

DOI: 10.3969/j.issn.1005-8982.2024.24.008
文章编号: 1005-8982 (2024) 24-0052-05

临床研究·论著

3D打印联合荧光胸腔镜在解剖性肺段切除中的应用 ——基于倾向性匹配评分的病例对照研究*

吴迅, 刘思杰, 李凤卫, 辛兴, 陈应泰
(北京航天总医院 胸外科, 北京 100076)

摘要: **目的** 评价3D打印联合荧光胸腔镜在解剖性肺段切除中的安全性及有效性。**方法** 选取2022年6月—2023年6月在北京航天总医院实施肺段切除术的108例患者,按照1:2进行倾向性匹配评分,试验组(3D打印联合荧光胸腔镜下肺段切除术)33例,对照组(三维重建解剖性肺段切除术)75例。比较两组患者围手术期指标、肺功能指标及不良反应。**结果** 试验组手术时间、引流管置管时间、术后住院均较对照组短($P < 0.05$),术中出血量较对照组少($P < 0.05$),淋巴结清扫数较对照组多($P < 0.05$)。两组患者不良反应发生率比较,差异无统计学意义($P > 0.05$)。两组患者术前用力肺活量百分比(FVC%pred)、第1秒用力呼气容积占预计值百分比(FEV₁%pred)、最大分钟通气量百分比(MVV%pred)比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$)。试验组术后3d FVC%pred、FEV₁%pred、MVV%pred均较对照组高($P < 0.05$)。**结论** 3D打印肺血管-气管-结节-切缘球模型联合荧光胸腔镜,安全有效,可准确定位,快速识别段间平面,值得推广应用。

关键词: 肺段切除术; 3D打印; 三维重建; 荧光胸腔镜

中图分类号: R655.3

文献标识码: A

Application of 3D printing combined with fluorescence thoracoscopy in anatomical segmentectomy: a case-control study based on propensity score matching*

Wu Xun, Liu Si-jie, Li Feng-wei, Xin Xing, Chen Ying-tai
(Department of Thoracic Surgery, Beijing Aerospace General Hospital, Beijing 100076, China)

Abstract: Objective To evaluate the safety and effectiveness of 3D printing combined with fluorescence thoracoscopy in anatomical segmentectomy. **Methods** The 108 patients who underwent segmentectomy at Beijing Aerospace General Hospital from June 2022 to June 2023 were selected, and propensity score matching (PSM) was performed in a 1 : 2 ratio. Thirty-three cases were included in the experimental group (segmentectomy guided by 3D printing combined with fluorescence thoracoscopy), and 75 cases were included in the control group (3D reconstruction-guided anatomical segmentectomy). The perioperative indicators, pulmonary function, and complications were compared between the two groups. **Results** Compared with the control group, the operative duration, the duration of drain placement, and the postoperative length of hospital stay were shorter ($P < 0.05$), the intraoperative blood loss was less ($P < 0.05$), and the number of lymph nodes dissected was greater in the experimental group ($P < 0.05$). There was no statistical difference between the two groups in the incidence of adverse reactions ($P > 0.05$), or in the preoperative forced vital capacity percent predicted (FVC%pred), forced

收稿日期: 2024-10-17

* 基金项目: 首都临床诊疗技术研究及转化应用(No: Z201100005520071)

[通信作者] 陈应泰, E-mail: Yingtaic78@126.com; Tel: 18201016269

expiratory volume in one second percent predicted ($FEV_1\%$ pred), and maximum voluntary ventilation percent predicted ($MVV\%$ pred) ($P > 0.05$). The $FVC\%$ pred, $FEV_1\%$ pred and $MVV\%$ pred 3 days after surgery were higher in the experimental group compared with the control group ($P < 0.05$). **Conclusions** The 3D-printed pulmonary vascular-tracheal-nodule-margin sphere model combined with fluorescence thoracoscopy is safe and effective, enabling accurate localization and rapid identification of intersegmental planes, making it highly recommended for broader clinical application.

Keywords: segmentectomy; 3D printing; 3D reconstruction; fluorescence thoracoscopy

随着高分辨率计算机断层扫描 (computed tomography, CT) 的广泛应用, 早期肺癌检出率显著提高。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)、3D 打印技术与传统手术方式相比, 具有更高的精准度和可操作性^[1-2]。3D-CTBA 可以精确地重建血管、支气管模型, 3D 打印技术可将模型实体化, 方便手术者制订个性化手术方案^[3]。对于早期非小细胞肺癌 (non-small cell lung cancer, NSCLC), 3D-CTBA 辅助的解剖性肺段切除术循证证据充分, 逐渐得到国内外指南认可^[4-6]。但 3D-CTBA 建模时肺处于膨胀状态, 手术时处于萎陷状态, 存在解剖结构差异, 需要手术者具有一定的熟练度, 且手术时间较长^[7-8]。荧光胸腔镜使用吲哚菁绿 (indocyanine green, ICG) 染色, 具有快速、准确识别段间平面的优点^[9-10]。本研究探讨 3D 打印联合荧光胸腔镜在解剖性肺段切除术中的应用效果及安全性。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取 2022 年 6 月—2023 年 6 月在北京航天总医院实施 3D 打印联合荧光胸腔镜下肺段切除术的 36 例患者作为试验组, 其中男性 21 例, 女性 15 例; 平均年龄 (47.43 ± 7.86) 岁。选取同期在本院实施三维重建解剖性肺段切除术的 88 例患者作为对照组, 其中男性 45 例, 女性 43 例; 平均年龄 (51.84 ± 6.34) 岁。纳入标准: ①早期 NSCLC 且结节长径 ≤ 2 cm; ②肺功能较差, 不能够耐受肺叶切除术; ③未见远处转移。排除标准: ④严重心肺功能不全; ⑤造影剂及 ICG 过敏。所有患者知情同意, 本研究通过医院伦理委员会批准。

1.2 三维重建及 3D 打印

所有患者进行胸部 CT 薄层扫 (德国西门子公

司, SOMATOM Definition AS 型), 层厚 1.0 mm, 间隔 0.5 mm, 将动脉期数据传送至图像处理工作站, 并应用 Mimics 21.0 软件进行三维重建, 形成肺血管-气管-结节-切缘球模型。通过 HeyGears 打印机打印, 使用特种工程树脂打印患者彩色肺血管-气管-结节-切缘球模型原型。术者根据三维重建及打印模型进行术前手术规划。见图 1。



图 1 胸部平扫薄层 CT 检查及 3D 打印模型图

1.3 手术方法

患者全身麻醉双腔气管插管, 取健侧卧位。手术采用单孔法, 依次解剖并切断靶段血管、支气管, 按照相关规范及术中快速病理完成肺段切除及相关的淋巴结清扫。靶段段间平面确认方法, 试验组采用荧光胸腔镜 (上海卡尔史托斯内窥镜有限公司, N-90X0568-G 型), 将 25 mg 注射用 ICG (丹东医药药业有限责任公司, 10 mL: 25 mg, 批文号: 国药准字 H20055881) 经外周静脉快速注入, 10~15 s 后 ICG 到达肺组织, 靶肺段不显色, 其余肺组织显示为紫色。对照组根据手术者经验及改良肺膨胀-萎陷法确认靶段段间平面。手术切口处留置胸腔引流管。

1.4 观察指标

1.4.1 临床资料 包括年龄、性别、肿瘤大小、组织学类型。

1.4.2 围手术期指标 包括手术时间、术中出血量、纵隔淋巴结采样/清扫数、引流管留置时间、术后住院时间。

1.4.3 手术前及手术后 3 d 肺功能 包括用力肺活量百分比 (forced vital capacity percent predicted, FVC%pred)、第 1 秒用力呼气容积占预计值百分比 (forced expiratory volume in one second percent predicted, FEV₁%pred)、最大分钟通气量百分比 (maximum voluntary ventilation percent predicted, MVV%pred)。

1.4.4 术后不良反应 包括咳嗽、胸闷、气短等。

1.5 统计学方法

数据分析采用 R 软件和 SPSS 26.0 统计软件。

计量资料以均数 ± 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示, 比较用 t 检验; 计数资料以构成比表示, 比较用 χ^2 或 Fisher 精确概率法。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患者一般资料比较

两组患者年龄、肿瘤大小比较, 经 χ^2/t 检验, 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$); 两组患者性别、组织学类型和肿瘤分期比较, 经 χ^2/t 检验, 差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。选择性别、年龄、肿瘤大小、组织学类型、肿瘤分期, 在两组间进行 1:2 倾向性评分匹配, 最终试验组 33 例、对照组 75 例入组。两组患者倾向性评分匹配后性别、年龄、肿瘤大小、组织学类型、肿瘤分期比较, 经 χ^2/t 检验, 差异均无统计学意义 ($P > 0.05$), 具有可比性。见表 1、2。

表 1 两组患者倾向性评分匹配前一般资料比较

组别	n	男/女/例	年龄/(岁, $\bar{x} \pm s$)	肿瘤大小/(cm, $\bar{x} \pm s$)	组织学类型/例			肿瘤分期/例	
					鳞癌	腺癌	其他	I 期	II 期
对照组	88	45/43	51.84 ± 6.34	1.81 ± 0.32	33	42	13	46	42
试验组	36	21/15	47.43 ± 7.86	2.13 ± 0.57	17	14	5	16	20
χ^2/t 值		1.624	3.273	-3.967		1.055		0.626	
P 值		0.203	0.042	0.039		0.590		0.429	

表 2 两组患者倾向性评分匹配后一般资料比较

组别	n	男/女/例	年龄/(岁, $\bar{x} \pm s$)	肿瘤大小/(cm, $\bar{x} \pm s$)	组织学类型/例			肿瘤分期/例	
					鳞癌	腺癌	其他	I 期	II 期
对照组	75	42/33	50.39 ± 4.68	2.02 ± 0.36	32	33	10	36	39
试验组	33	19/14	49.45 ± 3.45	2.10 ± 0.45	15	13	5	15	18
χ^2/t 值		0.023	1.036	-0.984		0.205		0.060	
P 值		0.879	0.261	0.292		0.902		0.807	

2.2 两组患者围手术期指标比较

两组患者手术时间、术中出血量、引流管置管时间、术后住院时间和淋巴结清扫数比较, 经 t 检验, 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$), 试验组手术时间、引流管置管时间、术后住院均较对照组短, 术中出血量较对照组少, 淋巴结清扫数较对照组多。两组患者不良反应发生率比较, 经 Fisher 精确检验, 差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。见表 3。

2.3 两组患者手术前后肺功能比较

两组患者术前 FVC%pred、FEV₁%pred、MVV%pred 比较, 经 t 检验, 差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。两组患者术后 3 d 的 FVC%pred、FEV₁%pred、MVV%pred 比较, 经 t 检验, 差异均有统计学意义 ($P < 0.05$), 试验组均较对照组高。见表 4。

表 3 两组患者围手术期指标比较

组别	n	手术时间/ (min, $\bar{x} \pm s$)	术中出血量/ (mL, $\bar{x} \pm s$)	引流管置管时间/ (d, $\bar{x} \pm s$)	术后住院时间/ (d, $\bar{x} \pm s$)	淋巴结清扫数/ (个, $\bar{x} \pm s$)	不良反 应例(%)
对照组	75	113.24 ± 11.20	124.51 ± 8.71	3.66 ± 0.43	6.31 ± 0.91	8.60 ± 2.05	2(2.67)
试验组	33	101.12 ± 9.97	103.27 ± 11.25	2.86 ± 0.55	5.65 ± 0.77	10.85 ± 1.96	1(3.03)
t 值		5.351	10.649	8.158	3.631	-5.324	-
P 值		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000

表 4 两组患者手术前后肺功能比较 (% , $\bar{x} \pm s$)

组别	n	术前			术后 3 d		
		FVC%pred	FEV ₁ %pred	MVV%pred	FVC%pred	FEV ₁ %pred	MVV%pred
对照组	75	87.34 ± 7.36	86.47 ± 8.27	76.56 ± 6.33	67.65 ± 6.58	71.35 ± 6.77	58.37 ± 6.01
试验组	33	86.37 ± 9.33	87.68 ± 10.21	78.47 ± 9.27	83.26 ± 7.58	84.38 ± 7.68	86.34 ± 7.87
t 值		0.58	-0.651	-1.245	-10.834	-8.839	-20.205
P 值		0.563	0.517	0.216	0.000	0.000	0.000

3 讨论

随着人们健康意识的提高,以及低剂量 CT 在健康体检中的普及,早期肺癌的检出率也逐渐提高^[11-12]。胸腔镜下肺段切除术可保留更多肺组织,有利于患者肺功能恢复^[13-14],但目前对于早期肺癌选择肺叶切除术或是肺段切除术,仍存在争议。3D-CTBA 辅助胸腔镜肺段切除术存在以下技术难点:确定结节的位置、确定目标结构、保留节段间静脉、肺段间平面的识别、确定手术边缘,因此在胸腔镜下视野和操作空间受限的情况下,对手术者技术要求高,容易造成更多的肺损伤^[15-16]。攻克胸腔镜下肺段切除术的技术难点有可能改变这一争议。已有研究尝试利用三维重建+3D 打印辅助胸腔镜肺段切除术,可准确识别病灶及肺段支气管、血管,确定手术切缘^[17-18]。而 3D 打印为手术者提供更整体化、直观化的印象,便于手术规划,缩短学习曲线^[19]。有国外报道,使用 3D 打印支气管血管肺解剖模型可减少外科医生术中观看模型的次数,减轻精神负荷和疲劳度^[20]。

近年来,荧光胸腔镜技术在结节定位、肺段间平面识别方面得到应用,取得了较好的效果^[21-23]。MISAKI 等^[24]报道在比格犬模型中结扎靶段肺动脉后注射 ICG,红外胸腔镜检查显示正常灌注区变为蓝色,而无灌注区仍为白色。过渡区明显,电灼标记过程中蓝色染色仍清晰可见。本研究结合 3D 打

印技术与 ICG 荧光胸腔镜技术的优点,将两种技术联合用于胸腔镜解剖性肺段切除术,采用倾向性评分匹配消除基线差异,结果显示,试验组手术时间、术中出血量、引流管置管时间、术后住院时间、淋巴结清扫数、并发症发生率均优于对照组,3D 打印肺血管-气管-结节-切缘球模型联合荧光胸腔镜,安全有效,可准确定位,快速识别段间平面,值得推广应用。不同的肺段间平面识别方法是两组指标差异的主要原因:传统的肺段间平面识别方法需要在切断靶段肺血管及支气管后,纯氧鼓肺待全肺膨胀后单肺通气再等待 15 min 左右,观察膨胀萎陷交界。而使用荧光胸腔镜,注射 ICG 约 10 s 即可显像,持续约 3 min,可迅速使用电刀标记段间平面^[25]。本研究存在以下几点局限性:①由于目前尚无复杂节段切除术的学术定义,因此未将切除肺段数纳入倾向性匹配评分,存在一定的偏倚;②3D 打印成本较高,未来需进行大样本的卫生经济学研究,以评估其成本效益。

综上所述,3D 打印肺血管-气管-结节-切缘球模型联合荧光胸腔镜,安全有效,可准确定位,快速识别段间平面,值得推广应用。

参 考 文 献 :

- [1] 王贵刚,董跃华,魏玉磊,等. 3D-CTBA 联合 3D 打印在老年早期 NSCLC 胸腔镜肺段切除术中的应用效果及安全性[J]. 新疆医科大学学报, 2023, 46(10): 1296-1300.
- [2] 王晨,姜静远,张乐宁,等. 单孔胸腔镜精准肺段切除术治疗早

- 期非小细胞肺癌[J]. 长春中医药大学学报, 2022, 38(12): 1384-1388.
- [3] KURENOV S N, IONITA C, SAMMONS D, et al. Three-dimensional printing to facilitate anatomic study, device development, simulation, and planning in thoracic surgery[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2015, 149(4): 973-979.
- [4] 黄彬, 林圣美, 徐驯宇. 三维肺支气管血管重建模拟手术在胸腔镜肺段切除治疗早期肺癌中的应用[J]. *临床外科杂志*, 2018, 26(3): 181-183.
- [5] YENDAMURI S, SHARMA R, DEMMY M, et al. Temporal trends in outcomes following sublobar and lobar resections for small (≤ 2 cm) non-small cell lung cancers--a Surveillance Epidemiology End Results database analysis[J]. *J Surg Res*, 2013, 183(1): 27-32.
- [6] 陈星, 林铿强, 马晨晖, 等. 3D-CTBA 联合 3D 打印技术在早期非小细胞肺癌胸腔镜解剖性肺段切除术中的应用研究[J]. *微创医学*, 2022, 17(1): 16-22.
- [7] CHEN-YOSHIKAWA T F, DATE H. Update on three-dimensional image reconstruction for preoperative simulation in thoracic surgery[J]. *J Thorac Dis*, 2016, 8(Suppl 3): S295-S301.
- [8] 申江峰, 卢开进, 贾卫光, 等. 3D-CTBA 引导精准肺段切除治疗早期非小细胞肺癌 46 例临床分析[J]. *徐州医科大学学报*, 2021, 41(9): 690-692.
- [9] MISAKI N, CHANG S S, IGAI H, et al. New clinically applicable method for visualizing adjacent lung segments using an infra-red thoracoscopy system[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2010, 140(4): 752-756.
- [10] GUIGARD S, TRIPONEZ F, BE'DAT B, et al. Usefulness of near-infrared angiography for identifying the intersegmental plane and vascular supply during video-assisted thoracoscopic segmentectomy[J]. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2017, 25(5): 703-709.
- [11] 任法云, 付克广. 低剂量 CT 在肺结节筛查中的临床应用[J]. *中国医学计算机成像杂志*, 2014, 20(5): 389-393.
- [12] 瞿丽娟, 段永宏, 崔锐红, 等. 胸腔镜联合 3D 打印技术在肺段切除术中的临床效果及预后分析[J]. *中国医学装备*, 2023, 20(3): 113-116.
- [13] 刘庆文, 殷志敏, 王霄霖, 等. 三维重建联合 Hookwire 定位肺小结节在胸腔镜肺段切除术中的应用[J]. *中国胸心血管外科临床杂志*, 2020, 27(7): 802-806.
- [14] 张亮, 邱宏. 3D 打印技术在医学领域的应用[J]. *中国医学装备*, 2018, 15(6): 154-157.
- [15] 张斌, 胡成广. 三维 CT 支气管血管成像胸腔镜肺段切除治疗 T1a~1bN0M0 期非小细胞肺癌的研究进展[J]. *肿瘤研究与临床*, 2023, 35(9): 706-709.
- [16] 杨洋, 林生荣, 胡青, 等. 3D-CTBA 联合 3D 打印技术在肺癌胸腔镜肺段切除术中的应用价值[J]. *陕西医学杂志*, 2023, 52(9): 1221-1224.
- [17] 莫靓, 韦兵, 聂军, 等. 三维重建及 3D 打印技术在精准胸腔镜肺段切除术中的应用[J]. *影像科学与光化学*, 2024, 42(3): 239-246.
- [18] 左涛, 赵轲, 陈治国, 等. 基于 CT 数据的术前 3D 重建在胸腔镜下近肺门处良性肿瘤摘除术的应用价值[J]. *中国现代医学杂志*, 2021, 31(3): 97-100.
- [19] 李小军, 朱潇, 杏福宝, 等. 三维重建及 3D 打印在微创肺外科中的应用[J]. *中华全科医学*, 2020, 18(07): 1190-1194.
- [20] GRIGOROIU M, PAUL J F, BRIAN E, et al. 3D printing in anatomical lung segmentectomies: A randomized pilot trial[J]. *Heliyon*, 2024, 10(11): e31842.
- [21] ANDOLFI M, POTENZA R, SEGUIN-GIVELET A, et al. Identification of the intersegmental plane during thoracoscopic segmentectomy: state of the art[J]. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*, 2020, 30(3): 329-336.
- [22] FAN W, YANG H, MA J, et al. Indocyanine green fluorescence-navigated thoracoscopy versus traditional inflation-deflation approach in precise uniportal segmentectomy: a short-term outcome comparative study[J]. *J Thorac Dis*, 2022, 14(3): 741-748.
- [23] TARUMI S, MISAKI N, KASAI Y, et al. Clinical trial of video-assisted thoracoscopic segmentectomy using infrared thoracoscopy with indocyanine green[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2014, 46(1): 112-115.
- [24] MISAKI N, CHANG S S, GOTOH M, et al. A novel method for determining adjacent lung segments with infrared thoracoscopy[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2009, 138(3): 613-618.
- [25] 刘宁, 何锋, 陈新富, 等. 荧光胸腔镜下解剖性肺段切除术对早期非小细胞肺癌患者免疫功能及肺功能的影响[J]. *中国现代药物应用*, 2023, 17(7): 1-6.

(李科 编辑)

本文引用格式: 吴迅, 刘思杰, 李凤卫, 等. 3D 打印联合荧光胸腔镜在解剖性肺段切除中的应用——基于倾向性匹配评分的病例对照研究[J]. *中国现代医学杂志*, 2024, 34(24): 52-56.

Cite this article as: WU X, LIU S J, LI F W, et al. Application of 3D printing combined with fluorescence thoracoscopy in anatomical segmentectomy: a case-control study based on propensity score matching[J]. *China Journal of Modern Medicine*, 2024, 34(24): 52-56.