

手术机器人

从医生钢铁助手进阶到智慧伙伴

本报记者 左妍

2025世界人工智能大会下周即将开幕，人形机器人不出意料又将刷屏全网，但在医院的手术室里，机器人早已是默默耕耘的“老兵”——越来越多的手术机器人系统正悄然“接管”方寸术野：主刀医生无需躬身手术台旁，只需端坐控制台前，指尖嵌入感应指套，脚下轻踩控制踏板，便能指挥机械臂在患者体内精准完成切割、缝合等一系列操作。

手术机器人并非字面理解的人形模样，而是拥有“三头六臂”的精密系统。这些“钢铁助手”究竟有哪些类型？当手术切口向着更小、更少演进时，它们能否胜任高难度复杂操作？对患者而言，这场医疗与科技的融合，又藏着多少实实在在的获益？

► 达芬奇5机器人



更多突破 手术机器人精准进阶

手术机器人的探索始于1985年的PUMA 560。2000年，美国的达芬奇系统获FDA批准，成为首个商业化手术机器人。人机分离的特性满足医生坐着做手术的需求，而且成像效果好，机械臂的任意角度扭动，也远胜过人手的关节自由度。更重要的是，手术过程中，医生能够更好地辨认组织和局部结构、保护神经，因此，达芬奇机器人受到以挑剔著称的外科医生们的欢迎，几乎成为腔镜手术机器人的代名词。但是，20多年来，患者难免会有疑问，机器人手术，是否切得干净？肿瘤复发率会不会变高？毕竟，作为根治癌症的手段，彻底摘除病灶是传统手术的治疗原则。

不久前，复旦大学附属中山医院许剑民教授团队的研究证实，机器人手术治疗中低位直肠癌优势显著：术后3年局部复发率更低，保肛率从79%提升至84%，并发症减少，患者控便、排尿及性功能改善更明显。相关成果已在国际顶级医学期刊《美国医学会杂志》上发表。

其实，达芬奇机器人最初以前列腺手术为突破口，2001年完成国际上首例前列腺手术，创造了“失血，微乎其微”的神话。2006年，达芬奇机器人被引入我国，上海交通大学医学院附属仁济医院泌尿外科主任潘家骅介绍，达芬奇机器人手术以其高精度和微创特点，在泌尿科手术特别是前列腺癌和肾癌微创精准手术领域的应用，能实现了更精准的切除和功能保护。目前，仁济医院已累计完成12000余例达芬奇手术，涉及前列腺癌、肾癌等疾病，后逐步拓展至妇科、胸外科、结直肠外科等领域。

更多力量 国产机器人加速崛起

全球手术机器人市场虽由达芬奇主导，但多元竞争者持续涌现。史赛克的MAKO机器人被誉为骨科“达芬奇”，在关节置换中精度达0.1毫米。复旦大学附属华东医院骨科主任范永前曾用其为82岁患者置换髋关节，精准避开血管，完美解决“长短腿”隐患。

在国家政策扶持下，国产手术机器人加速崛起。微创医疗的“鸿鹄”机器人，是目前唯一获中国、美国、澳大利亚、日本等九个国家和地区认证的国产设备，由上海交通大学医学院附属第九人民医院骨科李慧武团队与微创医疗联合研发，历经8年产学研合作。

鸿鹄的研发源于10年前李慧武的构想——打造性价比高的关节置换机器人。2016年该项目获批国家重点研发专项，产学研协同攻关，最终实现0.2°的角度误差、缩短一半手术时间、减少30%出血量的突破，还兼容髋膝关节置换。

这两年，来自俄罗斯、波兰等国的专家学者来到上海九院，专程学习国产“鸿鹄”骨科手术机器人。作为我国首个实现向欧美市场反向出口的高端医疗装备，这款拥有完全自主知识产权的“中国制造”手术机器人，临床应用已覆盖国内71家医院及欧美20多家医院。

术锐单孔腔镜机器人2023年上市，是中国首台获批上市的单孔腔镜手术系统，由上海交通大学徐凯教授团队历经20余年研发而成。通过单一切口完成传统多孔操作，大幅减少创伤。

更多可能 智慧演进技术融合

上海交通大学医学院吴皓教授、贾欢主任团队主导的国产耳科手术机器人研发正在稳步推进，团队建立了“临床需求—技术研发—临床验证”的闭环研发模式。2020年，团队已成功打造出耳科手术机器人的初代样机。但真正的挑战，从让技术“落地生根”开始。五年来，为了让这台设备更贴近临床实际、更易被广泛接受和推广，研发团队通过专家调研、基层调研，对手术机器人进行小型化、便捷型设计，通过模块化设计实现了设备的灵活配置。

耳科手术有着独特的操作习惯，以人工耳蜗电极植入为例，在机器人末梢结构的限制下，研发人员进行了一轮又一轮的设计与迭代，并成功研发出毫牛顿级力反馈系统——这双“电子手”能敏锐捕捉细微力道变化，最终形成了搭载该系统的机器人执行装置。

随着AI、5G、影像导航等技术发展，手术机器人功能不断拓展。不久前，上海市肺科医院团队利用朗合医疗自主研发的北极星支气管镜导航机器人，依托5G高速低延时网络，由上海专家远程操控，在新疆喀什地区第二人民医院为一名发现肺结节的当地患者完成了支气管镜染色定位操作。图像传输稳定，操作响应迅速，充分体现了5G技术与国产机器人结合在远程医疗中的巨大潜力。

《全球与中国远程医疗手术机器人产业白皮书(2025年)》显示，行业将迎来爆发式增长，中国成为第二大市场。展望未来，AI与机器人的深度融合将是核心方向。各大企业正探索更智能的手术辅助模式，推动手术机器人从医生的“超级工具”向“智慧伙伴”演进。

在助手岗位陪伴老师完成逾千台达芬奇机器人手术后，2017年，我终于通过严苛的培训与考核，获得主刀资质，那一年，我32岁。尽管对这台精密仪器早已熟稔于心，但当指尖真正嵌入操控台的光学追踪环，看着机械臂在患者体内精准摆动时，才真切体会到外科医生与科技间那场无声的博弈——既依赖其赋能，又需驾驭其特性。

机械臂的“完美”与“冰冷”

机器人手术的体验始终充满矛盾。它的3D视野宛如潜入人体的微观探险，10倍放大的高清影像让每根毛细血管都无所遁形；540度旋转的机械腕关节，能在人体深处完成传统腹腔镜难以企及的“绣花”操作。在消化道手术中，恐怕唯有机器人辅助的精细吻合才能达到“瑞金标准”：用仅为头发丝1/3粗细的缝线，在直径1毫米的胰管上均匀缝合6—8针，与小肠严密贴合——这是降低胰腺手术致命并发症“胰瘘”的关键。这意味着即便是解剖结构极其复杂的患者，机器人也能确保吻合精度媲美开腹手术，这是传统腹腔镜难以企及的高度。

然而，机械臂的“冰冷”也显而易见。它没有外科医生指尖的温度，无法感知组织的温热与血管的搏动，更不能传递缝线与组织间的摩擦张力。这些缺憾，都需要操作医生通过自己的眼睛，用3D视野中所能感知的画面细节来适应：比如器械的齿印太深了，意味着我们手指的力量要放松点；无法感受血管的跳动，就需要我们在手术之前更准确地通过CT来确定血管的解剖位置；打结力量太大，线容易拉断，我们就要通过拉线时缝线和组织的形变来判断应该使用的力度。这，就是所谓的学习曲线所包含内容的一部分。

患者认知的信息差

门诊中最常被问及的问题是：“机器人手术时，医生真的在旁边吗？是机器人自己操作吗？”这种顾虑源于医学的专业性、手术室的封闭性，更因“机器人”译名带来的认知偏差——许多人误以为是机器人自主手术。实则不然，“手术机器人”背后其实也是人在操作，医生通过遥控装置，操控机械臂，远程控制机械臂在腹腔中进行手术操作。同时，为了保证手术安全，在患者身边的无菌区，

外科医生与科技的微妙博弈

既依赖其赋能，又需驾驭其特性

瑞金医院普外科胰腺疾病诊疗中心副主任医师 吴志卿

还有1—2名助手和一名器械护士来辅助。医生，依然拥有手术进程中最大的决定权。

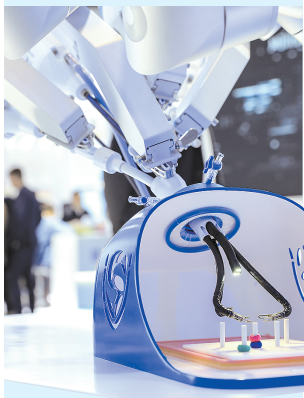
另一个普遍担忧是：机器人手术对恶性肿瘤的根治效果是否逊于开腹手术？我曾画两张示意图对比：机器人手术的“5个钥匙孔”与开腹手术的“一道彩虹”（30厘米弧形切口）。这两种进入腹腔方式的不同，是机器人手术与开腹手术从外部看来最大的不同，给患者带来的直观感受就是“切口小了”。但切口小了，是不是等于我们把手术做“小”了呢？微创手术翻译来自minimal invasive surgery，准确说应该是“最小程度的侵入性手术”，而非手术范围的缩减。进入腹腔后，脏器切除范围、淋巴清扫程度与开腹手术完全一致，根治效果自然毫无二致。

精准之外的敬畏和应变

在胰腺外科，机器人最令人惊叹的，是在狭小危险空间中处理“三明治结构”的能力。胰头被门静脉、肠系膜上动脉和胆总管像三明治一样夹着，而机械臂（腕）的独特设计能让抓住、切除和缝合角度变得无比优雅和得心应手。进行如胰肠吻合这类复杂操作时，机械臂可以轻松实现任何角度的反向进针。这在腹腔镜下需要极其不适地扭曲手腕才能完成，而外科医生手术过程中耐疲劳的程度是保持精力集中且安全完成的重要条件。有位同行说得妙：“机器人做Whipple（胰十二指肠）手术，就像让姚明蹲下来和孩子说话——它得主动适应你的高度。”

胰腺外科或许是最能展现机器人手术双重性的领域：既需神经外科般的精细，又需创伤外科般的应变。生死攸关的胰腺手术从非固定剧本，机器人在这里是放大镜而非魔术棒，是精密仪器而非万能钥匙。

某次机器人做Whipple手术时，由于肿瘤侵犯肠系膜上静脉的背侧视野盲区，分离过程中突然涌血。超声刀换持针器的10秒钟里，我盯着屏幕上弥散的出血，突然无比怀念开腹手术时可以直接用手压住的踏实感。最终为了保证安全，我们中转开腹。术中发现，是血管背侧的多个低位分支同时出血——这深刻提醒我们：机器人放大的是视野，并不是医生的判断力。即使有了先进设备，面对每台手术、每位患者，敬畏之心也永远不可或缺。



▲ 蛇形臂单孔腔镜手术机器人
本版图片 图 IC