

脑卒中患者上肢机器人辅助训练文献的可视化分析

严小青¹, 李玉静², 李怡璇², 柴梅梅², 王田², 田文艳³

(1. 山西白求恩医院·山西医学科学院·山西医科大学第三医院·同济山西医院 山西 太原 030032; 2. 甘肃中医药大学护理学院 甘肃 兰州 730050; 3. 中国人民解放军联勤保障部队第九四〇医院 甘肃 兰州 730050)

摘要 目的: 系统分析脑卒中患者上肢机器人辅助训练的研究现状和热点, 以期为研究人员提供新思路。**方法:** 使用 Web of Science 数据库检索 2003—2022 年脑卒中患者上肢机器人辅助训练的相关文献, 应用 VOSviewer 软件进行可视化分析。**结果:** 发文量大致分为萌芽、上升和爆发 3 个阶段, 表明脑卒中后上肢机器人辅助训练相关领域已逐渐引起广大研究者的重视; 中国虽然起步较晚, 但目前已成为脑卒中患者上肢机器人辅助训练研究领域发文量最多的国家, 是该领域的重要力量; 当前研究热点主要聚焦于脑卒中后上肢功能康复、机器人辅助治疗及方法设计、脑卒中患者健康问题发生改变后产生的后果等主题。**结论:** 上肢机器人辅助训练研究领域发展迅速, 研究热点多样化, 但各国家、机构之间存在差异性。我国在该科研领域仍有较大发展空间, 未来应建立多学科协作模式、统一康复训练模式、医院家庭合作模式, 以促进该领域的进一步发展。

关键词 脑卒中; 上肢机器人辅助训练; VOSviewer; 可视化分析**中图分类号** R493 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721 (2025) 02-0287-06

Visualized analysis of literature on robot-assisted upper limb training in stroke patients

YAN Xiaoqing¹, LI Yujing², LI Yixuan², CHAI Meimei², WANG Tian², TIAN Wenyan³

(1. Shanxi Bethune Hospital/Shanxi Academy of Medical Sciences/Third Hospital of Shanxi Medical University/Tongji Shanxi Hospital, Taiyuan 030032, China; 2. Nursing College of Gansu University of Chinese Medicine, Lanzhou 730050, China; 3. the 940th Hospital of Joint Logistics Support Force of PLA, Lanzhou 730050, China)

Abstract Objective: To systematically analyze the current research status and hotspots of robot-assisted upper limb training in stroke patients, with the purpose of providing novel insights for researchers in the field. **Methods:** Relevant literature in the Web of Science database on robot-assisted upper limb training for stroke patients published from 2003 to 2022 was retrieved. Visualized analysis was conducted using VOSviewer software. **Results:** The publication volume can be categorized into three stages: emerging, rising and outburst, indicating a progressively increasing attention from researchers on robot-assisted upper limb training for stroke patients. Despite a late start, China has emerged as the leading contributor to the publications in this field, signifying its significant presence and influence. Research hotspots revolve around functional rehabilitation of the upper limb of patients after stroke, robot-assisted therapy, method design, and the consequences caused by altered health conditions in stroke patients. **Conclusion:** The field of robot-assisted upper limb training is advancing rapidly, with diversified research hotspots. However, development differences in this field exist among countries and institutions. China still has room to the development of robot-assisted upper limb training, efforts should be made on establishing multidisciplinary collaboration models, unified rehabilitation training approaches, and hospital-family cooperation models to foster its development in the future.

key words Stroke; Robot-assisted Upper Limb Training; VOSviewer; Visualized Analysis

据世界卫生组织报道, 脑卒中已成为全球第三大致残病因。卒中后最常见的损伤是运动功能受限, 超过 2/3 的患者受损部位主要集中在上肢^[1-2]。长期的运动受限会导致患者肌肉逐渐萎缩, 从而导致患者生活质量下降, 给患者家庭和社会带来巨大负担。

改善脑卒中后患者的上肢功能已成为当前的研究重点之一, 恢复患者的运动功能更是患者家庭与社会的深切愿望。康复训练是促进脑卒中患者运动功能恢复的最有效途径, 而由于人力限制等因素往往使得患者恢复效果不佳^[3]。近年来, 随着科学技术的

基金项目: 甘肃省科技计划项目 (21CX6ZA119)**Foundation Item:** Science and Technology Plan Project of Gansu Province(21CX6ZA119)**引用格式:** 严小青, 李玉静, 李怡璇, 等. 脑卒中患者上肢机器人辅助训练文献的可视化分析[J]. 机器人外科学杂志(中英文), 2025, 6(2): 287-292.**Citation:** YAN X Q, LI Y J, LI Y X, et al. Visualized analysis of literature on robot-assisted upper limb training in stroke patients[J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2025, 6(2): 287-292.**通讯作者 (Corresponding Author):** 田文艳 (TIAN Wenyan), Email: tianwy2021@163.com

不断发展, 上肢康复机器人能够以高密度、高重复等方式为脑卒中患者提供以特定任务为导向的康复训练, 这极大地弥补了康复治疗师的不足, 缓解了人力限制, 促进了患者上肢运动功能的恢复与神经元的重建, 通过重复性任务与学习使患者运动功能恢复成为可能。随着技术的不断成熟, 机器人辅助训练已成为广大医务人员及患者首选的康复治疗方式^[3]。然而, 目前利用文献计量学分析脑卒中患者上肢机器人辅助训练的研究相对较少。文献计量学是以文献或其他相关媒介为研究对象, 运用数学、统计学等方法对各种文献进行定量分析和挖掘, 探讨科学动态特征的一门学科^[4]。本研究旨在应用可视化软件 VOSviewer 对 2003—2022 年有关脑卒中患者上肢机器人辅助训练的相关文献进行分析, 探讨该领域的研究现状与趋势, 为相关研究者深入研提供参考。

1 资料与方法

1.1 文献检索 本研究选用 Web of Science 核心合集中的 Science Citation Index Expanded (SCI-E)数据库,采用高级检索方式,以(((((TS=(stroke)) OR TS=(cerebral infarction)) OR TS=(brain vascular accident)) OR TS=(cerebrovascular disease)) OR TS=(cerebrovascular stroke)) OR TS=(cerebral hemorrhage)) OR TS=(cerebral hemorrhage)) AND TS=(gait training)) OR TS=(gait rehabilitation)) OR TS=(upper limb rehabilitation robot)) OR TS=(upper limb training)) AND TS=(robot)为检索式进行检索,时间跨度为2003年1月1日—2022年12月31日,文献语种限定为英语。

1.2 文献筛选 将文献筛选结果导入 Endnote 文献管理软件中, 首先利用软件进行机器去重, 再由 2 名研究者单独阅读论文题目及摘要进行人工查重, 若 2 名研究者的结果存在异议则通过与第三名研究者讨论进行评审。本研究共检索出文献 2506 篇, 其中期刊文献 2408 篇, 会议 98 篇, 通过去除会议论文、机器去重与人工去重后, 最终纳入 2304 篇。

1.3 研究方法

VOSviewer 是基于计算机编程语言（JAVA）的一款知识框架可视化软件，能够绘制期刊文献、发文机构、关键词等的共现网络^[5]。将最终纳入的文献以 .txt 格式导出，导出记录内容为全记录与引用的参考文献，通过 VOSviewer 软件对数据结果进行挖掘处理、聚类分析，从而提取发文量、国家或地区、发文机构和关键词中的关键信息，识别出上肢机器人辅助训练的主要研究力量和脑卒中上肢机器人辅助训练领域的研究热点。

2 结果与讨论

2.1 发文量分析 对发文量进行分析可反应一段时间内相关研究的发展与变化。2003年起,国内外上肢机器人辅助训练相关的发文量总体呈逐年上升趋势(如图1),说明研究者对该主题的关注度逐渐增加。发文量可大致分为3个阶段:第一阶段(2003—2008年),该阶段年发文量均低于30篇,为该研究的萌芽阶段;第二阶段(2009—2017年),该阶段发文量急剧增加,为该研究的上升阶段;第三阶段(2018—2022年),该阶段年发文量均在200篇以上,为该研究的爆发期。2021年发文量达到最高(347篇),预计未来几年将持续上升。

2.2 发文国家和地区分析 按发文作者所在的国家/地区进行统计分析,共涉及 95 个国家和地区(如图 2)。其中发文量排名前五的国家/地区分别为中国(488 篇)、美国(443 篇)、意大利(377 篇)、日本(177 篇)和韩国(171 篇),共计为 1656 篇,占总发文量的 71.88%。中国、美国、意大利的发文量遥遥领先于其他国家。中国的发文量最多,说明我国已经成为脑卒中患者上肢机器人辅助训练研究领域的重要力量。合作强度前五的国家/地区分别为美国、意大利、英国、中国和瑞士,意大利、德国、美国 and 英国之间的合作较为紧密,而中国与其他国家之间合作较少,表明我国研究较为独立。根据时序知识图谱,美国和德国较早进入脑卒中患者上肢机器人辅助训练研究领域,至今该领域体系已基本搭建完善,意大利、英国和日本等国家也于 2018 年之前搭建完成,而中国、印度等国家在该研究领域起步相对较晚。

2.3 发文机构分析 按发文作者所在的机构进行统计分析,共涉及272个发文机构(如图3)。发文量前十的机构分别为比萨圣安娜高等学校(67篇)、

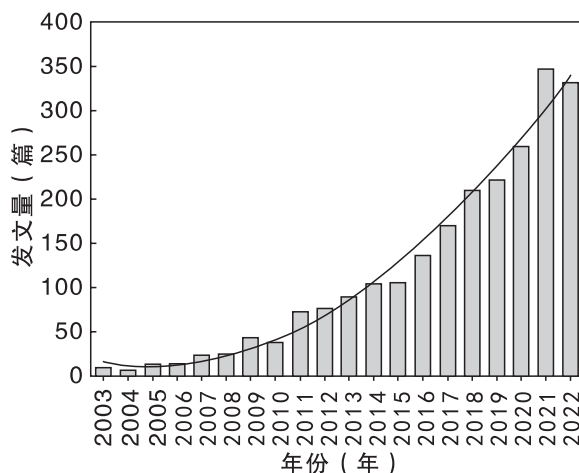


图 1 2003—2022 年发文量变化趋势

Figure1 Trends in the publication volume from 2003 to 2022

麻省理工学院（60 篇）、西北大学（46 篇）、苏黎世大学（43 篇）、苏黎世联邦理工学院（42 篇）、马里兰大学（42 篇）、特温特大学（39 篇）、中国科学院（33 篇）、瑞士联邦理工学院（33 篇）、筑波大学（33 篇）。合作强度前十的机构依次为麻省理工学院、比萨圣安娜高等学校、苏黎世大学、美国西北大学、苏黎世联邦理工学院、马里兰大学、特温特大学、中国科学院、瑞士联邦理工学院、哈佛大学。上述结果表明上肢机器人辅助训练研究领先的机构是比萨圣安娜高等学校和麻省理工学院，国内机构在该领域的研究较为薄弱。根据时序知识图谱，麻省理工学院和马里兰大学等机构最先进入脑卒中患者上肢机器人辅助训练研究领域，西北大学、比萨圣安娜高等学校于 2016 年先后开始该领域的研究，而中国科学院、延世大学等机构在 2020 年左右才对该领域进行探索，起步较晚。

2.4 作者分析 为进一步了解该领域核心作者及其发文情况，本研究列举了发文量最高的 5 位作者（见表 1）。本研究纳入的 2304 篇文献由 226 名作者撰写，其中发文量最多的作者是来自苏黎世联邦理工学院的 Riener Robert，其在 2003—2022 年共发文 42 篇，其次是 Smania Nicola（25 篇）、Waldner Andreas（25 篇）。发文前五的作者有 3 位均来自意大利，其他 2 位来自日本和瑞士（见表 1）。

2.5 关键词分析 对纳入的 2304 篇文献进行关键词共现及聚类分析发现，共有 451 个关键词与上肢机器人辅助训练研究存在密切联系（如图 4）。筛选出前 15 个高频关键词，并根据其出现的频率对关键词进行降序排列：rehabilitation（ $n=1108$ ）、stroke（ $n=795$ ）、robots（ $n=574$ ）、upper-limb（ $n=563$ ）、assisted therapy（ $n=477$ ）、movement（ $n=366$ ）、walking（ $n=356$ ）、design（ $n=299$ ）、motor function（ $n=279$ ）、exoskeleton（ $n=277$ ）、upper extremity function（ $n=268$ ）和 impairment（ $n=220$ ）。根据关键词设置阈值为 10，合并同义关键词后进行聚类分析，共绘制节点 71 个，连线 1348 条，可分为 3 个聚类，其中聚类 1（红色部分）涉及 rehabilitation、upper-limb、assisted therapy、upper extremity function 等关键词，表明机器人辅助训练已广泛应用于脑卒中后上肢功能的康复与锻炼；聚类 2（绿色部分）涉及 stroke、balance、health、spinal-cord、older adults、quality 等关键词，表明脑卒中后发生的脊髓损伤会严重影响患者的平衡、步态以及活动能力，导致患者发生健康问题，对患者及社会造成经济负担；聚类 3（蓝色部分）涉及 robots、exoskeleton、design、system、task 等关键词，表明上肢机器人辅助训练研究中以机器人类型设计、系统任务导向为研究重点。根据时序图谱可以看出，2003—2022 年研究者对

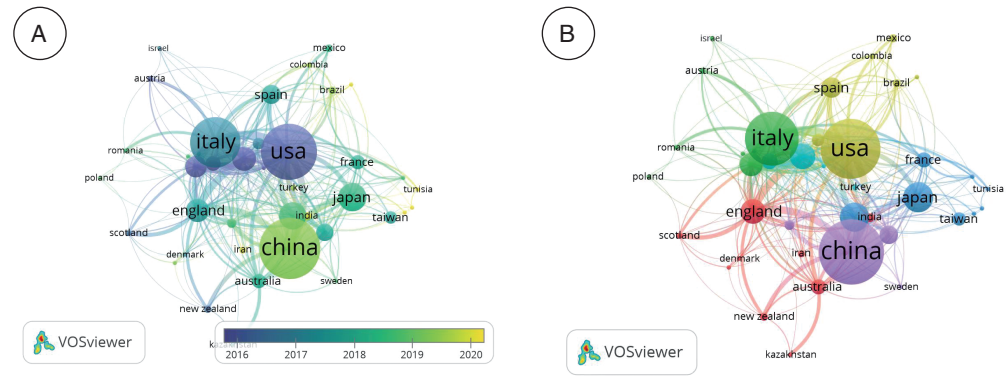


图 2 发文国家分布图及时序图
Figure 2 National distribution map and sequential map of publications

表 1 2003~2022 年发文量居前 5 位的作者分布
Table 1 Top 5 contributors from 2003 to 2022

排序	第一作者	国家	发文量	发文机构
1	Riener Robert	瑞士	42	苏黎世联邦理工学院
2	Sankai Yoshiyuki	日本	25	筑波大学电子学研究中心
3	Smania Nicola	意大利	25	维罗纳信托医院神经科学部神经康复科
4	Franceschini Marco	意大利	23	意大利罗马圣拉斐尔 - 皮萨纳康复部
5	Waldner Andreas	意大利	22	“Villa Melitta” 私立医院神经康复科

上肢机器人辅助训练领域的关注度逐渐增高；2016年—2018年上肢机器人领域发展迅速，研究类型以随机对照试验居多，研究主要集中于上肢康复、辅助治疗等方面；本研究还发现，随着科学技术的进一步发展，外骨骼辅助康复训练在2019年之后成为该领域研究热点，研究者从2019年开始关注患者的负担、生活质量等方面（如图4）。

2.6 上肢机器人辅助训练在脑卒中患者康复期的有效性评价 研究表明在相同强度与运动频率相同的条件下，机器人辅助训练与常规护理对患者上肢康复的效果是相同的，机器人辅助训练的优势在于其可以提供重复性、高强度及特定的训练任务，能够减轻治疗师的负担，增加训练的趣味性^[6]。虽然英国的一项多中心研究指出机器人辅助训练在改善患者上肢功能方面并不优于普通护理^[7]，但更多的研究表明机器人辅助训练在改善运动控制、肌肉力量等上肢运动功能方面比传统护理更有效。2020年，Morone G等人^[8]对卒中后上肢康复机器人的临床指南进行了首次系统评价，其认为大多数指南只注重于卒中后治疗而对卒中后康复有所疏忽；采用机器人辅助康复训练能够改善卒中患者上肢运动的功能与力量，但是这种训练方式在适用性方面还有待改进。同时，上肢机器人辅助训练也存在其他优势。

金琳娜等人^[9]认为，上肢机器人辅助训练具有高强度、高重复性、趣味性、个性化等特点，其训练效果强于人工训练，并解决了人工难以达到的训练强度等问题。而目前的研究已不仅局限于单侧机器人辅助训练，双侧机器人训练在脑卒中康复训练中也已得到了广泛发展。有研究表明，采用双侧手臂进行同步训练时，未受损的大脑半球可以促进受损大脑半球的激活^[9]。然而，中国对于双侧机器人研究较少，后续应开展多中心试验以评估双侧机器人辅助训练对于脑卒中患者康复训练的有效性。

2.7 上肢机器人辅助训练在脑卒中后患者中的应用现状 自1994年MIT-MANUS首次应用于临床以来，机器人辅助治疗就进入了一个新时代，上肢康复机器人随之应运而生^[10-11]，其主要由镜像运动系统（Mirror Image Motion Enable, MIME）与自动恢复手臂集成运动系统（Automatic Recovery Arm Motility Integrated System, ARAMIS）组成^[12]。目前大多数治疗及康复工作在临床上进行，面临着治疗费用昂贵、周期较长和患者疲劳等困境。目前已投产的居家康复机器人如MARIONET, Bi-Manu-Track等成为新一代大众需求产物，其功能性、适用性及安全性可以满足脑卒中患者居家康复的需求^[13]。Li LT等人^[13]研究认为，为了让患者得到高频率

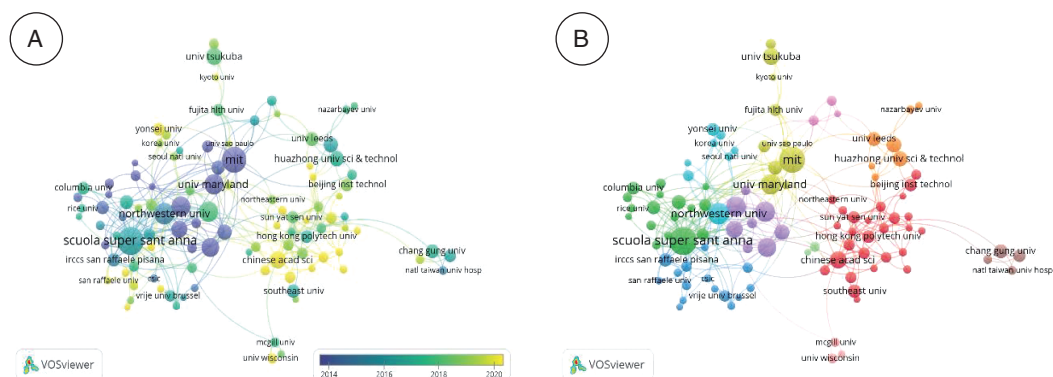


图3 发文机构分布图及时序图

Figure 3 Institution distribution map and sequential map of publications

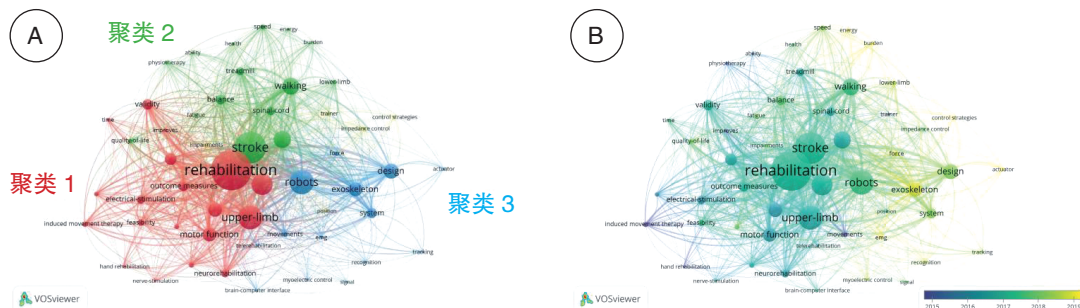


图4 关键词分布图及时序图

Figure 4 Keywords distribution map and sequential map

与高强度的治疗，家用上肢康复机器人应得到广泛使用。通过文献检索发现，上肢康复机器人按机器人构型主要分为两种：①外骨骼式康复机器人，通常用于控制患肢的每个关节；②末端执行器，仅引导患肢的最远端部分。末端执行器只在远端作用于患者，上肢康复机器人最常见的是利用全向轮从而实现上肢平面内灵活运动的桌面式机器人，例如意大利 Humanware 公司开发的 MOTORE 机器人与中国科学院研发的 Reha-Maus 机器人^[14-15]。除此之外，还存在多种进行空间范围内进行运动的康复机器人，例如可以进行主动、被动和抗阻模式训练的 DARTAGNAN 机器人^[16]。外骨骼式上肢机器人可分为刚性与柔性两种类型，由于其结构特性可分为穿戴式与非穿戴式机器人。穿戴式机器人要求结构简单，重量轻体积小，主要用于力量的增强及辅助，由于针对上肢关节康复训练的穿戴式机器人较少，因此上肢康复多采用非穿戴式外骨骼机器人。现阶段商业化的上肢康复机器人逐渐增多，且多为单侧训练机器人，例如米兰理工大学设计的 BRIDGE 机器人与国内上海电气智能康复的上肢康复训练系统 FLEXO-Arm1 等^[17]。随着科学技术的不断更新，操作模式多样化及训练趣味化的上肢康复机器人不断涌现，医务人员有了更多选择，但这也使如何帮助患者选择适宜的上肢康复机器人成为亟需解决的难题。

2.8 脑卒中给患者及社会带来的影响 通过对检索结果进行研究热点分析可以发现，第三聚类主要分布于脊髓损伤、平衡、步态、活动能力障碍、经济负担、老年、生活质量等关键词。目前，脑血管意外已成为我国第一大死亡原因^[18]，给患者家庭和社会带来沉重的医疗负担。脑卒中会造成患者的运动功能、平衡及步态功能受损，相关研究表明，上肢功能损伤占脑卒中后患者的 85%，是最常见的功能损伤之一^[19]，严重影响患者生活质量。

3 结论

3.1 我国在上肢机器人辅助训练领域的影响力有待加强 从过去近二十年脑卒中患者上肢机器人辅助训练的可视化分析可以看出，该领域逐渐受到关注；意大利、德国和美国国际之间合作较为紧密，而我国的研究较为独立，应加强我国与国际之间的交流与合作，以促进上肢机器人辅助训练研究的不断发展。与美国和德国相比，中国在该领域的研究起步较晚，可能因为机器人学科在我国发展较晚。从机构的合作方面来看，中国机构合作处于中等水平，其中中国科学院发文量排第七，合作强度排第七，国内只有一所机构进入前十，这表明我国对于脑卒

中患者上肢机器人辅助训练领域有所重视，但国内各机构之间合作有待加强，该领域的研究需要各团队、机构及国家相互合作，开拓创新，才能促进其不断发展。

3.2 脑卒中患者机器人辅助上肢训练带来的启示

3.2.1 早期康复训练是促进卒中后患者康复的有效手段

2016—2018 年上肢康复机器人领域发展迅速，该领域的发展为脑卒中患者的早期康复提供了可能。有研究表明，脑卒中后 2 周内对患者进行上肢早期康复干预可有效促进神经功能可塑性^[20]。因此，脑卒中患者应进行及时的康复训练，而康复机器人可对患者进行精确、充分、个性化及趣味性的治疗，从而缩短康复周期，增加患者的积极性。为脑卒中患者建立集治疗—康复—护理为一体的康复训练模式，是未来的发展趋势。

3.2.2 依托远程互联网信息技术开启家庭医院合作模式

目前，远程互联网信息技术已在医疗领域被广泛使用。本研究发现，有关脑卒中患者机器人辅助上肢训练的发文量呈逐年上升趋势，表明该领域相关的科学技术获得了迅速发展，而该领域的快速发展也为远程互联网技术与机器人技术在医疗领域的协同发展提供了一定的理论基础。移动医疗的应用能够节省人力，提升脑卒中患者自我管理效能，而远程互联网技术与机器人技术的结合不仅打破了时空限制，还可为脑卒中患者提供及时、有效的医疗服务。徐妍等人^[21]通过范围综述描述了脑卒中患者居家远程医疗的可行性，而且可以为患者提供多元化康复训练，给患者带来积极的康复体验，进一步提升了患者的依从性。目前，我国远程康复护理仍处于发展阶段，在操作规范、指导方式、康复方案等方面还不够完善^[21]。未来可将这一新型模式进一步应用于脑卒中患者康复护理中，开启医院家庭双互动合作模式。

3.2.3 构建统一的脑卒中患者机器人辅助上肢训练康复护理方案与评价体系

本研究表明，脑卒中患者上肢康复训练的相关研究较为集中，主要以随机对照试验研究为主，试验组大多为机器人康复训练，观察组主要为传统训练，康复训练时间为 1~8 周，每次 10~90 min，结局主要包括上肢运动功能、日常生活活动、运动表现、生活质量和不良反应等^[22]。目前，鲜有具体康复方案来指导脑卒中患者机器人辅助上肢训练，仅有少量研究对康复后的最终结局进行评价，临床上的脑卒中康复工作界定也较为模糊。因此，构建统一的脑卒中患者机器人辅助上肢康复护理方案与评价体系具有重要意义。

3.2.4 现阶段机器人辅助上肢训练相关研究不足

阶段,国内大多数医院所采用的上肢康复机器人购自国外,但其价格昂贵,治疗费用较高,给患者家庭带来较大的经济负担^[23]。SHENG B 等人^[24]的研究结果显示,尚未证据表明更复杂、更先进的机器人比简单、价格低廉的机器人有更好的临床康复效果。目前,机器人辅助康复与传统人工康复相比,成本仍然较高,而只有少数研究致力于改进康复机器人。

3.2.5 护理人员参与度有待提高 康复训练小组成员应包含护士长、医生、治疗师、责任护士,而在临床实际工作及文献中可以发现机器人辅助上肢训练一般由医生或治疗师独自完成,护理人员参与度较低,这可能与在护理人员较少、临床护理工作繁忙、护理人员缺乏相应的康复医学专业知识有关^[25]。李阳等人^[26]的研究表明,护理人员在脑卒中患者康复护理知识、态度、活动方面具有较大提升空间。护理人员作为脑卒中患者康复护理的主要指导者、参与者,其康复护理能力对患者神经受损功能的恢复起着重要作用,会直接影响患者的康复效果。因此,未来应加强护理人员考核及技能培训工作,进行规范化培训,提高与拓展护理人员康复护理知识水平,建立规范的多学科协作模式,使护理人员成为脑卒中康复小组的中坚力量。

综上所述,上肢机器人辅助训练对脑卒中患者的康复具有一定益处,但目前在我国还处于发展阶段。本研究利用 VOSviewer 软件该领域的研究热点、发展现状、存在不足及未来发展趋势进行了可视化分析,对我国今后脑卒中患者上肢机器人辅助训练的探索与研究具有一定意义。本研究文献仅以 Web of Science 为数据库,未对其他数据库进行检索,研究较为局限,可能存在偏倚,未来可扩展多个数据库使研究结果更为全面。

利益冲突声明: 本文不存在任何利益冲突。

作者贡献声明: 严小青负责设计论文框架,起草论文,论文修改;李玉静,李怡璇负责英文数据库文献检索;柴梅梅,王田负责国家、机构、关键词合并;田文艳负责指导撰写文章并最后定稿。

参考文献

- [1] GBD 2019 Stroke Collaborators. Global, regional, and national burden of stroke and its risk factors, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019 [J]. *The Lancet Neurology*, 2021, 20(10): 795–820.
- [2] Bertani R, Melegari C, de Cola M C, et al. Effects of robot-assisted upper limb rehabilitation in stroke patients: a systematic review with meta-analysis [J]. *Neurol Sci*, 2017, 38(9): 1561–1569.
- [3] YANG X W, SHI X B, XUE X L, et al. Efficacy of robot-assisted training on rehabilitation of upper limb function in patients with stroke: a systematic review and Meta-analysis [J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2023, 104(9): 1498–1513.
- [4] 王冰璐,步一,徐扬,等.从数据挖掘偏差到文献计量偏差[J].情报理论与实践,2017,40(10): 41–46.
- [5] 陈梦晓,张怡人,王毅,等.基于 VOSviewer 和 CiteSpace 分析脓毒症肝损伤的全球研究现状及趋势[J].中国医药导报,2023,20(25): 85–89,98.
- [6] Chien W T, Chong Y Y, Tse M K, et al. Robot-assisted therapy for upper-limb rehabilitation in subacute stroke patients: a systematic review and meta-analysis [J]. *Brain Behav*, 2020, 10(8): e01742.
- [7] Rodgers H, Bosomworth H, Krebs H I, et al. Robot assisted training for the upper limb after stroke (RATULS): a multicentre randomised controlled trial [J]. *Lancet*, 2019, 394(10192): 51–62.
- [8] Morone G, Palomba A, Martino Cinnera A, et al. Systematic review of guidelines to identify recommendations for upper limb robotic rehabilitation after stroke [J]. *Eur J Phys Rehabil Med*, 2021, 57(2): 238–245.
- [9] 金琳娜,邹朝君,潘红英.脑卒中患者双侧上肢训练的研究进展[J].中华护理教育,2021,18(12): 1106–1110.
- [10] Krebs H I, Hogan N, Aisen M L, et al. Robot-aided neurorehabilitation [J]. *IEEE Trans Rehabil Eng*, 1998, 6(1): 75–87.
- [11] Gassert R, Dietz V. Rehabilitation robots for the treatment of sensorimotor deficits: a neurophysiological perspective [J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2018, 15(1): 46.
- [12] Maciejasz P, Eschweiler J, Gerlach-Hahn K, et al. A survey on robotic devices for upper limb rehabilitation [J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2014. DOI: 10.1186/1743-0003-11-3.
- [13] Li L T, Fu Q, Tyson S, et al. A scoping review of design requirements for a home-based upper limb rehabilitation robot for stroke [J]. *Top Stroke Rehabil*, 2022, 29(6): 449–463.
- [14] Jakob I, Kollreider A, Germanotta M, et al. Robotic and sensor technology for upper limb rehabilitation [J]. *PM R*, 2018, 10(9 Suppl 2): S189–S197.
- [15] 王杰静.桌面式上肢康复机器人控制系统的设计与实现[D].上海:上海师范大学,2018.
- [16] 余灵,喻洪流.上肢康复机器人研究进展[J].生物医学工程学进展,2020,41(3): 134–138,143.
- [17] XU P, HUANG Y, WANG J, et al. Repetitive transcranial magnetic stimulation as an alternative therapy for stroke with spasticity: a systematic review and Meta-analysis [J]. *J Neurol*, 2021, 268(11): 4013–4022.
- [18] 朱光跃,陈思韵,霍聪聪,等.外周联合中枢双靶磁刺激促进脑卒中运动功能障碍康复专家共识[J].中国康复医学杂志,2023,38(7): 880–884.
- [19] Lieshout E, van de Port I G, Dijkhuizen R M, et al. Does upper limb strength play a prominent role in health-related quality of life in stroke patients discharged from inpatient rehabilitation? [J]. *Top Stroke Rehabil*, 2020, 27(7): 525–533.
- [20] Coleman E R, Moudgal R, Lang K, et al. Early Rehabilitation after stroke: a narrative review [J]. *Curr Atheroscler Rep*, 2017, 19(12): 59.
- [21] 徐妍,黄馨睿,徐敏.移动医疗用于脑卒中患者居家康复的范围综述[J].护理学杂志,2023,38(17): 121–125.
- [22] Borges L R, Fernandes A B, Melo L P, et al. Action observation for upper limb rehabilitation after stroke [J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2018, 10(10): Cd011887.
- [23] Hesse S, Heß A, Werner C C, et al. Effect on arm function and cost of robot-assisted group therapy in subacute patients with stroke and a moderately to severely affected arm: a randomized controlled trial [J]. *Clin Rehabil*, 2014, 28(7): 637–647.
- [24] SHENG B, ZHANG Y X, MENG W, et al. Bilateral robots for upper-limb stroke rehabilitation: State of the art and future prospects [J]. *Med Eng Phys*, 2016, 38(7): 587–606.
- [25] 陈煌,黎蔚华,罗青,等.脑卒中早期康复现状的调查与分析[J].广东医学,2018,39(2): 278–282.
- [26] 李阳,成毅.神经内科护士的脑卒中偏瘫康复护理认知、态度、活动现状及其影响因素分析[J].临床医学研究与实践,2023,8(23): 5–8.

收稿日期: 2023–12–26

编辑: 刘静凯