

国产手术机器人的超能力和进阶路

人工智能是引领新一轮科技革命和产业变革的重要驱动力,推动人类社会迎来人机协同、跨界融合、共创分享的智能时代。在医工交叉领域,手术机器人的探索与实践,正不断拓展医疗边界,深刻改变着医疗服务模式和未来走向,为守护人类健康注入新动能。

本报记者 林晓晖
通讯员 李文芳 杨陶玉

一台手术机器人的手术正在进行。手术室内,主刀医生不再俯身于手术台前,而是凝视着高清显示器,指尖在控制台上轻盈移动。同步画面中,远端的机械臂如影随形,精准完成游离、牵引、钳夹、离断等每一个动作。

这样的场景,正成为现代外科的日常标配。

二十世纪末,手术机器人问世并正式应用于临床,人类正式开启了用机械延伸双手极限的时代。从早期的单一辅助工具,到如今能突破真人生理局限的“超级助手”,手术机器人已分化出眼科、腔镜、骨科等多个细分类型。大名鼎鼎的“达芬奇”便是综合性手术机器人的代表。

手术机器人是医用机器人的一个重要分支之一。今年,国家药监局对外公布《关于发布优化全生命周期监管支持高端医疗器械创新发展有关举措的公告》,提出十方面具体措施,以全力支持医用机器人等高端医疗器械创新。

近年来,国产的手术机器人迎头赶上,在操作精度、远程协同等领域取得突破性进展:浙江医疗团队完成亚洲首例眼科机器人手术,在全球率先实施跨越万里的5G超远程肝胆手术,发展超越了器械本身的革新,外科手术的生态与边界正在重塑。

超越 精度突破极限

一台手术机器人的身体构造并不复杂,灵活的机械臂是它的双手,集成高清影像的操作台是它的眼睛,实时反馈的传感系统则是它的神经。

这个庞大机器的核心,是将外科医生的操作转化为精密数字指令的神经系统。

这一关键的转化是如何实现的?

浙江大学医学院附属邵逸夫医院普外科梁雷教授告诉记者:操作手柄与机械臂之间通过高精度传感器相连,医生的每个指令都能精准传递,同时机械臂的状态也实时反馈给医生,实现身临其境的操作体验。浙大邵逸夫医院是全国最早引进手术机器人的医院之一。在这里,梁雷团队已完成超过1000例手术机器人辅助手术。

以肝胆胰手术为例,在肝脏这样血管密布的组织结构中,机械臂的540度旋转能力特别关键。梁雷指着机械臂末端的器械解释道,当医生在控制台移动操作杆时,传感器会捕捉手部动作,经计算机处理后驱动机械臂复现,误差控制在亚毫米级别。更关键的是,震颤过滤系统,它能像稳定器般消除人手无法避免的生理性抖动,实现超越人类极限的操作精度。

正是这种突破性的精度,让外科医生得以挑战曾经的手术禁区。

浙江省人民医院眼科沈丽君教授同样对此感受深刻。2007年,她的团队开始关注视网膜血管阻塞的治疗难题。理论上,通过血管内搭桥即可解决问题,但实际操作举步维艰。眼球是一个极为精密的结构,人工血管外径仅46微米,而人手生理震颤幅度达108微米,而血管直径一般为100~200微米。

这相当于用晃动的笔给绣花针穿线。沈丽君告诉记者,团队前前后后进行的88次活体猪眼实验中,仅有5次勉强成功,且不排除伴随组织损伤。

机器有着更稳定的操作性能,若能过滤人手震颤,或能解决这个难题。这也成为他们研发眼科手术机器人的起点。

2013年,国内首台具有自主知识产权的玻璃体视网膜手术辅助机器人系统样机诞生。这台具备6个自由度(记者注:即物体在空间,沿x、y、z三个直角坐标轴方向的移动自由度和绕这三个坐标轴的转动自由度)的精密设备,运动精度达到惊人的3微米。

但让手术机器人从实验室走进手术室还是困难的。毕竟,仿真环境再逼真,也无法完全复制活体组织的复杂性。呼吸起伏、血液循环、组织弹性,每一个细节差别,都可能导致算法失效。

为此,沈丽君和团队创新设计了三重反馈系统:视觉反馈、光学反馈和力学反馈。

视觉反馈提供清晰的手术视野,光学反馈通过OCT(光学相干断层扫描)实时显示穿刺深度。最关键的是力学反馈,在直径仅0.3毫米的柔性探针上集成的微型压力传感器,这些小家伙能实时感知血管壁的接触力,沈丽君指着细如发丝的探针说,把接触力控制在5mN(毫牛)以下,相当于感知花瓣落在皮肤的重量,有效避免组织损伤。

这套系统在眼底光盘片视网膜上最重要的黄斑区大显身手。黄斑区是视网膜的“黄金区域”,厚度仅250微米左右,传统手术中操作稍一失手就可能导致永久性失明,一直是穿刺手术的“禁区”。

操作者穿刺薄如蝉翼的组织时,既要



浙江省人民医院沈丽君教授正在操作眼科机器人进行手术。

受访者供图

器械准确抵达目标层,又要确保不向深层组织穿透。

医生在手术时,为克服生理性颤抖,把握最佳的穿刺位置,必须在短时间内做出决策。但这个几十秒的时间,精准度很多

时候靠感觉,有时候生理极限到了,不得不切下那没思考好的一刀。

作为团队核心成员,省人民医院眼科主任医师陈亦棋深有感触。

2023年,陈亦棋运用这台眼科手术机器

人成功完成了一例治疗眼底黄斑出血的视网膜下溶栓手术。这也是亚洲首例眼科机器人手术。

手术中,机器人系统将医生手部动作震颤缩小至十分之一,震颤过滤精度达10微米。

直径仅100微米的注射针以不超过5微米的误差,精准穿透黄斑区,将20微克溶栓药物送达病灶。

整个过程仅耗时几分钟,术中病灶区的积血已见溶解。术后1个月,患者的视力从

视物模糊奇迹般回归0.5。

没有手术机器人辅助的时候,这一类疾病的患者几乎无法通过外科手术获得精准治疗。

风险太大,很少有医生敢做这类尝试。

沈丽君说。

这样的突破正在各个外科领域上演。

眼科、肝胆外科、神经外科、骨科手术机器人不仅延伸了医生的双手,更拓展了医学的边界。那些曾经因风险过高而被放弃的手术禁区,正被一个个重新打开。

很多依赖手感和经验的外科操作,正被量化为可复制的数字标准。这不仅是工具的革新,更是一场外科范式革命。梁雷说。

靠着这些医工交叉的细节打磨,手术机

器人和医生的配合也越来越默契,更贴合中

国医生的手术习惯与操作节奏。

现在,机器人的角色早就不只是“遥控工

具”了。早期,医生做什么它复制什么。现

在,AI辅助系统能通过影像识别预判需求。

梁雷举例,肝癌切除时,医生分离病灶,AI会实

时标记附近血管:距离门静脉0.5厘米,缝合时

辅助机械臂自动调角度照亮术野,主机

械臂还能按组织厚度调力。这相当于智能化地实现了“心有灵犀”的协作。

在智能助手的加持下,基层医院的年轻医

生也能在辅助下完成高难度手术,优质医疗技

术正沿着这条人机协作的路径不断下沉。

今年,国产图迈腔镜手术机器人远程手

术全科室应用获国家药品监督管理局的注

准,成为全球首个获批可应用于全科室远

程手术的腔镜手术机器人。

远程手术机器人对精度和信号要求更

高,不仅要求医疗团队具备高超技术并默契

配合,还对手术机器人远程通信的稳定性等

提出了巨大挑战。一般而言,手术机器人

中信号延迟不能超过300毫秒,相当于不

灵活,偶尔还卡顿。梁雷解释,那时的机械臂

转动角度受限,做缝合时器械常跟后方

关节缠在一起,就像两

根筷子打架,有时得

停下来重新调整。第

二代虽然灵活度有了

改善,可是还有点延

迟,总影响操作流畅感,精细分离血管时,这

一瞬间的滞后都可能伤着血管。

要让机器人更好用,关键就在“控制二字”。

每台手术结束,医生们都会把遇到的问

题记下来,缝线时器械怎么绕,机械臂转得顺

不顺,这些从手术台得来的“实战经验”,成了技术升级的精准指南。

依托微创器械创新及应用国家工程研究

中心,浙大邵逸夫医院参与了多款国产手术

机器人系统的研发过程。全国有近百名各个

专科的外科医生参与到超远程5G手术机器

人研发前期的多中心动物实验,梁雷和团队

成员也曾多次参与肝胆胰手术的动物实验。

小到控制台座椅高矮,大到手柄和机械臂的配合手感,医生提的意见最实在。上海

微创医疗机器人(集团)市场部负责人崔鹏九

说。最开始,部分有过机器人操作经验的医

生会感受到延时稍大,这一定程度上影响操

作效率和精度。团队对此不断优化,目前最

新版本已经实现了图像不超过40毫秒、主从

控制不超过70毫秒的延时,操作者已经基本

感受不到延时了。

靠着这些医工交叉的细节打磨,手术机

器人和医生的配合也越来越默契,更贴合中

国医生的手术习惯与操作节奏。

现在,机器人的角色早就不只是“遥控工

具”了。早期,医生做什么它复制什么。现

在,AI辅助系统能通过影像识别预判需求。

梁雷举例,肝癌切除时,医生分离病灶,AI会实

时标记附近血管:距离门静脉0.5厘米,缝合时

辅助机械臂自动调角度照亮术野,主机

械臂还能按组织厚度调力。这相当于智能化地实现了“心有灵犀”的协作。

在智能助手的加持下,基层医院的年轻医

生也能在辅助下完成高难度手术,优质医疗技

术正沿着这条人机协作的路径不断下沉。

今年,国产图迈腔镜手术机器人远程手

术全科室应用获国家药品监督管理局的注

准,成为全球首个获批可应用于全科室远

程手术的腔镜手术机器人。

远程手术机器人对精度和信号要求更

高,不仅要求医疗团队具备高超技术并默契

配合,还对手术机器人远程通信的稳定性等

提出了巨大挑战。一般而言,手术机器人

中信号延迟不能超过300毫秒,相当于不

灵活,偶尔还卡顿。梁雷解释,那时的机械臂

转动角度受限,做缝合时器械常跟后方

关节缠在一起,就像两

根筷子打架,有时得

停下来重新调整。第

二代虽然灵活度有了

改善,可是还有点延

迟,总影响操作流畅感,精细分离血管时,这

一瞬间的滞后都可能伤着血管。

要让机器人更好用,关键就在“控制二字”。

每台手术结束,医生们都会把遇到的问

题记下来,缝线时器械怎么绕,机械臂转得顺

不顺,这些从手术台得来的“实战经验”,成了技术升级的精准指南。

依托微创器械创新及应用国家工程研究

中心,浙大邵逸夫医院参与了多款国产手术

机器人系统的研发过程。全国有近百名各个

专科的外科医生参与到超远程5G手术机器

人研发前期的多中心动物实验,梁雷和团队

成员也曾多次参与肝胆胰手术的动物实验。

小到控制台座椅高矮,大到手柄和机械臂的配合手感,医生提的意见最实在。上海

微创医疗机器人(集团)市场部负责人崔鹏九

说。最开始,部分有过机器人操作经验的医

生会感受到延时稍大,这一定程度上影响操

作效率和精度。团队对此不断优化,目前最

新版本已经实现了图像不超过40毫秒、主从

控制不超过70毫秒的延时,操作者已经基本

感受不到延时了。

靠着这些医工交叉的细节打磨,手术机

器人和医生的配合也越来越默契,更贴合中