

三维 CT 支气管血管成像 在解剖性肺段切除术中的应用研究进展

殷志敏, 陈良亮, 王霄霖, 陆世春, 束余声

(扬州大学临床医学院 胸外科, 江苏 扬州, 225001)

摘要: 随着薄层 CT 技术的不断发展和普及,越来越多的肺小结节被检出。中国人群老龄化问题日益显著,为保留更多肺功能,解剖性肺段切除术逐渐成为普胸外科的研究热点。由于肺血管解剖变异极多,对手术医生的要求较高,术前三维重建和手术规划显得尤为重要。目前临床上应用各种手段进行三维 CT 支气管血管成像以辅助解剖性肺段切除术的实施,达到保证切缘、精准切除的目的。但是,各种重建方法各有优劣,人工智能的发展又将带来新的变革。本研究对三维 CT 支气管血管成像在解剖性肺段切除术中的应用进行综述。

关键词: 三维重建; 支气管血管成像; 解剖性肺段切除术; 人工智能; 手术切缘

中图分类号: R 445 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-2353(2020)03-005-05 **DOI:** 10.7619/jcmp.202003002

Research progress of three-dimensional computed tomography bronchography and angiography in anatomical segmental pneumonectomy

YIN Zhimin, CHEN Liangliang, WANG Xiaolin, LU Shichun, SHU Yusheng

(Department of Thoracic Surgery, Clinical College of Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu, 225001)

ABSTRACT: With the development and popularization of thin-layer CT technology, lots of smaller pulmonary nodules have been detected. In order to preserve more lung function under the obvious situation of aging problem of Chinese population, anatomical segmental resection has become a research hot-spot in field of general thoracic surgery. Because of the great variation of pulmonary vascular anatomy, the requirement of surgeons is very high, so three-dimensional reconstruction and operation planning become very important. At present, three-dimensional CT bronchovascular imaging is used in clinical practice to assist the implementation of anatomic segmental resection, so as to ensure the purpose of cutting edge and accurate resection. However, each reconstruction method has its own advantages and disadvantages, and the development of artificial intelligence will bring new changes. In this study, the application of three-dimensional computed tomography bronchography and angiography in anatomical segmental resection of the lung is reviewed.

KEY WORDS: three-dimensional reconstruction; bronchography and angiography; anatomical segmental resection; artificial intelligence; surgical margin

近年来,随着低剂量螺旋 CT 检查的普及,肺癌的检出率大大提高^[1-2]。目前,手术仍然是肺癌治疗的首选方式,肺叶切除术并行系统淋巴结清扫是其标准术式^[3],适用于大部分肺癌患者,但同时也因切除较多肺组织而导致肺功能损伤。随着中国老龄化趋势日益加剧,70 岁以上患者的比例逐渐增多,而腔镜技术的日益成熟也使得解

剖性肺段切除术越来越多地应用于临床。多项研究^[4-6]表明,肺段切除和肺叶切除在早期肺癌远期预后方面无明显差异。一项囊括 179 例患者的单中心前瞻性研究^[7]发现,有足够手术切缘的肺段切除并行系统淋巴结清扫可作为选择性 cT₁N₀M₀/PN₀ 非小细胞肺癌的根治性治疗方案,同时保留肺功能达术前的(90.0 ± 12.0)%。对于

手术医生来说,肺段切除术对解剖知识的掌握和操作技术的要求较高,为了安全、高效地完成肺段切除术,术前采取一些辅助措施进行手术规划就显得尤为重要^[8]。三维 CT 支气管血管成像(3D-CTBA)是很多临床医生的重要选择,但不同的重建方式各有特点。本研究对近年来报道的各种支气管血管重建方式进行综述,探讨术前 3D-CTBA 在解剖性肺段切除术中的研究进展及临床意义。

1 3D-CTBA 的概述

美国国立综合癌症网络(NCCN)《非小细胞肺癌临床实践指南(2019. V6)》将解剖性肺段切除作为肺癌推荐手术方式之一,其描述的指征包括:(1)肺功能储备较差或合并其他疾病而不能耐受肺叶切除术者。(2)肺肿瘤直径 ≤ 2.0 cm 且满足以下条件之一者:①单纯原位癌;②CT 检查提示 $\geq 50.0\%$ 的磨玻璃样成份;③影像学检查提示肿瘤直径倍增周期 ≥ 400 d。由于肺段支气管、血管解剖复杂,变异较大^[9-10],尤以基底段最为显著,血管系统的解剖变异可达 15 个之多^[11],并且段与段之间无明确界限,在保证安全切缘的前提下精准切除目标肺段难度较大。因此,术前明确病灶与肺动静脉、支气管、肺裂、淋巴结之间的毗邻关系,对充分评估可切除性和术后肺功能非常重要。

三维重建就是将平面的影像资料以立体的形式进行重构,避免了人脑重构的过程以及其可能造成的误差,最大程度地还原器官组织本来的形状及位置关系。利用软件进行三维重建是以准确判读各级支气管为核心,寻找相伴行的动静脉,通过术前 3D-CTBA 精确定位肿块位置,明确其所属肺段,判断其与段支气管、动静脉以及临近组织的相对位置关系^[12]。三维图像的术前模拟有助于手术计划的制定,包括结节的定位,靶血管、靶支气管和手术切缘的识别,解剖变异的揭示以及手术入路的规划。在三维导航的帮助下,手术过程中可以准确地分割所有靶向结构,整块切除靶向实质,保证手术切缘。

2 不同 3D-CTBA 构建方法

2.1 工作站重建

利用螺旋 CT 工作站内置的三维后处理软件处理重建后图像,采用 MinIP 重建法显示气管和

支气管树,容积再现(VR)三维显示肺动脉和肺静脉的图像,多平面重建(MPR)显示病灶的位置,最大密度投影(MIP)等技术实现三维重建^[13]。此种方法可在 CT 扫描后立即进行重建,不需要存储转运,但耗时较长,而且三维重建资料无法与个人电脑端兼容,只可进行浏览查看,无法进一步加工进行手术规划,故往往只应用于疾病诊断。

2.2 常用第三方软件重建

有学者使用第三方软件实现三维重建,取得良好的效果。孙超等^[14]使用交互式医学图像控制系统(MIMICS) 20.0 软件基于薄层 CT 创立 3D 模型进行编辑,然后输出通用的计算机辅助设计(CAD)、有限元分析(FEA)、快速成型(RP)格式,可以导入个人计算机上进行大规模的数据转换处理。基于软件技术的进步,这个过程主要由自动程序操作,仅需几分钟即可获得外科手术需要的模拟的肺结构^[15]。影像科专业仪器的重建过程需要较长的时间,并要由专业人员操作,而个人电脑端软件 10.0 min 内即可完成全部操作^[16]。MIMICS 软件具有重建手段多样化、人工修正功能强大、对原始文件要求较低等特点,还可进行肺叶、肺段、亚肺段的切割,更加直观地展现肺的个体化解剖特征。当然,其局限性是对肺部解剖结构的熟悉程度要求较高,具有上手易、精通难的特点。

Deepinsight 是江苏省人民医院胸外科自行设计的专门用于胸外科肺段切除的 3D 导航软件^[17-18],将胸部增强 CT 经 3D 后处理技术处理,再由手术人员以 DICOM 数据格式输入 DeepInsight 软件并运行,分别经过图像加载处理、气管阈值计算、气管提取、血管提取、肺结节提取、血管染色等步骤,重建 3D 肺段支气管及动静脉血管模型,并形成 3D 图像,用于术中导航,具有准确率高、工作效率高等特点^[19];同时,由于其是为肺段切除术而设计的软件,其实用性和针对性更加强大。

OsiriX 软件^[20-21]是一款开源式的软件,其重建后的图像可导入平板电脑带入手术室,iPad 放入无菌塑料袋中,在手术台上使用和操作。外科医生能够对 3D 图像进行交互式的回顾和分析,以了解不同解剖标志、动脉和静脉分支和从该段中分离出不同的解剖标志。MIMICS 软件和 DeepInsight 软件的局限性是必须要有个人计算机的现场支持才能实现术中导航,无法满足术中的无菌要求,操作不便。OsiriX 软件可将重建后图

像带到手术台上,极大地方便了术者的查看,节约了手术时间,满足严格的无菌操作。

IQQA-3D 影像分析系统常被用于肝脏的三维重建和手术规划中,有学者^[22-24]创新性地将三维重建应用于肺段切除术中,该系统可以准确地划分肺段甚至亚段水平以显示病灶周围细微的局部解剖,进一步缩小手术切除范围。IQQA-3D 影像分析系统具有模拟手术的功能,可以虚拟离断靶段肺动静脉,为外科医师规划手术方案提供直观的决策依据;同时,可将病灶体积、各肺段边界等量化信息显示出来,用以计算术后剩余具有功能的肺脏体积,结合术前肺功能将更加准确地预估术后残余肺功能,制定个性化手术方案并及时修正。

2.3 3D 打印技术在肺段切除术中的应用

3D 打印是快速成型技术的一种,又称增材制造,它是一种以数字模型文件为基础,运用粉末状金属或塑料等可黏合材料,通过逐层打印的方式来构造物体的技术^[25-26]。3D 打印可以实现从虚拟世界到真实世界的过渡,提供解剖模型的触觉反馈,并确保其在任何场所(包括患者床边)中随时可用^[27]。基本流程包括术前均接受胸部高分辨增强 CT 和肺动脉成像,利用工作站查看和筛选原始 CT 数据,进行必要的图像后处理,导入至第三方重建软件中进行 3D 重建。将重建后数据导入 3D 打印机进行打印,最后得到肺的 3D 打印模型原型^[28]。其优点是构建了一个真实的可触及的模型,更加直观地展现真实的解剖结构,当使用树脂等质地较软的材料打印时,可用于术前手术模拟,直接进行切割和缝合;其局限性在于专业的 3D 打印机及耗材比较昂贵,无法短期内得到普及。

2.4 三维重建在肺段切除术中的其他应用

国内外很多医学院和医院^[29-33]也将三维重建用于对医学生和年轻医师的培训,为能掌握复杂的肺外科手术夯实基础。相较于传统的书本学习和平面图像认知,三维重建技术可以快速复制个体化器官的数字模型或实体模型,在教学过程中通过数字交互大大缩短学习周期,学习效果也优于传统模式;也可用于和患者及其家属沟通,使其能直观了解病情和手术方案^[16]。

除应用于肺癌手术治疗外,使用 3D-CTBA 辅助解剖性肺段切除术也可应用于治疗其他疾病。于跃等^[34]利用三维重建指导下的胸腔镜下肺段

切除术治疗 10 例孤立性肺动静脉瘘,取得良好的效果。由此可见,一些需要手术的良性肺部疾病,由于其肿瘤学特性,对切缘要求并不十分严格,在确保病灶完整切除的前提下,应尽可能采用 3D-CTBA 辅助下的精准肺段切除术,以保存更多的肺功能。

3 3D-CTBA 联合术中导航技术

基于 3D-CTBA 图像,联合其他术中导航技术,判别段间平面、靶段肺动静脉等重要结构,以达到精准肺段切除的目的,特别是在复杂肺段和联合亚段切除手术中更具重要性。

吲哚菁绿(ICG)与血浆蛋白结合可提高其荧光强度,可在目标肺段动脉和支气管被分开并压住动脉后由外周静脉注射 ICG。当红外线被等离子体 ICG 吸收时,发出 830 nm 的荧光波长,可以用红外胸腔镜观察到^[35],此时显示荧光的部分为正常组织,靶段不显影,形成的界限即为段间平面。有学者^[36]在支气管镜辅助下将 ICG 灌注入靶段支气管,然后充入空气使其弥散入肺泡,等待 20.0~30.0 min 后手术,这种方法下显示荧光的即为靶段,段间平面同时显现出来。在对 58 例各类亚肺叶切除术的观察中发现,经支气管灌注 ICG 引导下亚肺叶切除术是可行的,适用于任何类型的亚肺叶切除术。传统肺段切除术均采用“膨胀萎陷法”进行段间平面的判别,界限较为模糊,为保证切缘常常多切除一部分正常肺组织。ICG 荧光引导下段间平面更加清晰,且经 ICG 荧光导航的肺段切除术平均手术时间和术中出血量与开胸手术无明显差异^[37]。

有学者^[38-39]联合应用三维电视辅助胸部外科技术(3D-VATS)进行复杂肺段切除和联合肺亚段切除,术者及助手佩戴 3D 偏振眼镜,显示器显示三维立体图像,术中实时导航,将虚拟和现实的肺段解剖结构进行对比辨认,有利于手术操作,降低手术风险,减少术中出血量,缩短手术时间。

目前,5G 技术和人工智能正蓬勃发展,作为“第四次工业革命”的核心已经逐渐渗透到医疗领域。目前已有学者^[40-41]在积极探索虚拟现实技术(VR)、混合现实(MR)技术、增强现实技术(AR)等“未来科技”在医疗领域中的应用。混合现实设备通过手势识别技术识别人类的手势,确定人类想要表达的肢体语言,然后改变模型,使人们能够不借助屏幕显示而看到清晰、立体的三维

模型,为外科医生提供了真实、准确的解剖结构的
空间展示,是一种卓有成效的手术计划工具。

目前广泛应用的三维重建方法还存在一些问
题。由于术中肺组织处于萎陷状态,解剖结构与
术前 3D-CTBA 图像可能不完全一致,这需要手术
医师不断积累经验,能够在 3D-CTBA 的辅助下顺
利完成手术;另外,影像资料的质量和重建过程
所需的时间是影响三维重建能否广泛应用于外科
手术的关键因素,因此有时会出现“重建缺失”和
“动静脉混淆”的现象,直接导致重建效果不满
意,此时需要手术医生结合原始影像资料和三维
重建模型,重新辨认和匹配肺血管和支气管。

4 小 结

三维重建技术目前已广泛应用于临床实践
中,其直观的用户界面和高性能的处理能力使得
外科医生能够实时地观察生成的各种图像。图像
分割和雕刻工具可以提取和去除相关解剖结构,
颜色和透明度的调整也被用来提供最好的 3D 视
觉。尽管这项技术还处于初级阶段,但其好处是
显而易见的,它能引导医院购置新的设备,指导医
护人员学习新的技术,以提升外科训练、理论研
究和医患沟通的质量。当然,我们也应该意识到,
目前的 3D 重建导航技术仍局限于静态导航。在
未来,我们将结合人工智能,开发出可供术中动态
导航的工具,这将进一步提升手术的效率 and 准确
度。

参考文献

- [1] Jacobs C D, Jafari M E. Early results of lung cancer screening and radiation dose assessment by low-dose CT at a community hospital[J]. *Clin Lung Cancer*, 2017, 18(5): e327 – e331.
- [2] 罗海亮, 顾禄寿, 罗好曾, 等. 低剂量螺旋 CT 在肺癌门诊机会性筛查中的应用[J]. *中国肿瘤*, 2017, 26(3): 185 – 189.
- [3] Dai C Y, Shen J F, Ren Y J, et al. Choice of surgical procedure for patients with non-small-cell lung cancer ≤ 1 cm or > 1 to 2 cm among lobectomy, segmentectomy, and wedge resection: a population-based study[J]. *J Clin Oncol*, 2016, 34(26): 3175 – 3182.
- [4] Ijsseldijk M A, Shoni M, Siegert C, et al. Oncological outcomes of lobar resection, segmentectomy, and wedge resection for T1a non-small-cell lung carcinoma: a systematic review and meta-analysis[J]. *Semin Thorac Cardiovasc Surg*, 2019; S1043 – S1050.
- [5] Lim T Y, Park S, Kang C H. A meta-analysis comparing lobectomy versus segmentectomy in stage I non-small cell lung cancer[J]. *Korean J Thorac Cardiovasc Surg*, 2019, 52(4): 195 – 204.
- [6] Zhao Z R, Situ D R, Lau R W H, et al. Comparison of Segmentectomy and Lobectomy in Stage IA Adenocarcinomas[J]. *J Thorac Oncol*, 2017, 12(5): 890 – 896.
- [7] Nomori H, Mori T, Ikeda K, et al. Segmentectomy for selected cT₁N₀M₀ non-small cell lung cancer: a prospective study at a single institute[J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2012, 144(1): 87 – 93.
- [8] Hagiwara M, Shimada Y, Kato Y, et al. High-quality 3-dimensional image simulation for pulmonary lobectomy and segmentectomy: results of preoperative assessment of pulmonary vessels and short-term surgical outcomes in consecutive patients undergoing video-assisted thoracic surgery[J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2014, 46(6): e120 – 126.
- [9] Akiba T, Marushima H, Kamiya N, et al. Thoracoscopic Lobectomy for Treating Cancer in a Patient with an Unusual Vein Anomaly[J]. *Atcs*, 2011, 17(5): 501 – 503.
- [10] Toru N, Masaaki K, Hidenori N, et al. The common trunk of the left pulmonary vein injured incidentally during lung cancer surgery[J]. *Annals of Thoracic Surgery*, 2009, 87(3): 954 – 955.
- [11] Fourdrain A, De Dominicis F, Blanchard C, et al. Three-dimensional CT angiography of anatomic variations in the pulmonary arterial tree[J]. *Surg Radiol Anat*, 2018, 40(1): 45 – 53.
- [12] Iwano S, Yokoi K, Taniguchi T, et al. Planning of segmentectomy using three-dimensional computed tomography angiography with a virtual safety margin: technique and initial experience[J]. *Lung Cancer*, 2013, 81(3): 410 – 415.
- [13] 吴卫兵, 唐立钧, 朱全, 等. 3D-CTA 重建肺血管、支气管在胸腔镜复杂肺段切除中应用[J]. *中华胸心血管外科杂志*, 2015, 31(11): 649 – 652.
- [14] 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[J]. *中国微创外科杂志*, 2019, 19(2): 115 – 117.
- [15] Kitamura Y, Li Y, Ito W, et al. Data-Dependent Higher-Order Clique Selection for Artery – Vein Segmentation by Energy Minimization[J]. *International Journal of Computer Vision*, 2016, 117(2): 142 – 158.
- [16] Chen-Yoshikawa TF, Date H. Update on three-dimensional image reconstruction for preoperative simulation in thoracic surgery[J]. *Journal of Thoracic Disease*, 2016, 8(Suppl 3): S295 – S304.
- [17] 严煜, 周学军, 覃文军, 等. DeepInsight 3D 导航在胸腔镜肺段切除术中的应用[J]. *南通大学学报: 医学版*, 2019, 39(2): 128 – 130.
- [18] 陈亮, 王俊, 吴卫兵, 等. 胸腔镜精准肺段切除术技术流程和质量控制[J]. *中国胸心血管外科临床杂志*, 2019, 26(1): 21 – 28.
- [19] Wu W B, Xu X F, Wen W, et al. Three-dimensional computed tomography bronchography and angiography in the preoperative evaluation of thoracoscopic segmentectomy and subsegmentectomy[J]. *Journal of Thoracic Disease*, 2016, 8(9): S710 – S715.

- [20] Volonté F, Robert JH, Ratib O, et al. A lung segmentectomy performed with 3D reconstruction images available on the operating table with an iPad[J]. *Interactive Cardiovascular & Thoracic Surgery*, 2011, 12(6): 1066–1068.
- [21] Yao F, Wang J, Yao J, et al. Three-dimensional image reconstruction with free open-source OsiriX software in video-assisted thoracoscopic lobectomy and segmentectomy[J]. *Int J Surg*, 2017, 39: 16–22.
- [22] Xu G, Chen C, Zheng W, et al. Application of the IQQA-3D imaging interpretation and analysis system in uniportal video-assisted thoracoscopic anatomical segmentectomy: a series study[J]. *Journal of Thoracic Disease*, 2019, 11(5): 2058–2066.
- [23] Xu G, Chen C, Zheng W, et al. IQQA-3D imaging interpretation and analysis system-guided single-port video-assisted thoracic surgery for anatomical sub-segmentectomy ($LS^{1+2} a + b$) [J]. *J Thorac Dis*, 2018, 10(9): 5515–5521.
- [24] 张树亮, 郑斌, 徐国兵, 等. 联合降维法在达芬奇机器人辅助精准肺段切除术中的应用[J]. *中华胸部外科电子杂志*, 2019, 6(2): 139–140.
- [25] Akiba T, Nakada T, Inagaki T. Simulation of the fissureless technique for thoracoscopic segmentectomy using rapid prototyping[J]. *Ann Thorac Cardiovasc Surg*, 2015, 21(1): 84–86.
- [26] Kurenov SN, 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.
- [27] Pietrabissa A, Marconi S, Negrello E, et al. An overview on 3D printing for abdominal surgery[J]. *Surg Endosc*, 2020, 34(1): Epub of ahead.
- [28] 王力捷, 金成华, 沈韦羽. 3D 打印技术在胸腔镜下肺段切除术中的应用[J]. *浙江临床医学*, 2018, 20(10): 1622–1624.
- [29] Ikeda N, Yoshimura A, Hagiwara M, et al. Three dimensional computed tomography lung modeling is useful in simulation and navigation of lung cancer surgery[J]. *Ann Thorac Cardiovasc Surg*, 2013, 19(1): 1–5.
- [30] Zheng Y X, Yu D F, Zhao J G, et al. 3D Printout Models vs. 3D-Rendered Images: Which Is Better for Preoperative Planning[J]. *J Surg Educ*, 2016, 73(3): 518–523.
- [31] 董庆, 曹守强, 刘恋, 等. 3D 打印肺段模型在胸外科解剖教学中的应用[J]. *现代生物医学进展*, 2017, 17(7): 1368–1370, 1356.
- [32] 钱健, 唐立钧, 唐俊伟, 等. 三维影像重建模型在外科微创手术教学中的应用[J]. *南京医科大学学报: 社会科学版*, 2018, 18(2): 166–168.
- [33] 王哲, 张广健, 张勇, 等. 虚拟 3D 肺脏模型在胸外科规培住院医师临床教学中的应用[J]. *中国医学教育技术*, 2017, 31(6): 697–699.
- [34] 于跃, 孟阳春, 孙云刚, 等. 胸腔镜下肺段切除在孤立性肺动静脉瘘中的应用[J]. *中国医师进修杂志*, 2017, 40(8): 721–723.
- [35] Shintaro T, Noriyuki M, Yoshitaka K, et al. Clinical trial of video-assisted thoracoscopic segmentectomy using infrared thoracoscopy with indocyanine green[J]. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*, 2014, 46(1): 112–115.
- [36] Sekine Y, Itoh T, Toyoda T, et al. Precise Anatomical Sublobar Resection Using a 3D Medical Image Analyzer and Fluorescence-Guided Surgery With Transbronchial Instillation of Indocyanine Green [J]. *Semin Thorac Cardiovasc Surg*, 2019, 31(3): 595–602.
- [37] Noriyuki M, Sung Soo C, Hitoshi I, et al. New clinically applicable method for visualizing adjacent lung segments using an infrared thoracoscopy system [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2010, 140(4): 752–756.
- [38] 余晓伟, 顾云斌, 徐春, 等. 3D-CTBA 及 3D-VATS 单操作孔行解剖性肺段切除治疗非小细胞肺癌[J]. *中国肺癌杂志*, 2017, 20(9): 598–602.
- [39] 吴卫兵, 夏阳, 许晶, 等. 3D 导航胸腔镜联合肺亚段切除术治疗肺段间结节的对比研究[J]. *南京医科大学学报: 自然科学版*, 2018, 38(10): 1424–1427.
- [40] Frajhof L, Borges J, Hoffmann E, et al. Virtual reality, mixed reality and augmented reality in surgical planning for video or robotically assisted thoracoscopic anatomic resections for treatment of lung cancer[J]. *The Journal of Visualized Surgery*, 2018, 4(7): 143–148.
- [41] Tan W, Ge W, Hang Y, et al. Computer assisted system for precise lung surgery based on medical image computing and mixed reality[J]. *Health Inf Sci Syst*, 2018, 6(1): 10–15.

(上接第4面)

- [17] 郑鸿. 中国分级诊疗制度实施现状及对策建议[J]. *中国卫生产业*, 2017, 14(14): 197–198.
- [18] 浙江绍兴市柯桥区妇幼保健所妇女保健科. 国务院办公厅关于推进分级诊疗制度建设的指导意见[J]. *中国乡村医药*, 2015, 22(20): 86–88.
- [19] 刘建荣, 武晋, 秦琴, 等. 山西省人民医院医疗联合体在分级诊疗中的作用探析[J]. *中国医疗管理科学*, 2016, 6(5): 20–23.
- [20] 王辰, 卢清君. 以专科医联体和远程医疗带动基层学科建设[J]. *中华医院管理杂志*, 2017, 33(1): 1–3.
- [21] 田军章. 以“互联网+大众医疗”为基础的分级诊疗[J]. *中国数字医学*, 2016, 11(2): 27–28.
- [22] 张南, 周言, 唐月红, 等. 互联网+医联体平台助推分级诊疗思考[J]. *中国医院*, 2018, 22(11): 42–43.
- [23] 张平, 张子悦, 甘筱青. 公立医院产权改革、服务半径和合作效率—基于南昌三三四医院改制的案例研究[J]. *中国卫生事业管理*, 2016, 33(10): 724–725.