^a	0.452 ^c
Lesion characteristics(n=93)				
Size	0.02 ^{a†}	0.132 ^c	0.001 ^{a†}	0.012 ^{a†}
Lobar location	0.181 ^b			
Distance to the nearest pleura	0.59 ^a	0.578 ^c	0.202 ^a	0.157 ^c
Lesion type	0.213 ^b		0.223 ^b	
Pathology	0.781 ^b		0.24 ^b	
Procedure characteristics(n=93)				
Patient positioning	0.129 ^b		0.228 ^b	
Length of the intrapulmonary pathway	0.618 ^a	0.555 ^c	0.097 ^a	0.022 ^{a†}

a t test

b chi-square test

c Binary Logistic Regression Analysis

† p value of <0.05 was considered statistically significant

内出血の有無は結節径が小さい場合に有意差が見られた (p=0.001)。また、穿刺距離が長いほど肺内出血の頻度が高い傾向が見られた (p=0.097)。多変量解析では、気胸の有無に関して明らかな有意差を認めなかったが、肺内出血の有無に関しては①腫瘍径が小さい場合 (p=0.012)、②穿刺距離が長い場合 (p=0.022) で有意差が見られた。

臨床症状は、肺内出血が発生した症例で血痰が1例 (1.1%) に見られたが、徐々に咳き込みを行うこと

で保存的に軽快した。気胸が発生した症例で脱気を有する気胸は認めなかった。空気塞栓症は認めなかった。

IV 考 察

当院の気胸や肺内出血の発生率は、Table 4に示す他の VATS 前 CT ガイド下マーキングの報告と比較してわずかに高かった⁴⁾¹¹⁾⁻¹⁴⁾¹⁸⁾。理由としては、深呼吸から吸気になるタイミングで胸腔内圧が低下し、体外から胸腔内への空気流入が起こる可能性、気道内圧

Table 4 Summary of complications from other reports

First author(Year)	Cases	Pneumothorax (%)	Pulmonary hemorrhage (%)	Air embolism (%)
Dendo et al. (2002)	168	32.1	14.9	unknown
Kondo et al. (2012)	139	unknown	unknown	1.4
Ichinose et al. (2013)	417	49.4	8.9	0.24
Mori et al. (2016)	279	unknown	unknown	0.88
Iguchi et al. (2016)	267	55.1	25.8	0.37
Ohta et al. (2020)	62	51.6	unknown	0
Yuhara et al. (2021)	584	60.3	11.9	0
Ryuko et al. (2023)	223	41.2	28.5	0.37

が低下し穿刺経路の出血が肺胞内への出血として見られる可能性、吸気時に比べ肺容量が低下し密度が増加して血管をより多く貫通する可能性などが考えられる。一方で、重篤な合併症である空気塞栓症の発生率は他の報告と比較して低かった²⁾⁴⁾⁶⁾¹¹⁾⁻¹⁴⁾。本邦の CT ガイド下マーキングの合併症に関して述べた大規模な調査では、心大血管内の空気貯留像の発生率に関して述べたものは認められなかったが、CT ガイド下肺生検の大規模な調査では、手技直後の CT で少なくとも 3.8% に血管内の空気貯留像を認めたとする報告もあり¹⁹⁾、当院の心大血管内の空気貯留像の発生率は極めて低いものと推察される。また、本邦での CT ガイド下マーキング施行時の空気塞栓症の症例報告では吸気息止め下での報告がある一方⁶⁾⁸⁾¹⁰⁾、呼吸息止め下での報告例は無く、菊永ら²⁰⁾は空気塞栓症の予防のために呼気時による穿刺を施行し、空気塞栓症が無かったと報告している。本研究でも呼吸息止め下に穿刺を行い空気塞栓症の経験が無く、心腔内の空気貯留像の発生率が極めて低いと推察される点からも、呼吸息止め下での CT ガイド下マーキングは重篤な合併症である空気塞栓症の予防に有効と考える。

本研究では、気胸の有り無し群の比較において、単変量解析で穿刺肺葉の肺気腫スコアと結節径で有意差が見られた。柳光ら⁴⁾は肺切除術前に CT ガイド下マーキングを施行した 267 病変に対する合併症の後ろ向き観察研究を行い、年齢や穿刺経路における臓側胸膜から腫瘍までの距離で主要合併症（気胸および肺内出血）において合併症発生に有意差を認めたと報告している。また、本邦の CT ガイド下肺生検の手技に関するガイドラインでは、肺気腫と穿刺距離が気胸のリスク因子と考えられている²¹⁾。これらのリスク因子を含め多変量解析を行なったが、いずれも有意差は見られず気胸の明らかなリスク因子は認められなかった。

肺内出血の有り無し群の比較においては、単変量解析では穿刺距離に有意差は見られなかったものの発生が高い傾向にあり、結節径には有意差が見られた。多変量解析ではいずれも有意差を認め、独立したリスク因子と考えられた。CT ガイド下肺生検では、肺内出血の危険因子として小さい結節径²²⁾²³⁾や長い生検経路²²⁾が挙げられており、Ichinose ら¹¹⁾は、CT ガイド下マーキングにおいて 25 mm を超える穿刺距離が肺内血腫や咯血のリスクと関連していると報告している。理由としては、穿刺経路が長くなると針を通過する回数が増えること、また肺門に近づくほど血管の密度が高く直径が大きくなることが考えられている²³⁾。Yeow ら²²⁾や Khan ら²³⁾は、病変が小さい場合に針生検が技術的に難しく、結果的に手技時間が長くなることで合併症の増加につながると考えており、フックワイヤー留置においても同様に病変が小さい場合には穿刺経路の選択や病変近傍への留置が技術的に困難であることが予想され、手技時間の延長に寄与し肺内出血の発生に寄与している可能性がある。

本研究の限界として、単一施設における後ろ向きの観察研究であることが挙げられる。患者選択や留置手技、合併症の判断は各施設によって異なり、他施設との正確な比較および本研究の結果を一般化することは困難である。また、他の報告に比して症例数が少ないことも結果に影響した可能性がある。年代により CT ガイド下 / 透視下に留置を行っていた点などが研究結果に影響を与えた可能性があり、判断基準を統一化した多施設での検討が望ましいと考える。

V 結 論

当院で施行した呼吸息止め下 VATS 前 CT ガイド下マーキングの合併症について後方視的に検討した。過去の報告例との比較では気胸、肺内出血の発生率が

やや高く認められたが、空気塞栓症の発症はなく、心大血管内の空気貯留像の発生率も極めて低かった。呼吸器止め下のCTガイド下マーキングが重篤な合併症である空気塞栓症の予防に有効と考えられた。

室 鈴木健史先生、長野市民病院放射線診断科 深松史聡先生、長野市民病院呼吸器外科 中村大輔先生、主指導者の今井 迅先生より貴重なご指導を賜りました。心から感謝を申し上げます。

VI 謝 辞

本論文の執筆にあたり、信州大学医学部画像医学教

文 献

- 1) Suzuki K, Nagai K, Yoshida J, et al: Video-assisted thoracoscopic surgery for small indeterminate pulmonary nodules: indications for preoperative marking. Chest 115: 563-568, 1999
- 2) 森 勇樹, 山田 玄, 汐谷 心, 藤井 偉, 渡辺 敦, 高橋弘毅: 術前CTガイド下マーキングを契機に空気塞栓症を発症した3症例. 日呼吸誌 5: 226-229, 2016
- 3) 佐藤雅昭: 小型肺癌の術中局在同定法 —術前マーキング法と virtual-assisted lung mapping—. 肺癌 54: 835-842, 2014
- 4) 柳光剛志, 末久 弘, 酒井伸也, 他: 肺切除術前CTガイド下マーキング症例の後ろ向き観察研究. 日呼外会誌 37: 85-92, 2023
- 5) 黒田慎太郎, 江藤高陽, 角舎学行, 小出 圭, 先本秀人, 高橋 信: 肺腫瘍に対するCTガイド下マーキング中に発症した空気塞栓症の1例. 日臨外会誌 66: 1291-1294, 2005
- 6) 近藤 健, 徳永義昌, 齊藤正男, 中川達雄: CTガイド下マーキングによる空気塞栓の2例. 日呼外会誌 26: 729-733, 2012
- 7) 大井 諭, 伊藤 靖, 関谷 洋, 鈴木一也, 数井暉久: CTガイド下マーキング時に発症した空気塞栓症の1例. 胸部外科 57: 421-423, 2004
- 8) 中川 実, 坂本千穂子, 藤原賢次郎: 肺のCTガイド下マーキング直後に発症した脳空気塞栓症. 脳卒中 34: 39-46, 2012
- 9) 中川 拓, 栗原伸泰, 遠山慎吾, 佐藤英昭, 齋藤 元, 南谷佳弘: 小型末梢肺癌に対するCTガイド下マーキングによる脳空気塞栓の1例. 日呼外会誌 28: 966-970, 2014
- 10) 藤本枝里, 廣田誠二, 太田宗幸, 他: 術前のCTガイド下マーキング中に生じた空気塞栓症により心停止に至った1例. 日救急医会誌 25: 102-106, 2014
- 11) Ichinose J, Kohno T, Fujimori S, Harano T, Suzuki S: Efficacy and complications of computed tomography-guided hook wire localization. Ann Thorac Surg 96: 1203-1208, 2013
- 12) Iguchi T, Hiraki T, Gobara H, et al: CT fluoroscopy-guided preoperative short hook wire placement for small pulmonary lesions: evaluation of safety and identification of risk factors for pneumothorax. Eur Radiol 26: 114-121, 2016
- 13) 太田安彦, 懸川誠一, 川井恵一, 南麻紀子, 川島篤弘: CTガイド下マーキングを施行した肺切除例の臨床的検討—視認性の評価からその適応を探る—. 日呼外会誌 34: 672-677, 2020
- 14) 油原信二, 河野 匡, 藤森 賢, 鈴木聡一郎, 菊永晋一郎: CTガイド下マーカーが気管支を經由して消化管に迷入した2例. 日呼外会誌 35: 724-730, 2021
- 15) 松浦陽介, 渡 正伸: CTガイド下肺穿刺後に心腔内空気栓を生じた2症例. 日呼外会誌 24: 967-971, 2010
- 16) 先山正二, 山口康男, 松岡 永, 他: CTガイド下マーキングに発生した致命的空気塞栓症. 肺癌 42: 492, 2002
- 17) 平井豊博: 特集 COPD: 診断と治療の進歩II. 診断と検査2. 画像診断. 日内会誌 101: 1549-1554, 2012
- 18) Dendo S, Kanazawa S, Ando A, et al: Preoperative localization of small pulmonary lesions with a short hook wire and suture system: experience with 168 procedures. Radiology 225: 511-518, 2002
- 19) Freund MC, Petersen J, Goder KC, et al: Systemic air embolism during percutaneous core needle biopsy of the

lung: frequency and risk factors. BMC Pulm Med 12:2, 2012

- 20) 菊永晋一郎, 河野 匡, 藤森 賢, 他: 術前 CT ガイド下マーキング施行時の空気塞栓予防の様々な工夫. 気管支学 41:164, 2019
- 21) 日本 IVR 学会: CT ガイド下肺生検の手技に関するガイドライン2020. 日インターベンショナルラジオロジー会誌 36:82-98, 2021
- 22) Yeow KM, Su IH, Pan KT, et al: Risk factors of pneumothorax and bleeding: multivariate analysis of 660 CT-guided coaxial cutting needle lung biopsies. Chest 126:748-754, 2004
- 23) Khan MF, Straub R, Moghaddam SR, et al: Variables affecting the risk of pneumothorax and intrapulmonal hemorrhage in CT-guided transthoracic biopsy. Eur Radiol 18:1356-1363, 2008

(R 5. 9. 29 受稿; R 6. 1. 4 受理)
