

综 述

DOI: 10.13406/j.cnki.cyx.004123

胸腔镜成像技术研究进展

常淑晴¹, 夏金晶², 周 翀¹, 郝梦兰³, 李晓琦²

(1.上海理工大学健康科学与工程学院, 上海 200093; 2.上海市胸科医院肺功能科, 上海 200030;

3.上海交通大学医学院, 上海 200030)

【摘 要】胸腔镜属于硬性内窥镜, 经胸壁小切口置入胸腔, 其光学系统提供手术区域照明, 摄像系统将影像传输至显示器, 辅助外科医生完成诊断和治疗。本文旨在系统梳理近五年胸腔镜核心技术的发展现状, 重点分析 4K 超高清、3D 立体视觉、荧光导航等关键技术的原理、优势与临床价值, 并对比了国内外在技术研发、市场布局与临床应用方面的差异。研究表明, 胸腔镜技术发展呈现清晰化、立体化、导航化趋势; 虽然高端市场仍由欧美厂商主导, 但国内品牌凭借在互补金属氧化物半导体 (complementary metal-oxide-semiconductor, CMOS) 图像传感器等领域的突破及政策支持, 正快速追赶, 部分技术达到并跑乃至领跑水平, 国产替代趋势显著。本文为把握胸腔镜未来发展方向及推动国内相关产业创新提供参考。

【关键词】胸腔镜; 技术发展; 技术应用**【中图分类号】**R655**【文献标志码】**A

Advances in thoracoscopic imaging technology

Chang Shuqing¹, Xia Jinjing², Zhou Chong¹, Hao Menglan³, Li Xiaoqi²

(1.School of Health Science and Engineering, University of Shanghai for Science and Technology;

2.Department of Pulmonary Function, Shanghai Chest Hospital;

3.Shanghai Jiao Tong University School of Medicine)

【Abstract】As a type of rigid endoscope, the thoracoscope is inserted into the thoracic cavity through a small incision in the chest wall. Its optical system illuminates the surgical field, while the camera system transmits images to a display monitor, assisting surgeons in completing diagnosis and treatment. This paper aims to systematically review the development status of core thoracoscopic technologies over the past five years, with a focus on analyzing the principles, advantages, and clinical value of key technologies such as 4K ultra-high definition, 3D stereoscopic vision, and fluorescence navigation. It also compares the differences between domestic and international counterparts in terms of technological R&D, market layout, and clinical application. The research indicates that the development of thoracoscopic technology is trending toward higher definition, stereoscopy, and navigation. Although the high-end market is still dominated by European and American manufacturers, domestic brands are rapidly catching up thanks to breakthroughs in fields such as complementary metal-oxide-semiconductor (CMOS) image sensors and policy support. Some technologies have achieved parallel development or even taken a leading position, showing a significant trend of domestic substitution. This paper provides a reference for grasping the future development direction of thoroscopes and promoting the innovation of related domestic industries.

【Key words】thoracoscopy; technical development; technical application

原发性支气管肺癌是最常见的恶性肿瘤之一, 全球发病率与死亡率持续上升^[1]。目前, 根治性手术是唯一可能使肺癌患者获得治愈的治疗手段^[2]。因其创口小、术后恢复

快, 微创手术占比逐年升高, 目前已广泛应用于包括肺癌、胃癌、肝癌、食管癌在内的多种内脏肿瘤手术^[3]。

胸腔镜在肺癌微创手术中起关键作用。胸腔镜肺癌手术兴起于 20 世纪 90 年代初, 其在 I 期肺癌手术中的应用已获得公认并纳入临床指南^[4]。胸腔镜属于内窥镜中的刚性内窥镜, 在诊疗过程中提供照明、摄像和通道等功能, 具有操作简便、并发症少等优点^[5], 临床实用性强^[6]。可用于肺癌的检查、诊断和治疗。广泛用于肺叶切除^[7]、肺大疱切除^[8]、纵隔肿瘤切除^[9]等手术, 被视为早期非小细胞肺癌 (non-small cell lung cancer, NSCLC) 治疗的金标准^[10]。

作者介绍: 常淑晴, Email: 15255790650@163.com,

研究方向: 生物医学工程。

通信作者: 夏金晶, Email: summerbluenight@163.com。

基金项目: 转化医学国家重大科技基础设施 (上海) “开放研究计划”

资助项目 (编号: TMSK-2024-118)。

优先出版: <https://link.cnki.net/urlid/50.1046.R.20260604.0959.002>

(2026-06-04)

然而,既往综述多集中于胸腔镜技术的临床应用与普及。近5年来,其核心技术迎来了以“清晰化、立体化、导航化”为特征的跨越式发展,4K超高清、3D立体视觉及荧光导航等技术的成熟与融合,正深刻改变胸外科手术的模式。全球胸腔镜市场格局在动态演变:欧美厂商凭借积累仍主导高端市场;国内品牌则依托互补金属氧化物半导体(complementary metal-oxide-semiconductor, CMOS)图像传感器等技术革新与政策支持,正在细分领域实现突破,发展潜力显著。因此,系统梳理近五年胸腔镜核心技术进展,对比国内外在发展路径、市场策略与技术优劣,对把握未来发展方向、推动产业创新具有重要参考价值。本文拟在此框架下,对胸腔镜的最新发展进行全面的总结与展望。

1 胸腔镜的结构功能与技术趋势

1.1 胸腔镜的结构功能

胸腔镜作为广泛应用于胸外科内窥镜手术的成像设备,具有使用频繁、结构精密、价格昂贵等特点。在我国医疗器械分类中,属于风险等级较高的第三类医疗器械^[11-12]。目前主流为3D胸腔镜,其由摄像系统、光学系统构成。光学系统方面,发光二极管(light-emitting diode, LED)冷光源因亮度高、寿命长、显色性佳等优势,已全面取代传统氙灯与卤素灯,为4K成像提供了高质量照明^[13-14]。摄像系统革新更为显著,核心是图像传感器升级。电荷耦合器件(charge-coupled device, CCD)曾主导高端应用,但随着CMOS技术突破,二者差距逐步缩小,CMOS已成为主流选择^[15]。见表1。

这一转变打破了国外厂商在高端图像传感领域的长期垄断,为国内品牌实现高清、4K乃至更高清成像的跨越式发展提供了关键技术路径。

LED冷光源普及与CMOS传感器主导地位,共同构成了近五年胸腔镜技术向4K、3D及荧光成像等技术升级与融合的基础。下文将重点阐述在此基础上衍生出的前沿技术趋势。

1.2 胸腔镜的技术趋势

胸腔镜正向清晰化、立体化、导航化、耗材化、超细化等方向发展,研发重点集中于4K、3D、荧光、一次性及超细内窥镜,前三者尤为重要。

1.2.1 3D技术 3D胸腔镜可将二维影像转换为三维立体图像,有助于术者更快识别与定位手术区域,从而缩短手术时间^[16-17]。相较于2D胸腔镜,3D胸腔镜系统具有以下优势:①视野立体化,提升空间感知,降低解剖难度。②深度感知增强,有助于判断组织层次,减少误伤风险。③操作精度提

高,尤其在复杂手术中优势明显。

然而,3D成像依赖眼镜产生视觉错觉,经大脑合成景深信息,易导致画面亮度衰减,在胸腺等邻近心搏器官的手术中,视野频繁移动会导致术者头晕,进而增加手术失误、出血及神经损伤风险^[18]。此外,所有手术成员均需经历一段视觉适应期,适应时长存在显著的个体差异,部分外科医生可能始终难以完全适应立体视图,从而限制了其技术优势的发挥^[19]。最后,3D胸腔镜系统设备昂贵,且对手术室布局和团队配合要求更高,这直接导致其购置与维护成本远高于2D系统^[20]。

1项回顾分析显示:与2D系统相比,3D系统可缩短手术时间($P<0.001$)、减少失血量($P<0.001$)并缩短术后引流时间($P=0.008$)^[21]。但龙飞虎和刘继先^[22]对单孔胸腔镜肺段切除术的回顾性对比研究显示,经倾向评分匹配后,3D组与2D组在出血量、手术时长、淋巴结清扫数目、术后并发症及住院时间等围术期指标上均差异无统计学意义。

1项关于喉返神经(recurrent laryngeal nerve, RLN)淋巴结清扫研究对比2D与3D胸腔镜(分别为112例患者,其中男性69例)显示,3D组在手术时间与术中出血量等方面均优于2D组^[23]。

1.2.2 4K技术 目前硬性内窥镜的分辨率已达到4K超高清,可在获取更多影像细节的同时实现高度真实的再现。4K技术因横向像素约为4 000(约800万像素)而得名^[24]。全4K成像系统可显示全高清成像系统四倍的细节^[25],精细呈现血管、神经及筋膜层次。此外,4K成像系统具备更广色域,可实现更佳色彩还原。4K超高清内镜应用于更广泛的临床场景,用于传统内镜难以操作的精细手术。Liang MQ等^[26]在1项S8-9复合肺段切除术中应用超高清4K系统,清晰显示肺段动脉微小分支(如A8、A9)、走行复杂的段间静脉(V8a等)及支气管的细微结构。在离断目标肺段支气管后,通过鼓肺操作,待切除与保留的肺组织会因通气差异形成分界线,识别此分界线,从而指导术者使用直线切割吻合器精准离断,最大程度保留健康肺组织的同时,确保肿瘤的根治性切除。4K系统与“no-waiting”技术结合,避免了术中等待肺萎陷的时间,其清晰视野是该流程安全实施的关键,有助于缩短手术时间并优化手术流程。

1.2.3 荧光技术 胸腔镜根据工作光谱可分为白光胸腔镜与荧光胸腔镜。传统白光成像缺乏疾病特异性的光学特征及有效术中导航,可导致切除不充分和/或切缘阳性^[27]。荧光内窥镜技术可有效克服白光内窥镜的局限性,提供人体表层及其下组织的清晰图像。

花菁染料是目前最常用的有机荧光染料,其中最具代表

表1 CCD与CMOS的区别

元件	功耗	成本	集成度	图像质量	传输速度
CCD	较高	较高	难以集成	传统上,CCD被认为优于CMOS	较慢
CMOS	较低	较低	较高	随着技术发展,CMOS已逐渐赶上	较快

性的是获得美国食品和药物管理局(Food and Drug Administration, FDA)批准临床应用的吲哚菁绿(indocyanine green, ICG)^[28]。荧光内窥镜技术的工作原理是:吲哚菁绿进入人体后与血浆脂蛋白结合,吸收 600~900 nm 范围内的光,并在 800~850 nm 之间发出荧光,其荧光信号的组织穿透深度约为 0.5~1.0 mm^[29]。荧光摄像系统实时捕捉荧光信号并成像,与相同视野的白光图像同步精准叠加,经过图像传感器和图像处理系统的系列操作,并在显示器上成像,在激发光的激发下,被标记的肿瘤细胞等病变组织与正常组织图像呈现出高对比度,实现荧光定位。荧光成像技术灵敏度高,并可实现实时成像^[30]。

最新的临床研究证实,ICG 荧光在界定肺段间平面方面优势显著。1 项针对 77 例肺小结节患者的对比研究显示^[31],与传统的改良膨胀萎陷法相比,ICG 荧光法可将段间平面的显现时间大幅缩短至数十秒,并显著缩短总手术时间,对肺功能代偿能力较差的老年患者尤甚。该研究证实,ICG 荧光导航能清晰、快速地显示段间平面,克服了传统方法等待时间长、平面显示不清晰等技术痛点。近 5 年的研究前沿已从非靶向 ICG 转向靶向性荧光探针的构建。通过将 ICG 与特异性抗体(如抗 EGFR 抗体)或小分子配体(如叶酸)进行化学偶联,可显著提升探针在肿瘤组织的富集程度和信噪比。Meijer RPJ 等^[32]在开放与腹腔镜手术中,使用靶向癌胚抗原的荧光探针检测结肠及胰腺肝转移灶,该技术有望实现肺部肿瘤的精准荧光导航,已成为当前研究热点。

虽然以 ICG 为代表的近红外一区(near-infrared first window, NIR-I, 700~900 nm)荧光成像已在胸腔镜手术中广泛应用,但近 5 年的技术前沿已向成像优势更显著的近红外二区(near-infrared second window, NIR-II, 1 000~1 700 nm)荧光成像迈进。NIR-II 成像利用在生物组织中散射更弱、吸收更少的长波光光子,实现了更深的组织穿透深度、更高的空间分辨率和更优的信噪比^[33]。在肝癌手术中,与 NIR-I 成像相比,NIR-II 导航将肿瘤与正常肝组织的信噪比从 1.45 提升至 5.33,肿瘤检出率从 46.15% 显著提高至 56.41%,这为术中清晰辨识微小病灶、精确规划切除边界提供了革命性的工具^[34]。

NIR-II 技术的临床转化依赖于探针、成像系统和算法的协同创新。探针研究已从利用 ICG 的“拖尾效应”,发展到开发新型小分子及靶向探针,以提升肿瘤识别特异性^[35]。在成像系统与算法方面,内窥镜 NIR-II 成像系统与荧光分子断层重建、深度学习等智能算法相结合,正致力于实现术中肿瘤的三维定位与实时分级,为外科医生提供超越人眼视觉的决策支持。Cao CG 等^[36]开发了 1 个集成了近红外一区与二区(NIR-I/II/II a/II b)多波段成像的平台,辅创新的图像融合算法。该研究首次将 NIR-II a/II b 波段成像应用于临床,并证实其在分辨率与组织对比度方面优于传统的 NIR-I 成像,能更精确地显示肿瘤的供血血管结构,为术中解剖导航提供了更优越的工具。此外,人工智能的融合进一

步拓展了荧光成像的潜能。Shen BL 等^[37]提出了一种将 NIR-II 荧光成像与深度学习模型结合的方法,可于术中实现胶质瘤高精度、高通量分级预测,为外科医生提供实时的病理决策支持。Xiao AQ 等^[38]基于多模态近红外荧光图像,通过一种新型神经网络架构搜索方法,实现了肿瘤的良恶性判别与组织分级,构建了高效的术中智能决策参考系统。

尽管潜力巨大,但 NIR-II 荧光导航的广泛应用仍面临挑战,包括高性能靶向探针的转化、成像系统成本高昂以及临床数据不足等。尽管如此,它无疑代表了胸腔镜荧光导航的未来方向。

1.2.4 其他技术 其他主流技术还包括一次性内窥镜技术与超细内窥镜技术。一次性内窥镜的出现可以解决由于传统内窥镜反复使用而导致的感染问题。同时可避免因重复使用导致的感染风险及清洗消毒费用,从而提高患者的安全并帮助医疗机构节省成本。超细内窥镜以极细的管径著称,多为光纤内窥镜^[39],可进入狭小空间进行视觉检测,操作便捷。并能提供超清晰的图像和色彩还原度的视频,确保成像质量。一次性内窥镜与超细内窥镜凭借各自优势,已成为了重要的发展趋势。

2 国内外胸腔镜发展现状

2.1 国外胸腔镜发展现状

2.1.1 胸腔镜技术起源 1865 年,爱尔兰医生 Francis Richard Cruise 在都柏林完成了首例胸腔镜手术^[40],但是 Jacobaeus 被公认为“胸腔镜之父”,因其在 20 世纪初成功推广并普及了该技术^[41]。在术中,外科医生经胸壁小切口置入硬性器械与内镜,无需切除或牵拉肋骨,从而避免呼吸肌损伤,最大限度保留肺功能^[42]。因其创伤小、恢复快、对肺功能要求相对较低等优势,胸腔镜手术适应证不断扩展,并随着光学与器械技术进步,逐步应用于肺癌治疗^[43]。

2.1.2 胸腔镜技术发展过程 传统的 2D 系统使术者能比开胸手术更近距离、更清晰、更大视野地观察体腔。但传统二维视频辅助胸腔镜手术(video-assisted thoracoscopic surgery, VATS)因器械刚性与直线性局限,在精细血管或淋巴结清扫、大肿瘤切除、结扎缝合等方面存在不足,且缺乏三维解剖层次感,深度感知与空间定位较差^[44]。

随着眼镜辅助 3D 和裸眼 3D 显示系统的应用,增强了立体视角与操作稳定性,使 VATS 更易掌握、创伤更小^[45],并提供直观的景深视觉效果,显著提高手术的精准度与安全性。

机器人辅助胸外科(robot-assisted thoracoscopic surgery, RATS)系统将 3D 影像与更高的器械自由度相结合。其中,达芬奇手术系统是目前市场上唯一用于 RATS 的机器人平台,代表了微创手术技术的重要成果。术者动作可实时同步至器械末端,借助多种微创器械完成操作^[46]。

2.1.3 胸腔镜技术发展现状 胸腔镜技术于 20 世纪初开始广泛推广与传播^[47],随着光学、器械等技术的发展,适应证正

不断扩大^[48],近 5 年来,胸腔镜手术技术在微创化、精准化以及新技术融合方面进步显著。

以卡尔史托斯(KARL STORZ)、史赛克(Stryker)为代表的国际医疗器械巨头,凭借其悠久的历史积淀和先发优势,已构建起极高的技术壁垒和完整的生态系统。其技术发展呈现明显的“系统化整合”与“基础光学深耕”特征。具体而言,卡尔史托斯的技术路线强调“全平台一体化”。该公司不满足于单项技术领先,而是致力于构建涵盖摄像、光源、器械与图像处理的封闭生态系统。该策略增强了产品间的契合度,优化了临床体验,也构建了强大的用户黏性与转换成本。其研发重点持续聚焦于核心光学部件的精进与影像算法的增强,通过底层技术的迭代来巩固其全方位的领先地位。

相比之下,史赛克则采取“细分市场颠覆”的路径。该公司敏锐捕捉到荧光成像的临床需求,依托其在荧光染料、专用图像传感器及算法等领域的深度研发,确立了在荧光硬镜细分领域的领先地位。这与史赛克将荧光技术视为下一代手术导航核心的战略判断密不可分,反映了其专注于高价值、高技术门槛领域进行重点突破的研发思路。

综上所述,国外厂商的领先不仅源于单一产品性能,更根植于其成熟的产业链、深厚的专利布局以及与顶级临床中心长期合作形成的“临床反馈-产品迭代”闭环。这种模式使其能够定义技术标准并引领行业方向。

2.2 国内胸腔镜发展现状

2.2.1 国内胸腔镜发展背景 我国医疗器械产业起步晚于欧美国家,国外厂商产业链与供应链成熟,一定程度上挤压了国内品牌的发展空间。国内品牌多采用自主研发或为国外厂商代工单一部件的发展模式,导致其在市场竞争中处于劣势。

2.2.2 国内胸腔镜发展要素 我国胸腔镜发展主要有以下驱动力:①老龄化趋势加深。我国已进入中度老龄化社会^[49],与之相关的呼吸道疾病发病率上升,推动了诊疗需求的持续增长。②临床需求升级。需要更清晰、更立体、更深层的影像以及更安全、高效、无痛且能及时反馈的诊疗方案。③微创外科的发展与普及。两者共同驱动着腹腔镜、胸腔镜等硬镜的发展。④内窥镜技术快速发展。随着我国 CMOS、4K、3D 等多种技术的进步与应用,内窥镜诊疗效果不断提升。⑤政策支持。国家出台一系列政策鼓励内窥镜创新与发展(表 2)。

2.2.3 国内胸腔镜发展成效 受益于国家政策支持、下游市场需求增长及普及加速,我国内窥镜硬镜行业快速发展,数据显示,2023 年中国内窥镜市场规模约 172 亿元。国内医用内窥镜市场份额从 2020 年的 10% 增加至 2022 年的 26%,平均年度增长率超过 60%^[50]。这表明国产内窥镜正逐步替代进口产品,并在多项技术上拥有国际话语权。多数厂商已实现图像 4K 水平,部分厂商掌握了 3D 与荧光技术。CMOS 技术逐步替代 CCD,一定程度上打破了国外在图像传感领域的技术壁垒,成为我国内窥镜图像系统的主要发展趋势,国内品牌有望在中小城市率先实现进口替代^[51]。国内部分厂商的发展现状见表 3。

2.3 国内外胸腔镜发展对比

与国外巨头的系统化模式不同,国内胸腔镜企业因发展较晚、产业链不完整,早期多采用“模块化创新”和“单点技术突破”策略,并充分利用政策扶持与技术变革机遇。国内厂商普遍在“4K 超高清”和“LED 冷光源”两个技术模块上快速跟进并普及,主要得益于 CMOS 图像传感器技术的成熟与开源,以及全球 LED 产业链优势。该路径绕开了国外在 CCD

表 2 近 5 年国家鼓励内窥镜以及其他医疗器械的创新与发展的政策

发布时间	政策	制定部门
2023 年	《关于做好第三批实施医疗器械唯一标识工作的公告》	国家药监局等
2021 年	《“十四五”医疗装备产业发展规划》	国家市场监督管理总局等
2020 年	《医疗器械监督管理条例》	国务院
2019 年	《关于加强和改进医疗器械检验工作的指导意见》	国家药品监督管理局
2019 年	《产业结构调整指导目录(2019 年本)》	国家药品监督管理局

表 3 国内一些厂商的发展现状

厂商名称	4K	3D	荧光	冷光源	图像传感器	内窥镜
尤泰克内窥镜	√			发光二极管医用冷光源	1/1.8CMOS	
卓外	√			发光二极管医用冷光源	1/3CMOS	4K 光学内窥镜
德龙	√			发光二极管医用冷光源	1/1.8CMOS	4K 光学内窥镜
钱畅医疗	√			发光二极管医用冷光源	3CMOS 技术,1/3CMOS	4K 光学内窥镜
龙影	√			发光二极管医用冷光源	1/1.8CMOS	4K 光学内窥镜
英术	√		√	发光二极管医用冷光源	单 CMOS	
美润达	√	√	√	荧光冷光源	SonyCMOS	4K 电子内窥镜
海泰新光	√		√	颜色系统全彩色光源	3CMOS 技术	
欧谱曼迪科技	√	√	√	荧光白光双路光源	4CMOS 技术	4K 光学内窥镜

技术上的传统壁垒,实现了在图像清晰度这一核心指标上的快速追赶。而在 3D 与荧光等更前沿的技术领域,国内企业的布局呈现分化。少数领先企业如欧谱曼迪、美润达等,已展现出与国际巨头同步研发的能力。例如,欧谱曼迪 3D 胸腔镜镜头约 220 g,而卡尔史托斯同类产品约 420 g,显著减轻了术中医生负担,为时间较长、工作量较大的手术提供了保障。

但这种创新多为模块化或局部优化,在整机系统色彩还原一致性、影像链延迟以及在白光/荧光切换流畅度等“系统级性能”方面,与国外顶尖产品仍有差距。其深层次原因在于:①研发模式:国外多采用“临床需求驱动”的顶层设计,国内受市场策略限制,多从“成本导向”与“功能对标”入手,对高难度手术的隐性需求理解不足。②技术积累:核心图像处理算法(如荧光信号的降噪与增强、4K 影像的实时编码与延迟控制)需长期数据训练与迭代。国外厂商凭借早期市场优势积累了海量高质量临床影像数据,形成“数据壁垒”。③产业链地位:国内企业曾多为代工或部件供应商,虽具制造工艺优势,但在整机架构定义与核心 IP 构建上经验欠缺。

基于前文研究,将各观测点比较结果以打钩“√”的形式汇总于表 4。

表 4 国内外胸腔镜比较矩阵

比较项目	国内胸腔镜	国外胸腔镜
技术起源较早	—	√
技术发展速度更快	√	—
应用领域较广泛	—	√
市场占有率较大	—	√
市场规模较大	√	—
价格优势较高	√	—
售后服务更完善	√	—

3 总结

相较于传统开放手术,微创外科优势显著,日益受到重视,其逐步替代传统手术已成为必然趋势。随着胸部微创技术在肺癌治疗中的兴起与发展,胸腔镜技术受到了胸部手术领域的重视,得到了快速发展。近 5 年,胸腔镜的核心发展趋势包括 4K、3D 与荧光技术,一次性及超细内窥镜亦是重要方向。胸腔镜采用模块化设计,具有灵活、易于管理、并行开发等优势,因此,集成多荧光 LED 冷光源,更高精度图像处理以及更优 3D 模块(视觉疲劳小、视野宽)是当前主要发展方向。

当前,我国的微创肺部手术领域技术成熟,处于世界领先地位,相关肺部微创手术已在绝大部分三级医院以及部分二级及以下医院开展。1 项 2015 年全国三级医院胸外科发展现状调查(共收回问卷 818 份,有效问卷 636 份)显示:截至 2015 年底,600 家三级医院已开展胸腔镜手术,其中 551 家可

独立开展。这项调查表明,当前我国微创胸部手术发展迅速,达到了国际领先水平。但我国肺切除微创技术发展仍不平衡,各级医疗机构技术水平差异显著,且多数县级医院腔镜设备较为陈旧^[52-53]。这表明中小型医院在胸腔镜手术的普及率与技术水平上,与大型医院仍存在差距。然而,用于微创胸部手术的胸腔镜设备,因国内发展起步较晚,国产产品在经验积累与品牌声誉等方面仍与国外厂商存在差距,导致国内医院(尤以大型城市三级医院为主)中,国外产品仍占主导地位。在国内乃至全球胸腔镜行业中,领先企业仍为卡尔史托斯,史赛克等欧美公司。

4 展望

随着社会需求的增长与政策推动,国内胸腔镜企业快速发展,未来五年,胸腔镜技术的发展将超越当前“清晰化”与“立体化”的发展范式,向“智能化、融合化、术式适配化”方向演进。国内企业应发挥临床数据获取的本土优势,大力发展人工智能(artificial intelligence, AI)实时辅助系统。术前可基于计算机断层扫描(computed tomography, CT)数据与内镜影像融合,实现 AI 三维重建与手术路径规划;术中通过 AI 实时识别与分割组织,增强显示关键结构并预警风险;术后自动生成手术记录与器械报告,为质量评估与教学提供支持。为满足单孔/针镜等极限入路手术对空间的苛刻要求,开发更细径、高集成的镜体,在有限空间内实现高性能多模态成像,已成为明确方向。同时,随着 RATS 的普及,胸腔镜需从“独立设备”转变为“系统核心组件”,这要求其国产手术机器人平台进行前瞻性协同设计,开发专用镜体与底层影像链,确保影像与控制信号的毫秒级同步,避免成为系统性能的短板。最终,通过构建模块化、平台化的主机系统,医院可根据术式灵活配置成像模块,从而兼顾临床灵活性、成本效益与技术迭代需求。唯有将技术研发深度融入临床需求的演进脉络,国产胸腔镜才能在全球化竞争中构建起可持续的核心竞争力,最终实现从技术追随者到规则制定者的角色转变。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

作者贡献声明 常淑晴:确定主题、文献筛选、核心观点提炼、论文撰写;夏金晶:负责总体指导并担任通信作者;周翀、李晓琦、郝梦兰:负责监督及审阅修改

参 考 文 献

- [1] Sung H, Ferlay J, Siegel RL, et al. Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries[J]. CA Cancer J Clin, 2021, 71(3):209-249.
- [2] Wyld L, Audisio RA, Poston GJ. The evolution of cancer surgery and future perspectives[J]. Nat Rev Clin Oncol, 2015, 12(2):115-124.
- [3] 刘 阳. 肺部微创手术的历史、现状及趋势[J/OL]. 中华肺部疾病杂志(电子版), 2017, 10(4):385-390.

- Liu Y. History, status and development tendency of minimally invasive pulmonary surgery[J/OL]. Chin J Lung Dis Electron Ed, 2017, 10(4): 385–390.
- [4] Smiley AJ. Veterinary remote care[J]. Vet Clin N Am Small Anim Pract, 2022, 52(5): ix.
- [5] Abbas AE. Surgical management of lung cancer: history, evolution, and modern advances[J]. Curr Oncol Rep, 2018, 20(12): 98.
- [6] Jin FG, Wang HW, Li Q, et al. Expert consensus for diagnosis and treatment using medical thoracoscopy in China[J]. J Thorac Dis, 2020, 12(5): 1799–1810.
- [7] DE LA TORRE M, González-Rivas D, Fernández R, et al. Uniportal VATS lobectomy[J]. Minerva Chir, 2016, 71(1): 46–60.
- [8] Palaniappa MP, Diong NC, Benedict D, et al. Non-intubated vs. intubated video-assisted thoracoscopic bullectomy—a retrospective cohort study[J]. Med J Malaysia, 2023, 78(5): 570–573.
- [9] Liu YW, Chen HW, Lee JY, et al. Is a chest tube necessary after video-assisted thoracoscopic mediastinal tumor resection? [J]. Thorac Cardiovasc Surg, 2021, 69(2): 181–188.
- [10] Vecchio R, MacFayden BV, Palazzo F. History of laparoscopic surgery[J]. Panminerva Med, 2000, 42(1): 87–90.
- [11] 刘晓静, 杨会义, 徐同顺. 《硬式内镜清洗消毒及灭菌技术操作指南》出版: 提升内镜清洗消毒与灭菌工作质量之策略[J]. 介入放射学杂志, 2021, 30(6): I0007.
- Liu XJ, Yang HY, Xu TS. Publication of “operation guide for cleaning, disinfection and sterilization of rigid endoscope”: strategies to improve the quality of cleaning, disinfection and sterilization of endoscope[J]. J Interv Radiol, 2021, 30(6): I0007.
- [12] 孙育红, 钱蓓健, 周力. 手术腔镜器械分类及维护保养指南[M]. 北京: 科学出版社, 2018.
- Sun YH, Qian QJ, Zhou L. Guide to classification and maintenance of surgical endoscopic instruments[M]. Beijing: Science Press, 2018.
- [13] Cole RW, Turner JN. Light-emitting diodes are better illumination sources for biological microscopy than conventional sources[J]. Microsc Microanal, 2008, 14(3): 243–250.
- [14] Mubaid F, Kaufman D, Wee TL, et al. Fluorescence microscope light source stability[J]. Histochem Cell Biol, 2019, 151(4): 357–366.
- [15] 熊平. CCD与CMOS图像传感器特点比较[J]. 半导体光电, 2004, 25(1): 1–4, 42.
- Xiong P. Comparison of CCD and CMOS image sensors[J]. Semicond Optoelectron, 2004, 25(1): 1–4, 42.
- [16] 于修义, 姜杰, 耿国军, 等. 3D电视胸腔镜肺占位病变切除术[J]. 中国微创外科杂志, 2014, 14(4): 359–361.
- Yu XY, Jiang J, Geng GJ, et al. Three dimensional video-assisted thoracoscopic surgery for pulmonary space-occupying lesions[J]. Chin J Minim Invasive Surg, 2014, 14(4): 359–361.
- [17] 乔文亮, 周建华, 刘法兵, 等. 3D胸腔镜系统在胸部微创手术中的初步应用[J]. 中国癌症杂志, 2015, 25(4): 305–310.
- Qiao WL, Zhou JH, Liu FB, et al. Application of three-dimensional thoracoscope system in minimally invasive thoracic surgery[J]. China Oncol, 2015, 25(4): 305–310.
- [18] Li XK, Cui F, Xing T, et al. Glasses-free 3D versus 2D video-assisted thoracoscopic thymectomy: a single-center short-term comparative study[J]. Ann Transl Med, 2019, 7(23): 761.
- [19] 白雪莹, 刘正华. 3D与2D单孔胸腔镜肺叶切除术的疗效比较[J]. 中国医科大学学报, 2023, 52(3): 277–281.
- Bai XY, Liu ZH. Comparison of the therapeutic effects of 3D and 2D single-port thoracoscopic surgery for pulmonary lobectomy[J]. J China Med Univ, 2023, 52(3): 277–281.
- [20] Jiao P, Wu QJ, Sun YG, et al. Comparative study of three-dimensional versus two-dimensional video-assisted thoracoscopic two-port lobectomy[J]. Thorac Cancer, 2017, 8(1): 3–7.
- [21] Xu YY, Chen N, Ma AJ, et al. Three-dimensional versus two-dimensional video-assisted thoracic surgery for thoracic disease: a meta-analysis[J]. Interact Cardiovasc Thorac Surg, 2017, 25(6): 862–871.
- [22] 龙飞虎, 刘继先. 3D与2D单孔胸腔镜肺段切除术治疗早期肺癌的疗效比较[J]. 吉林医学, 2024, 45(12): 3006–3009.
- Long FH, Liu JX. Comparison of 3D and 2D single-port thoracoscopic resection for early lung cancer[J]. Jilin Med J, 2024, 45(12): 3006–3009.
- [23] Wang Q, Ge JT, Wu H, et al. Comparison of three-dimensional vs. two-dimensional assisted thoracoscopy for recurrent laryngeal nerve lymph nodes dissection in esophagectomy: a retrospective study[J]. BMC Surg, 2024, 24(1): 278.
- [24] 徐军, 钱占飞, 贺岸, 等. 4K超高清电视发展趋势研究报告[J]. 中国数字电视, 2013(10): 24–29.
- Xu J, Qian ZF, He A, et al. Research report on the development trends of 4K ultra high-definition television[J]. China Digit TV, 2013(10): 24–29.
- [25] 郑民华, 马君俊, 蔡正昊, 等. 3D腹腔镜手术技术中国专家共识(2019版)[J]. 中国实用外科杂志, 2019, 39(11): 1136–1141.
- Zheng MH, Ma JJ, Cai ZH, et al. Chinese expert consensus on 3D laparoscopic surgery (2019)[J]. Chin J Pract Surg, 2019, 39(11): 1136–1141.
- [26] Liang MQ, Wang L, Gao JB, et al. An optimal thoracoscopic segmentectomy approach: Combined ultra-high-definition 4K endovision systems with “no-waiting” technique in S8–9 complex segmentectomy[J]. Thorac Cancer, 2023, 14(12): 1098–1101.
- [27] Wang QL, Li XJ, Qian BF, et al. Fluorescence imaging in the surgical management of liver cancers: Current status and future perspectives[J]. Asian J Surg, 2022, 45(7): 1375–1382.
- [28] Zelken JA, Tufaro AP. Current trends and emerging future of indocyanine green usage in surgery and oncology: an update[J]. Ann Surg Oncol, 2015, 22(Suppl 3): S1271–S1283.
- [29] 中国研究型医院学会微创外科学专业委员会《腹腔镜外科杂志》. 吲哚菁绿荧光染色在腹腔镜肝切除术中应用的专家共识[J]. 腹腔镜外科杂志, 2019, 24(5): 388–394.
- Committee of Minimally Invasive Surgery, Chinese Research Hospital Association, Journal of Laparoscopic Surgery. Expert Consensus on the

Application of Indocyanine Green Fluorescence Imaging in Laparoscopic Hepatectomy[J]. J Laparosc Surg, 2019, 24(5): 388-394.

[30] Refaat A, Yap ML, Pietersz G, et al. *In vivo* fluorescence imaging: success in preclinical imaging paves the way for clinical applications[J]. J Nanobiotechnology, 2022, 20(1): 450.

[31] 汪志海, 林苗苗, 杨 坤, 等. 4K 荧光单孔胸腔镜解剖性肺段切除术在肺小结节中的应用[J]. 局解手术学杂志, 2025, 34(4): 337-341.

Wang ZH, Lin MM, Yang K, et al. Application of 4K fluorescence single-port thoracoscopic anatomical segmentectomy in small pulmonary nodules[J]. J Reg Anat Oper Surg, 2025, 34(4): 337-341.

[32] Meijer RPJ, de Valk KS, Deken MM, et al. Intraoperative detection of colorectal and pancreatic liver metastases using SGM-101, a fluorescent antibody targeting CEA[J]. Eur J Surg Oncol, 2021, 47(3 Pt B): 667-673.

[33] 裴子郁, 雷泽宇, 韩鑫辰, 等. 近红外二区荧光手术导航技术及其临床应用[J]. 激光与光电子学进展, 2025, 62(18): 1817001.

Pei ZY, Lei ZY, Han XC, et al. NIR- II fluorescence guided surgery technology and clinical application[J]. Laser Optoelectron Prog, 2025, 62(18): 1817001.

[34] Hu ZH, Fang C, Li B, et al. First-in-human liver-tumour surgery guided by multispectral fluorescence imaging in the visible and near-infrared-I/II windows[J]. Nat Biomed Eng, 2020, 4(3): 259-271.

[35] Li CJ, Mi JH, Wang YQ, et al. New and effective EGFR-targeted fluorescence imaging technology for intraoperative rapid determination of lung cancer in freshly isolated tissue[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2023, 50(2): 494-507.

[36] Cao CG, Jin ZP, Shi XJ, et al. First clinical investigation of near-infrared window IIa/IIb fluorescence imaging for precise surgical resection of gliomas[J]. IEEE Trans Biomed Eng, 2022, 69(8): 2404-2413.

[37] Shen BL, Zhang Z, Shi XJ, et al. Real-time intraoperative glioma diagnosis using fluorescence imaging and deep convolutional neural networks[J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2021, 48(11): 3482-3492.

[38] Xiao AQ, Shen BL, Shi XJ, et al. Intraoperative glioma grading using neural architecture search and multi-modal imaging[J]. IEEE Trans Med Imaging, 2022, 41(10): 2570-2581.

[39] Subhash A, Buxbaum JL, Tabibian JH. Peroral cholangioscopy: Update on the state-of-the-art[J]. World J Gastrointest Endosc, 2022, 14(2): 63-76.

[40] Parkin DM, Bray F, Ferlay J, et al. Global cancer statistics, 2002[J]. CA Cancer J Clin, 2005, 55(2): 74-108.

[41] Haskell CM, Holmes EC. Non-small cell lung cancer[J]. Curr Probl Cancer, 1987, 11(1): 1-52.

[42] 宋振祥, 胡晓冬, 林 韬, 等. 单孔胸腔镜手术治疗肺癌的研究现状及进展[J]. 临床肺科杂志, 2017, 22(3): 557-559.

Song ZX, Hu XD, Lin T, et al. Current status and advances in the treatment of lung cancer using single-port thoracoscopic surgery[J]. J Clin

Pulm Med, 2017, 22(3): 557-559.

[43] Lim E, Harris RA, McKeon HE, et al. Impact of video-assisted thoracoscopic lobectomy versus open lobectomy for lung cancer on recovery assessed using self-reported physical function: VIOLET RCT[J]. Health Technol Assess, 2022, 26(48): 1-162.

[44] Jiang Y, Su ZX, Liang HR, et al. Video-assisted thoracoscopy for lung cancer: who is the future of thoracic surgery? [J]. J Thorac Dis, 2020, 12(8): 4427-4433.

[45] Liu J, Cui F, Li JP, et al. Development and clinical applications of glasses-free three-dimensional (3D) display technology for thoracoscopic surgery[J]. Ann Transl Med, 2018, 6(11): 214.

[46] 胡 坚, 高树庚, 陈 椿, 等. 微创肺段手术学[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 2019: 201908.252.

Hu J, Gao SG, Chen C, et al. Minimally invasive lung segmentectomy [M]. Hangzhou: Zhejiang University Press, 2019: 201908. 252.

[47] Schewitz I. Thoracoscopy: the past, the present and the future! A personal journey[J]. Afr J Thorac Crit Care Med, 2018, 24(1): 15-18.

[48] Vannucci F, Gonzalez-Rivas D. Is VATS lobectomy standard of care for operable non-small cell lung cancer? [J]. Lung Cancer, 2016, 100: 114-119.

[49] 况 沛, 王 志. 中国人口老龄化问题现状、成因及应对[J]. 现代商贸工业, 2024, 45(10): 160-163.

Kuang P, Wang Z. Challenges, causes, and responses to China's population aging[J]. Mod Bus Trade Ind, 2024, 45(10): 160-163.

[50] 高 岳, 郑 辰, 李婵娟. 医药行业内窥镜系列: 硬镜[R]. 长江证券, 2020, 5.

Gao Y, Zheng C, Li CJ. Medical Industry Endoscope Series: Rigid Endoscope[R]. Changjiang Securities, 2020, 5.

[51] 唐爱金. 内窥镜行业专题研究: 内窥镜下的微创手术大势所趋, 企业竞相发力布局黄金赛道[R]. 方正证券, 2022, 9.

Tang AJ. Endoscope Industry Special Research: Minimally Invasive Surgery Under Endoscope Is the General Trend, Companies Compete to Lay Out the Golden Track[R]. Founder Securities, 2022, 9.

[52] 魏力扬. 超细纤维镜现状及发展趋势[J]. 医疗设备信息, 2004, 19(7): 37.

Wei LY. Current situation and development trend of superfine fiber endoscopes[J]. Inf Med Equip, 2004, 19(7): 37.

[53] 廖 虎, 梅建东, 刘成武, 等. 中国三级医院胸外科临床发展现状的调查研究[J]. 中华外科杂志, 2018, 56(12): 888-891.

Liao H, Mei JD, Liu CW, et al. A survey on the current development of thoracic surgery in tertiary hospitals of China[J]. Chin J Surg, 2018, 56(12): 888-891.

(收稿: 2025-08-12; 修回: 2026-01-15; 录用: 2026-01-15)

(责任编辑: 周一青)

本文引用格式:

常淑晴, 夏金晶, 周 翀, 等. 胸腔镜成像技术近五年进展[J]. 重庆医科大学学报, 2026, 51(8): 1212-1218.