

医疗机器人的分类和临床应用

钟威¹ 阴赅宏²

¹首都医科大学附属北京妇产医院/北京妇幼保健院医学遗传科,北京 100026;²首都医科大学附属北京妇产医院/北京妇幼保健院中心实验室,北京 100010

通信作者:阴赅宏,Email:yinchh@ccmu.edu.cn,电话 010-52276699

【摘要】 医疗机器人作为医工交叉的前沿领域,正深刻重塑现代医学的面貌。本文结合国际机器人联合会的分类框架,以及个人临床实践和管理经验,构建了医疗机器人的系统认知框架,将其划分为手术机器人、康复机器人、诊断与辅助服务机器人三大核心类别。同时,本述评进一步探讨了当前领域面临的成本控制、标准化培训及伦理法律挑战,并展望了医疗机器人未来发展趋势,强调技术终极目标是服务于人。

【关键词】 医疗机器人; 医工交叉; 分类框架

基金项目:北京学者计划

【中图分类号】 R19;R-05 **【文献标识码】** A **DOI:**10.3760/cma.j.cn113565-20251229-00371

Classification and clinical applications of medical robots

Zhong Wei¹, Yin Chenghong²

¹Department of Medical Genetics, Beijing Obstetrics and Gynecology Hospital, Capital Medical University/Beijing Maternal and Child Health Care Hospital, Beijing 100026, China;²Department of Central Laboratory, Beijing Obstetrics and Gynecology Hospital, Capital Medical University/Beijing Maternal and Child Health Care Hospital, Beijing 100010, China

Corresponding author: Yin Chenghong, Email: yinchh@ccmu.edu.cn, Tel: 0086-10-52276699

【Abstract】 As a cutting-edge field at the intersection of medicine and engineering, medical robots are profoundly reshaping the landscape of modern medicine. Drawing upon the classification framework of the International Federation of Robotics, as well as personal clinical practice and management experience, this paper established a systematic cognitive framework for medical robots, categorizing them into three core types: surgical robots, rehabilitation robots, and diagnostic and assistive service robots. Additionally, this review further explored the current challenges in the field, such as cost control, standardized training, and ethical-legal issues, while envisioning future development trends of medical robots. It emphasized that the ultimate goal of technology is to serve humanity.

【Key words】 Medical robot; Medicine-engineering interdisciplinary integration; Classification framework

Fund program: Beijing Scholar Program

DOI:10.3760/cma.j.cn113565-20251229-00371

随着新一轮科技革命与产业变革的深入推进,以人工智能、机器人技术等为代表的新兴科技,正重塑着现代医学面貌。目前的医学,往往依赖于医生个人经验和能力,而未来的医学,或将是人机协同下的精准医疗。在这波澜壮阔的数智浪潮中,医疗机器人无疑是极具代表性,也最能体现医工交叉魅力的前沿领域之一。

与传统医疗器械不同的是,医疗机器人减少了对人的依赖性,其中一部分更是能够提升医生感官与能力。例如,各类手术机器人,能够突破医生的脑、眼、手的生理极限,提高外科手术的微创化与精准化。然而,医疗机器人的应用远不止手术室。从帮助中风患者重获肢体功能的康复机器人,到提升医院运营效率的物流和消毒机器人,再到辅助诊断

机器人等等,一个覆盖医院运营全流程的医疗机器人体系正在逐步形成。作为临床医生或医院管理者,我们面对这一日新月异的技术图景,亟需一个清晰系统的医疗机器人认知框架。从而更好地理解其技术内涵,最终把握各类医疗机器人的临床应用价值,并应对新挑战。

现结合国际机器人联合会的分类框架,以及多年的临床实践管理经验,对当前医疗机器人的主要类别及其临床应用进行评述。以期提供一个宏观视野,探讨如何深刻认识这一愈发强大的技术工具,为患者提供高质量的医疗服务。

1 手术机器人

手术机器人是目前医疗机器人领域技术壁垒最高的分支,如前所述,其核心目标是增强外科医生的

操作能力。可分为以下 4 类。

1.1 腔镜手术机器人

著名的“达芬奇”机器人就是其中的代表。该类机器人通常采用主从式遥操作构型,医生在控制台通过主手控制器操作,机器人的机械臂在患者体内同步执行精细动作。其优势为:(1)机械臂可在狭小空间内灵活操作;(2)滤除人手自然震颤,提升手术稳定性;(3)提供三维高清、可缩放的术野图像,增强深度感知。目前,腔镜手术机器人已广泛应用于妇产科、普外科、泌尿外科和胸外科等多个领域。

1.2 骨科手术机器人

由于骨科手术中,关节置换、脊柱手术等对精度要求极高,因此诞生了专门的骨科手术机器人。在术前,骨科手术机器人可基于影像进行三维建模和手术规划,并在术中通过光学或电磁导航技术,实时追踪手术器械与患者骨骼的相对位置。从而引导骨科医生精准完成截骨、钻孔、假体安放等操作。通过应用骨科手术机器人,可以减少健康组织的损伤,并改善患者预后。

1.3 神经外科手术机器人

神经外科手术对定位精度要求最高,达到亚毫米级。在神经外科手术中,该类机器人能为医生提供高精度的路径规划和器械导航,从而完成脑组织活检、电极植入和肿瘤切除等手术。通过引入机器人,可有效规避重要脑部区域,从而降低手术风险。

1.4 其他专科手术机器人

除了上述常见类型,手术机器人正向更多专科领域拓展。例如,血管介入机器人和柔性内窥镜手术机器人等,现都已陆续在进入医疗应用场景。

2 康复机器人

康复机器人主要面向神经系统疾病中功能障碍的患者。通过提供科学的康复训练,可促进患者神经重塑和功能恢复。分为以下 3 类:

2.1 肢体功能康复机器人

该类是应用最广泛的一类。分为:(1)上肢康复机器人。针对肩、肘、腕、手等不同关节和功能开发。例如,手功能康复机器人通过外骨骼或柔性气动结构,带动患者手指进行训练。(2)下肢康复机器人,例如床旁下肢康复训练系统,可在患者卧床早期介入,预防肌肉萎缩和关节僵硬。(3)若同时协调上下肢运动,则称为全身性康复机器人,用于促进患者全身功能的协调恢复。

2.2 平衡与行走功能康复机器人

此类机器人专注于恢复患者的核心稳定性与步行能力。通过动态反馈,可对患者的平衡能力进行量化评估与针对性训练,也可在患者行走训练时提供支撑和步态引导,保障训练安全。

2.3 神经功能康复机器人

通过人机交互,神经功能康复机器人可为患者提供记忆力、注意力及执行功能等方面的专业认知训练。此外,该类机器人还能记录分析数据,实现患者个性化干预方案。最后,其不仅可用于康复训练,还可扩展到老年人的日常认知照护和早期筛查领域。

3 诊断与辅助服务机器人

不同于前两类,诊断与辅助服务机器人机器人不直接参与治疗过程,而旨在提升医院诊断以及非核心医疗任务的运营效率。

3.1 医疗诊断机器人

诊断机器人,顾名思义,用于辅助医生诊断。其准确性在于背后的人工智能模型的性能,特征在于:利用人工智能和先进传感技术,进行医学影像分析、病理切片解读或体液样本检测。此外,由于大语言模型技术的发展,现在的模型也可对非结构化的医疗电子病历进行诊断。

3.2 医院物流与环境管理机器人

物流机器人目前已较成熟,其也不局限于医院场景。它们能够自主规划路径和避开障碍,在医院内高效运送药品、无菌器械、标本和医疗废物等。而清洁和消毒机器人,属于一种医院的环境管理机器人,能够自主完成医疗区域的高水平消毒工作。这对院内感染控制具有重要意义,尤其是在重大公共卫生事件中。例如,新冠肺炎等疫情期间,使用机器人进行消毒可有效隔离和保护医疗人员。

3.3 患者服务机器人

导览与问询机器人部署在医院门诊大厅等区域,为患者提供院内导航、科室介绍、流程咨询等服务,可改善患者的就医体验。此外,病房管理机器人可辅助护士完成查房和呼叫等任务。而陪伴机器人,可面向特定人群提供情感交流、娱乐互动等功能,给予患者人文关怀。

4 总结展望

可见,医疗机器人已在现代医院的全流程中展现出巨大的临床价值与应用潜力。然而,作为临床医生或者管理者也需认识目前其面临的挑战。首先,诸如“达芬奇”系列机器人长期占据医疗机器人

市场,我们应当如何通过技术创新与国产化替代降低机器人研发成本,实现技术普惠?另外,笔者认为,对于新事物,我们需要建立规范化的培训体系与认证标准从而确保操作的同质化与安全性。这是保障从业者能够利用医疗机器人高质量处理医疗任务的关键。而除了技术层面,医疗机器人相关的伦理、法律与数据安全问题也需重视。比如,随着机器人自主性的提升,当发生医疗差错时,责任应如何界定?亦或者,患者数据在机器人系统中储存,若涉及到厂家后台支持,如何确保其隐私与安全?

笔者认为,今后医疗机器人的发展将呈现以下几个趋势:一是智能化与自主化,机器人将进一步深

度融合人工智能,特别是多模态大语言模型,从单纯执行指令的“工具”向具备更强自主性和决策能力的“医疗助手”转变。二是微型化与柔性化,除了一些大型机器人设备,部分机器人不仅可进入人体自然腔道,也能适应人体复杂的生理结构。三是远程与网络化,借助 5G 等高速通信技术,将较大地促进优质医疗资源的下沉与均衡分布。

但我们应该始终铭记,技术的终极目标是服务于人。无论技术如何发展,医生的专业知识,以及与患者的共情与沟通,始终是医学实践中不可替代的核心。我们应成为驾驭医疗机器人的工匠,而非被机器所支配的“木偶”。

中华医学会系列期刊参考文献格式的要求

按 GB/T7714—2005《文后参考文献著录规则》采用顺序编码制著录,依照其在文中出现的先后顺序用阿拉伯数字标出。有 DOI 编码的文章必须著录 DOI,列于该条文献末尾。题名后如是电子文献,还应标注文献类型,其文献类项和电子文献载体标志代码参照 GB 3469—1983《文献类型与文献载体代码》。参考文献中的作者列出前 3 位,超过 3 位时,后加“等”或其他与之相应的文字。外文期刊名称用缩写,以 Index Medicus 中的格式为准;中文期刊用全名。每条参考文献均须著录起止页。参考文献必须由作者与其原文核对无误。以电子版优先发表的文献。

责任者(个人作者或集体作者)不超过三位时全部照录。责任者超过三位时,只著录前 3 位责任者,其后加“等”或者其它与之相应的字(西文加“ , et al”)著录格式示例如下。

著录格式示例如下:

一、期刊不分卷

1 Turan I, Wredmark T, Fellander-tsai L. Arthroscopic ankle arthrodesis in rheumatoid arthritis[J]. Clin Orthop 1995, (320):110-114.

二、期刊分卷,连续编页码

2 徐庆,黄宇光,罗爱伦.芬太尼透皮贴剂治疗慢性非癌性疼痛的可行性[J].中华麻醉学杂志,2003,23:347-350.

三、期刊分卷,每期单独编页码

3 汪国华,马进,季适东,等.急性出血坏死性胰腺炎的手术治疗[J].中级医刊,1995,30(8):2225.

四、期刊无卷和期

4 Browell DA, Lennard TW. Immunologic status of the cancer patients and the effects of blood transfusion on antitumor responses[J]. Curr Opin Gen Surg, 1993: 325333.

五、卷的增刊

5 汪晓雷,凌祥,刘祖舜.家兔迷路破坏眼震电路描记[J].中华耳鼻喉科杂志,1995,30 增刊:13.