

# 三维计算机断层扫描支气管血管成像联合荧光腔镜反染法在解剖性肺段切除术中的应用价值

胡俊熙 陆世春 孙 超 高铭骏 高祥龙 陈大卫 王霄霖\* 束余声\*

(扬州大学医学院江苏省苏北人民医院胸外科,扬州 225001)

**【摘要】 目的** 探讨三维计算机断层扫描支气管血管成像(three-dimensional computed tomography bronchography and angiography,3D-CTBA)联合荧光腔镜反染法在解剖性肺段切除术中的应用价值。**方法** 2020 年 1 月~2021 年 1 月对 125 例胸腔镜解剖性肺段切除术前使用三维重建软件 Mimics Medical 21.0 进行图像分析,通过容积渲染的方法生成 3D-CTBA,术中通过外周静脉快速推注吲哚菁绿溶液,综合使用荧光导航内镜系统显示段间平面。**结果** 125 例均在 3D-CTBA 和荧光腔镜反染法联合应用下顺利完成手术,手术过程与术前模拟基本一致。手术时间 60~350 min,中位数 130 min;术中出血量 10~400 ml,中位数 20 ml。行优势肺段切除 44 例(35.2%),较为复杂肺段切除 81 例(64.8%)。段间平面显示效果:114 例评为 3 级(段间线全部清晰显示),11 例评为 2 级(段间线基本全部清晰显示),无一例出现不能完成段间平面标记的情况,且吲哚菁绿溶液注入未见不良反应。**结论** 在术前良好的 3D-CTBA 基础上,联合术中荧光腔镜反染法可以很好地实现解剖性肺段切除术,值得临床推广应用。

**【关键词】** 支气管血管成像; 吲哚菁绿; 近红外血管造影; 肺段切除术  
**文献标识:**A **文章编号:**1009-6604(2022)10-0820-05  
**doi:**10.3969/j.issn.1009-6604.2022.10.010

**Application Value of Three-dimensional Computed Tomography Bronchography and Angiography Combined With Fluoroscopic Reverse Staining Method in Anatomically Segmentectomy** Hu Junxi, Lu Shichun, Sun Chao, et al. Department of Thoracic Surgery, Yangzhou University Medical College, Northern Jiangsu People's Hospital, Yangzhou 225001, China  
Corresponding authors: Wang Xiaolin, E-mail: 1249852721@qq.com; Shu Yusheng, E-mail: shuyusheng65@163.com

**【Abstract】 Objective** To evaluate the application value of the combination of three-dimensional computed tomography bronchography and angiography (3D-CTBA) and intraoperative indocyanine green (ICG) reverse staining method in anatomically segmentectomy. **Methods** A total of 125 patients treated with thoracoscopic segmentectomy from January 2020 to January 2021 were enrolled. The 3D reconstruction software Mimics Medical 21.0 was used for image analysis before operation, and 3D-CTBA was generated by volume rendering. ICG solution was rapidly injected through peripheral vein during the operation, and the fluorescence navigation endoscopic system was used to display the intersegmental plane. **Results** The operations were smoothly completed with 3D-CTBA combined with fluoroscopic method in all the patients, which were almost identical to preoperative simulations. The operation time was 60-350 min (median, 130 min) and the blood loss was 10-400 ml (median, 20 ml). Dominant segmental resection was performed in 44 cases (35.2%) and complicated segmental resection in 81 cases (64.8%). The intersegmental plane displayed 114 cases rated as grade 3 (all intersegmental lines were clearly displayed) and 11 cases rated as grade 2 (all intersegmental lines were basically clearly displayed). No case failed to complete the intersegmental plane marking, and no adverse reaction was found after ICG solution was injected. **Conclusion** On the basis of good preoperative 3D-CTBA images, ICG reverse staining method helps achieve anatomic resection and deserves clinical promotion and application.

**【Key Words】** Bronchography and angiography; Indocyanine green; Near-infrared angiography; Segmentectomy

\* 通讯作者, E-mail: 1249852721@qq.com(王霄霖); shuyusheng65@163.com(束余声)

随着 Saji 等<sup>[1]</sup>多中心、前瞻性、随机性Ⅲ期非劣性研究 JCOG0802 研究结果的公布,肺段切除是否会成为小尺寸周围型非小细胞型肺癌手术的金标准再次成为大家热议的焦点。肺段切除术作为肺癌外科重要的术式之一,从未淡出过历史舞台,随着中国肺癌早筛策略的不断改善更新,早期小肺癌的患者将会越来越多,肺段切除术的优势正在逐渐展现,并在不断发展壮大<sup>[2]</sup>。肺段手术主要还是以背段、固有段等优势肺段为主<sup>[3]</sup>,对于肺段切除的手术适应证,尤其是复杂肺段切除,目前尚没有达成共识。优势肺段如右下叶背段、左上叶舌段等,仅依靠断层 CT 和人脑空间想象力也是可以完成的;复杂肺段手术往往涉及多个复杂、倾斜的段间平面,且靶段流域内脉管结构复杂,尤其静脉变异时常发生。部分医生担心复杂的肺段手术增加术中风险和发生严重术后并发症,直接选择肺叶切除完成手术,这种做法显然不符合段伟东等<sup>[4]</sup>倡导的精准外科理念。如何才能安全、有效、精准地实施解剖性肺段手术一直是热点话题之一。2009 年 Akiba 等<sup>[5]</sup>将三维重建技术扩展应用到肺静脉、支气管和肿瘤,如今三维计算机断层扫描支气管血管成像(three-dimensional computed tomography bronchography and angiography, 3D-CTBA)已成为肺段切除的得力手段之一。近年来,荧光成像技术在外科领域的应用也更加广泛,2020 年 1 月~2021 年 1 月我们在胸腔镜解剖性肺段切除术中应用 3D-CTBA 联合荧光腔镜反染法显示段间平面,报道如下。

## 1 临床资料与方法

### 1.1 一般资料

本组 125 例,男 40 例,女 85 例。年龄( $54.8 \pm 11.1$ )岁。93 例体检发现肺部结节,32 例在胸心外科、呼吸内科、胃肠外科、甲乳外科等科室诊治过程中检查胸部 CT 时发现肺部结节:纯磨玻璃结节 14 例,混合磨玻璃结节 101 例,实性结节 10 例;结节位于左上肺叶 48 例(3 例 2 个肺结节),左下肺叶 32 例,右上肺叶 31 例(2 例 2 个肺结节),右下肺叶 14 例;结节大小 4~20 mm,平均 9.8 mm。肺功能均无明显异常:FEV<sub>1</sub>( $101.8 \pm 14.6$ )L,FEV<sub>1</sub>/FVC( $104.2 \pm 7.9$ )%,MVV( $91.7 \pm 15.5$ )L/min。合并原发性高血压 34 例,有吸烟史 16 例。

综合支修益等<sup>[6]</sup>及 2017 NCCN 非小细胞肺癌指南,肺段切除术病例选择标准:①术前胸部 CT 示肺周围的结节或者磨玻璃样变,最大直径 $\leq 2$  cm。②结合术前胸部 CT 和医生经验高度怀疑肺结节性质属于早期恶性,术中快速冰冻病理示良性肿物、不典型腺瘤样增生、原位腺癌、微浸润腺癌、贴壁样生长为主型浸润性腺癌等,术中对 N1 和 N2 站淋巴结进行采样,未发现阳性。③结节有其中的一个特征:CT 显示磨玻璃成分 $\geq 50\%$ ;病灶倍增时间 $\geq 400$  d;结节位置较深,无法楔形切除;孤立性转移瘤。排除标准:心肺功能较差或合并其他严重疾病而不能耐受手术;对吲哚菁绿(indocyanine green, ICG)、碘化物、造影剂等过敏。

### 1.2 方法

1.2.1 术前构建 3D-CTBA 图像模拟 术前常规行东芝 Aquilion ONE 640 薄层 CTA 或胸部增强 CT 检查,获得医学数字成像和通信影像资料,通过三维重建软件 Mimics Medical 21.0,医生根据 CT 值对支气管树、动脉和静脉分别进行区分和颜色标注,通过 3D 容积渲染的方法生成段支气管、血管和肿瘤的立体图像,这个过程通常需要 5~15 min,根据重建的三维图像术前预先模拟手术:①在 3D 图像上确认靶段肺组织;②仔细辨认靶段肺组织及邻近区域的支气管、脉管结构,发现可能存在的变异;③当肿瘤边缘与段间静脉的距离 $> 2$  cm 时,选择单一肺段切除,反之,考虑实施联合肺/亚段切除或肺叶切除等其他手术方式(图 1);④如果 CT 提示结节较小,且位置较深,未见明显胸膜凹陷征象,可术前先行 CT 引导下 Hook-wire 定位或注射亚甲蓝。

1.2.2 手术方法 全身麻醉,双腔支气管导管。健侧卧位,折刀位。常规消毒、铺单,主刀医生站在患者腹侧,助手站在患者背侧,扶镜手与主刀保持同侧一致,告知麻醉师进行单肺通气。三孔入路,取腋中线第 7~8 肋间 2~3 cm 小切口作为观察口,置入红外线胸腔镜(欧谱曼迪 4K 荧光导航内镜系统);分别取腋前线第 4~5 肋间,肩胛下角线第 7~8 肋间小切口作为主、副操作孔,置入操作器械。观察肺萎陷情况,有无胸腔粘连、胸水,肺门淋巴结及肺裂发育情况等,探查定位钩线位置,扣夹固定并剪短金属丝。对于位置在肺周围的结节,先行楔形切除,根据术中快速冰冻病理再确定下一步手术方案,如出现

不能局部楔切的情况,依照术前讨论直接行肺段手术。手术采取反染法显露靶段,按照术前模拟的路线解剖出靶段动脉和支气管,在离断靶段脉管、支气管后,通过外周静脉快速推注 ICG 溶液 4 ml,切换至荧光模式,用电灼法标记段间平面,用直线切割闭合器切开缝合段间平面,将靶段切除,切缘距离肿瘤

均 >2 cm(图 2)。有时为保证足够的手术切缘,会将靶段肺静脉先离断,如左肺上叶舌段切除时。术中常规进行 N1 和 N2 淋巴结采样,与病灶一同送快速病理,若淋巴结采样病理结果提示阳性者,除非是姑息性手术,否则中转改为肺叶切除联合系统性淋巴结清扫。常规留置胸腔引流管。

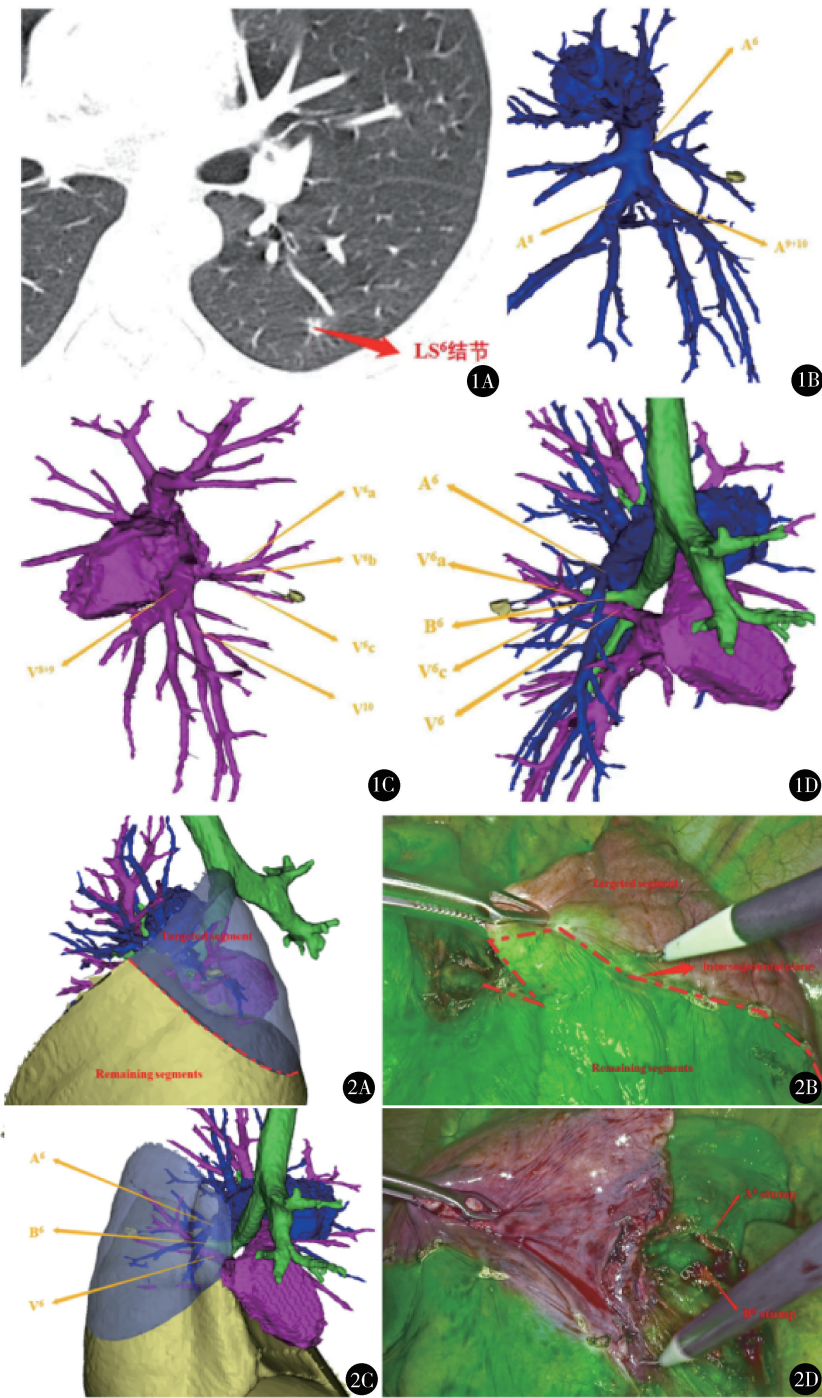


图1 术前CT和三维重建 A.2D-CT平扫左肺背段S<sup>6</sup>见一10 mm结节;B.动脉重建; C.静脉重建;D.动脉、静脉和支气管重建 图2 左肺背段S<sup>6</sup>术前三维重建构建的虚拟段间平面和术中荧光显示的真实段间平面 (A,B.前面观;C,D.后面观)



### 1.3 观察指标

1.3.1 段间平面显示指标 为评估从开始标记到标记结束期间段间平面的显示效果,将段间线清晰程度量化分为 3 个等级(自定):1 级为色差区域分布不均匀,段间线不清晰,不能完成标记;2 级为段间线基本清晰,可以完成标记;3 级为段间线全部清晰显示,段间线全部标记。段间线清晰程度为 2~3 级,我们可以完整地标记出段间线,确定 ICG 经外周静脉注入成功。段间线清晰程度确认为 1 级时,我们改用改良膨胀萎陷法显示段间平面。

1.3.2 围手术期指标 手术时间、术中出血量、病理结果、段间平面显示效果、是否更改段间平面显示方法、是否有中转开胸、术后住院时间、胸管引流时间及引流量、术后并发症情况(肺炎、长期漏气、肺扭转、心率失常、气胸、出血、支气管胸膜瘘等)。

## 2 结果

125 例通过 3D-CTBA 联合 ICG 反染法顺利完成手术,无中转开胸。手术过程与术前模拟基本一致。肺段分布情况:左侧优势肺段 37 例,其中  $S^6$  16 例,  $S^{4+5}$  4 例,  $S^{1-3}$  14 例,  $S^{8-10}$  3 例;左侧复杂肺段 42 例,其中  $S^{1+2}$  14 例,  $S^3$  13 例,  $S^8$  4 例,  $S^9$  1 例,  $S^{10}$  5 例,  $S^{8+9}$  2 例,  $S^{9+10}$  3 例;右侧优势肺段 7 例,其中  $S^6$  5 例,  $S^{7-10}$  2 例;右侧复杂肺段 39 例,其中  $S^1$  11 例,  $S^2$  8 例,  $S^3$  8 例,  $S^8$  2 例,  $S^9$  1 例,  $S^{1+2}$  3 例,  $S^{1+3}$  2 例,  $S^{7+8}$  1 例,  $S^{8+9}$  2 例,  $S^{9+10}$  1 例。段间平面显示效果:114 例 3 级(术中完全清晰显示),11 例 2 级(可以完成标记),未发生不能完成标记的情况,且外周静脉注入 ICG 未见不良反应。手术时间 60~350 min,中位数 130 min;术中出血量 10~400 ml,中位数 20 ml;术后住院时间 4~28 d,中位数 5.6 d;胸管放置时间 2~25 d,中位数 3.2 d。术中淋巴结清扫 1~22 枚,中位数 6 枚。手术切缘和淋巴结均未见肿瘤侵犯。术后病理:微浸润性腺癌 47 例(37.6%),浸润性腺癌 46 例(36.8%),良性病变 9 例(7.2%),不典型增生 8 例(6.4%),原位腺癌 12 例(9.6%),转移性肿瘤 3 例(2.4%)[原发分别为恶性黑色素瘤(2 年)、乳腺癌(9 年)、直肠癌(1 年)]。12 例发生术后并发症,其中 2 例各发生 2 次并发症:房颤 6 例,其中新发房颤 3 例(使用胺碘酮、吸氧治愈);肺不张 4 例(使用白介素等粘连剂、吹气球治愈);胸

腔积液(胸腔穿刺抽液治愈)、肺部感染(保守抗感染治愈)各 1 例;2 例由于拔管操作不当造成漏气(采取胸腔穿刺抽气治愈)。均未发生肺扭转、乳糜胸、支气管胸膜瘘、围手术期死亡等严重并发症。

## 3 讨论

复杂的肺段切除的困难之处,以右上叶尖段举例说明。首先,术前判断尖段切除是否足够,需要充分评估肿瘤到尖段段间平面的距离,以往的经验是根据常规断层 CT 形成的多层面重建(multiplanar reconstruction, MPR)图像来判断,而尖段与前段、后段之间的段间平面是复杂、倾斜的,与 MPR 图像上的冠状面、矢状面、横切面形成角度,在二维平面上去评估肿瘤到斜面的实际距离,对于人脑来说并不简单。其次,右上叶经常观察到支气管和血管分支结构的解剖变异,如  $V^3a$  回流至中心静脉、 $V^1$  缺如等,这无疑会增加术中的难度。最后,裁剪多个平面后残余肺组织可能会发生肺扭转以及术后长期漏气等风险,这些担忧都会降低医生和患者对复杂肺段手术的接受度<sup>[7]</sup>。要想改变这种状况,把肺段手术做的“精细”,做的“复杂”,借助一些工具是必要的。

在胸腔镜肺段切除术中应用 3D-CTBA 技术的优势主要体现在以下 2 个方面:一方面,医生可以借助 3D-CTBA 图像进行术前规划,重建肺血管、支气管和肺结节,测量三者之间距离,构建安全的手术切缘,辨认变异结构和结节的解剖归属,设计个性化手术方案;另一方面,三维图像的虚拟标定可以与术前 Hook-wire 物理标定一起,二者虚实结合,术中导航,精准定位肺小结节,弥补胸腔镜下缺少触觉反馈的劣势,缩短术中因为寻找结节而浪费的时间。

荧光腔镜反染法一般是指在离断靶段脉管、支气管后,通过外周静脉快速推注 ICG 溶液,ICG 迅速与血浆蛋白、脂蛋白反应,将荧光腔镜切换至荧光模式,除靶段外,保留区域由于含有 ICG 而发出荧光,两者之间形成色差界限,由此显现段间平面<sup>[8]</sup>。首先,相较于经靶段动脉或支气管注射 ICG 的正染法,反染法的优势在于显示段间平面速度快,无需考虑肺组织实时状态,且外周静脉注射相对安全简单,本组 125 例均采用荧光腔镜反染法顺利显示段间平面,未发生与 ICG 相关的不良反应事件。其次,与临床上常用的肺膨胀萎陷法相比,该法可跳过 15~

20 min 等待肺自然塌陷的过程<sup>[9]</sup>,从而缩短术中单肺通气的时间。最后,这种差异性显色法形成的段间平面,在视觉冲击力上,是优于临床上常用的改良膨胀萎陷法的,有利于提高判断段间平面的效率<sup>[10]</sup>。

在胸腔镜肺段切除术中,联合应用 3D-CTBA 技术和 ICG 反染法是有必要的。一方面,应用 ICG 反染法需要良好的 3D-CTBA 图像作支撑。在确定外周静脉推注 ICG 之前,有一个关键步骤就是要确认所要离断的靶段脉管、支气管结构,然而肺部血管、支气管结构发生变异的情况较为常见,且这种变异往往具有复杂性和多样性,不会引起特有的症状和体征<sup>[11]</sup>。本组 125 例术前均无咳嗽、胸痛等,医生仅靠常规的二维 CT 影像资料,术中很难直观地识别靶段区域内的脉管结构,容易出现对血管、支气管辨认不清等情况,给手术带来隐患<sup>[12]</sup>。术前构建 3D-CTBA 图像作基础,可以全方位无死角地观察肿瘤及其临近器官组织,发现手术路线中可能存在的结构变异,提前了解需要离断的靶段脉管、支气管的结构信息。另一方面,ICG 反染法可以帮助验证术前 3D-CTBA 构建的虚拟段间平面是否正确合适。随着外科医生对 VATS 肺段切除技术的掌握越发成熟,简单的肺段切除手术满足不了临床需求,加上肺段手术的适应证一直都在争议和讨论中,未来复杂的胸腔镜肺段手术一定会得到更广泛的应用。复杂肺段由于需要裁剪 2 个或 2 个以上的段间平面,且术中的脉管、支气管等结构更加复杂,术中仅依靠虚拟的段间平面是不够稳妥的<sup>[13]</sup>。本组 125 例在术前 3D-CTBA 形成的虚拟段间平面和术中荧光形成的现实段间平面配合下顺利完成解剖性肺段切除术,术中通过 ICG 反染法形成的实际段间平面,与术前 3D-CTBA 技术形成的虚拟段间平面结合起来,虚实对比,起到再次确认的作用,增加医生判断段间平面的信心。

本研究还存在一些不足之处。一方面,本研究是回顾性研究,为切除肺段数目的可比性和一致性,仅纳入切除 2 个以内的较为常规的肺段切除,排除多个肺段( $\geq 3$  个)、肺段联合楔切、联合亚段、双侧肺部手术等,可能会引起一定的偏差。另一方面,由于荧光腔镜技术引进我院的时间较短,联合应用 3D-CTBA 技术和 ICG 反染法术后随访时间短。我

们认为在术前良好的 3D-CTBA 图像基础上,联合术中荧光腔镜反染法可以很好地实现解剖性肺段切除术,值得临床推广应用。

## 参考文献

- 1 Saji H, Okada M, Tsuboi M, et al. Segmentectomy versus lobectomy in small-sized peripheral non-small-cell lung cancer (JCOG0802/WJOG4607L): a multicentre, open-label, phase 3, randomised, controlled, non-inferiority trial. *Lancet* (London, England), 2022, 399(10335): 1607–1617.
- 2 孙超, 陆世春, 王霄霖, 等. 三维重建技术在胸腔镜解剖性肺段切除术中的应用. *中国微创外科杂志*, 2019, 19(2): 115–117.
- 3 张家豪, 张亚杰, 李鹤成. 早期肺癌肺段切除: 从技术到临床研究. *中国胸心血管外科临床杂志*, 2020, 27(10): 1127–1133.
- 4 段伟东, 董家鸿. 精准外科理念的哲学思考. *医学与哲学(A)*, 2016, 37(8): 19–22.
- 5 Akiba T, Marushima H, Harada J, et al. Importance of preoperative imaging with 64-row three-dimensional multidetector computed tomography for safer video-assisted thoracic surgery in lung cancer. *Surg Today*, 2009, 39(10): 844–847.
- 6 支修益, 李辉. 解剖性肺段切除治疗早期非小细胞肺癌. *中华外科杂志*, 2015, 53(10): 794–797.
- 7 Handa Y, Tsutani Y, Mimae T, et al. Surgical outcomes of complex versus simple segmentectomy for stage I non-small cell lung cancer. *Ann Thorac Surg*, 2019, 107(4): 1032–1039.
- 8 Tarumi S, Yokomise H. Video-assisted thoracoscopic segmentectomy using infrared thoracoscopy with indocyanine green. *Kyobu Geka*, 2016, 69(8): 671–675.
- 9 Oizumi H, Kato H, Endoh M, et al. Techniques to define segmental anatomy during segmentectomy. *Ann Cardiothorac Surg*, 2014, 3(2): 170–175.
- 10 Kuroda H, Yoshida T, Arimura T, et al. Novel development of spectra – A using indocyanine green for segmental boundary visibility in thoracoscopic segmentectomy. *J Surg Res*, 2018, 227(1): 228–233.
- 11 Sakata R, Fujii Y, Kuwano H. Thoracic and cardiovascular surgery in Japan during 2009: annual report by the Japanese Association for Thoracic Surgery. *Gen Thorac Cardiovasc Surg*, 2011, 59(9): 636–667.
- 12 Akiba T. Utility of three-dimensional computed tomography in general thoracic surgery. *Gen Thorac Cardiovasc Surg*, 2013, 61(12): 676–684.
- 13 Tane S, Nishio W, Nishioka Y, et al. Evaluation of the residual lung function after thoracoscopic segmentectomy compared with lobectomy. *Ann Thorac Surg*, 2019, 108(5): 1543–1550.

(收稿日期: 2021–12–10)

(修回日期: 2022–09–08)

(责任编辑: 李贺琼)