

基于 Web of Science 的脊髓损伤致截瘫患者 康复研究可视化分析

刘翔¹,高玮¹,王超¹,张晓艳²

(山东第一医科大学附属省立医院 1.康复医学科;2.消化内镜中心,山东 济南 250021)

摘要:目的 探讨脊髓损伤致截瘫患者康复的研究现状、国际合作情况、热点主题以及发展趋势。方法 检索 Web of Science 核心数据库收录的脊髓损伤致截瘫患者康复研究相关文献,检索时限为 2005 年 1 月 1 日至 2024 年 12 月 31 日,采用 CiteSpace、VOSviewer 和 R-bibliometrix 进行文献计量学与可视化分析,提取发文量、国家与机构合作网络、高被引文献、关键词共现与演变趋势等指标进行系统性分析。结果 共检索到 584 篇符合纳入标准的文献,美国、瑞士等国家及其机构和作者在脊髓损伤致截瘫患者康复领域发文量和被引频次均处于领先水平,国际间已经形成较为稳定的国家和地区的合作关系网络。研究热点正由病理机制的基础研究转向技术驱动的干预手段和神经康复方向,呈现出多学科融合与精准康复的发展趋势。结论 该领域正处于由传统康复模式向技术驱动与健康管理体系一体化转型的关键阶段。未来研究需进一步加强跨学科协作,促进低成本技术普及,完善心理、社区康复体系,推动建立普惠化、智能化的康复健康管理体系。

关键词:文献计量学;截瘫;脊髓损伤;康复;可视化分析

中图分类号:R496

文献标志码:A

Visual analysis of rehabilitation research on patients with paraplegia caused by spinal cord injury based on Web of Science

LIU Xiang¹, GAO Wei¹, WANG Chao¹, ZHANG Xiaoyan²

(1. Department of Rehabilitation; 2. Department of Gastrointestinal Endoscopy Center,

Shandong Provincial Hospital Affiliated to Shandong First Medical University, Jinan 250021, Shandong, China)

Abstract: Objective To provide a comprehensive scientometric analysis of the research landscape, international collaborations, thematic evolution, and emerging trends in the rehabilitation of patients with paraplegia resulting from spinal cord injury. **Methods** Relevant literatures on the rehabilitation of patients with paraplegia resulting from spinal cord injury, published between January 1, 2005, and December 31, 2024, were retrieved from the Web of Science Core Collection. Bibliometric and visualization analyses were conducted using CiteSpace, VOSviewer, and R-bibliometrix. Key indicators such as publication volume, national and institutional collaboration networks, highly cited articles, keyword co-occurrence, and thematic evolution trends were systematically analyzed. **Results** A total of 584 articles met the inclusion criteria. Research output and citation frequency were predominantly concentrated in the United States, Switzerland, and other Western countries, where relatively stable international collaboration networks had been established. The focus of research had undergone a progressive shift from fundamental investigations into pathological mechanisms to technology-driven interventions and neurorehabilitation strategies, which reflected a trend toward multidisciplinary integration and precision rehabilitation. **Conclusion** The rehabilitation of SCI-induced paraplegia is undergoing a paradigm shift from traditional approaches towards integrated models driven by technological innovation and holistic health management. Future directions should prioritize interdisciplinary collaboration, the dissemination of

low-cost technological solutions, the strengthening of psychological and community-based rehabilitation systems, and the development of inclusive, intelligent health management frameworks to ensure broader accessibility and sustainability.

Key words: Bibliometric; Paraplegia; Spinal cord injury; Rehabilitation; Visualization analysis

脊髓损伤(spinal cord injury, SCI)是一种致残率较高的疾病,通常导致损伤平面以下的运动、感觉和自主功能障碍^[1-2]。据统计,全球SCI患者总数已逾2 060万,且年新增病例约90万例^[3]。截瘫是SCI典型的功能障碍类型,截瘫患者因下肢运动功能完全或部分丧失而导致生活自理能力显著受限,面临尿路感染、压力性损伤、深静脉血栓等多种并发症风险^[4]。康复作为截瘫患者管理的核心环节,贯穿于急性期、恢复期及慢性期全过程,目的是通过综合干预改善患者功能、提高生活质量,并预防和处理并发症^[5]。物理治疗的早期介入可改善患者步态功能,而认知行为疗法则能有效缓解创伤后应激障碍^[6]。因此,早期规范的康复治疗有效降低致残率,恢复肢体功能,减轻患者、家庭和社会的负担^[7]。

文献计量学通过数学与统计学方法定量揭示研究领域的动态特征,为系统解析学科发展提供了有效的分析工具^[8-9]。与传统综述相比,其通过合作网络分析、关键词共现聚类及突现词检测,客观识别领域内的核心贡献主体、主题演变趋势及潜在研究前沿^[10-12]。CiteSpace、VOSviewer及R-bibliometrix是文献计量学分析的常用工具,能够定量分析目标领域的研究情况^[13]。基于此,本研究通过对Web

of Science引文数据库中SCI致截瘫患者康复领域相关文献的检索和分析,运用文献计量学方法,系统梳理该领域的研究现状、国际合作网络、热点主题和发展趋势,以期对未来干预性研究的开展提供科学依据和参考。

1 资料与方法

1.1 检索策略

本研究选用Web of Science核心数据库作为SCI致截瘫患者康复研究的文献计量数据库,以确保数据的权威性和全面性。在检索过程中,通过主题字段(TS)输入以下英文检索策略:TS=("spinal cord injury" AND "rehabilitation" AND (paraplegia OR paraplegic))。为涵盖该领域近二十年的研究进展,文献检索时限设定为2005年1月1日至2024年12月31日,文献类型限定为研究论文(Article),不限语种,以全面覆盖国际学术成果。

1.2 文献纳入及排除标准

为保证纳入文献与研究主题的高度相关性,确保分析样本的科学性和完整性,本研究制定了明确的纳入与排除标准。筛选流程,见图1。

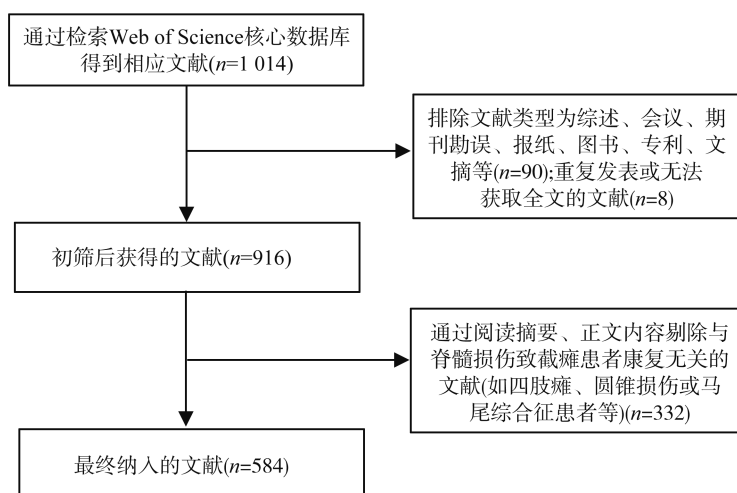


图1 文献筛选流程图

Figure 1 Literature screening flowchart

纳入标准:①2024年12月31日前发表的文献;
②文献内容聚焦于SCI致截瘫患者的康复研究。

排除标准:①与SCI致截瘫患者康复无关的

文献;②文献类型为综述、会议、期刊勘误、报纸、图书、专利、文摘等;③重复发表或无法获取全文的文献。

1.3 统计学处理

数据处理始于对 Web of Science 核心数据库检索结果的清洗与整理,以去除不符合纳入标准的文献。随后,利用 CiteSpace、VOSviewer 和 R-bibliometrix 软件对筛选后的文献进行可视化分析,以揭示研究领域的结构特征和发展脉络。最终,从整理后的数据库中提取多项文献计量指标,包括发文量、国家分布、国家合作关系、高被引文章、研究主题分析以及研究趋势分析,为后续探讨 SCI 致截瘫患者康复研究提供数据支持和理论依据。

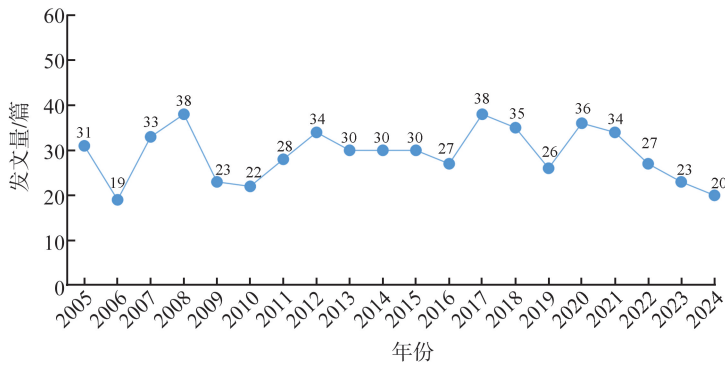


图2 Web of Science 核心数据库中 2005—2024 年全球 SCI 致截瘫患者康复领域发文量

Figure 2 Global publication output of rehabilitation research on patients with paraplegia caused by spinal cord injury from 2005 to 2024 based on the Web of Science Core Collection

具体而言:①2005—2011 年为初期波动阶段。2005 年发文数量为 31 篇,2006 年迅速降至 19 篇,为研究期间的最低值;2007 年回升至 33 篇,2008 年进一步增至 38 篇,达到此阶段峰值;2009—2011 年期间发文数量有所波动,保持在 22—28 篇之间;②2012—2021 年为中期相对稳定阶段。2012 年发文量达到 34 篇,此后连续三年(2013—2015 年)稳定在 30 篇,2016 年略降至 27 篇;2017 年发文量再次回升至 38 篇高点;2018—2021 年期间发文量维持在 26—36 篇区间,整体研究热度较为稳定;③2022—2024 年则呈现后期下降趋势,2022 年发文

2 结果

2.1 年度发文量趋势分析

根据文献纳入标准,通过阅读摘要和正文,共筛选出符合纳入标准的文献 584 篇。2005—2024 年全球 SCI 致截瘫患者康复研究领域的发文量呈现“初期波动起伏—中期稳定有升—后期相对回落”的三阶段演变趋势,见图 2。

量降至 27 篇,2023 年进一步降低至 23 篇,2024 年降至 20 篇,为近十年来的最低水平。

2.2 国家科研产出及国际合作分析

全球共有 43 个国家在 SCI 致截瘫患者康复领域发表相关文献,在国际合作方面,通过统计各国的多国合作论文(multiple country publications, MCP)即由两个或多个国家作者共同发表的论文数量发现,美国和瑞士较突出,其 MCP 数量分别为 21 篇和 17 篇。日本和土耳其虽发文量排名前列,但 MCP 数量均为 0。发文量排名前 10 位国家的发表文章数量、MCP、总被引频次和平均被引频次,见表 1。

表1 2005—2024 年全球 SCI 致截瘫患者康复领域发文量排名前 10 位国家的发文量、MCP、总被引频次和平均被引频次
Table 1 From 2005 to 2024, the number of publications, MCP, total citation frequency, and average citation frequency of the top 10 countries in the field of rehabilitation research on patients with paraplegia caused by spinal cord injury were ranked globally

排名	国家	发文量	MCP	总被引频次	平均被引频次
1	美国	161	21	6 425	39.91
2	瑞士	49	17	1 239	25.29
3	加拿大	39	5	1 345	34.49
4	巴西	32	5	314	9.81
5	中国	31	6	456	14.71
6	日本	24	0	411	17.12
7	德国	22	7	403	18.32
8	土耳其	22	0	145	6.59
9	意大利	19	7	345	18.16
10	西班牙	19	2	479	25.21

2.3 研究机构学术产出分布概览

统计显示,发文量排名前十的研究机构,自排名

第五的凯斯西储大学(58篇)之后,各研究机构的文献产出呈明显减少趋势。见图3。

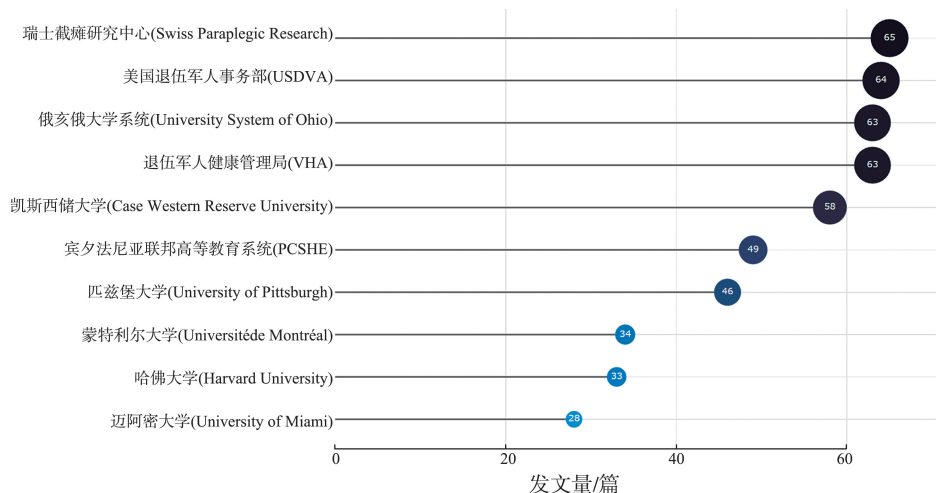


图3 2005—2024年SCI致截瘫患者康复领域发文量前10位机构的论文量分布情况

Figure 3 Distribution of publications by the top 10 institutions in the field of rehabilitation research on patients with paraplegia caused by spinal cord injury from 2005 to 2024

2.4 高被引文献分析

数据分析结果显示, Esquenazi 等^[14] 通过对 ReWalk 外骨骼系统在 SCI 导致截瘫患者中的应用研究,验证了该系统的可行性与安全性,因而获得广泛关注。Zeilig 等^[15] 进一步验证了 ReWalk 外骨骼系统的安全性和耐受性,为后续在临床中推广应用奠定了基础。而排名第三的是 2018 年发表于 Nature Medicine 的文献,尽管发表时间较近,但表现出极高的学术影响力,该研究聚焦于腰骶脊髓网络的神经调节,实现了完全性截瘫患者自主步行能力

的部分恢复,突出展示了神经调控技术的突破性潜力^[16]。除此之外,其他高被引文献涵盖多个研究方向,包括神经调控干预、脑机接口辅助康复、自体 Schwann 细胞移植、步行功能评估、以及心理韧性等(见表 2)。这些文献呈现出明显的双重特征:①早期发表的研究因累积效应,总被引频次较高;②近年发表的部分文献虽发表时间较短,但凭借其技术突破性或研究相关性,展现出更高的年均被引次数和标准化总被引频次。

表 2 2005—2024 年 SCI 致截瘫患者康复领域被引频次排名前 10 位的文献

Table 2 Top 10 most cited papers in the field of rehabilitation research on patients with paraplegia caused by spinal cord injury from 2005 to 2024

排名	文献题目、发表年份	被引频次	年均被引次数	标准化总被引次数	期刊
1	The ReWalk Powered Exoskeleton to Restore Ambulatory Function to Individuals with Thoracic-Level Motor-Complete Spinal Cord Injury ^[14] , 2012	655	46.79	11.67	<i>American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation</i>
2	Safety and tolerance of the ReWalk TM exoskeleton suit for ambulation by people with complete spinal cord injury: A pilot study ^[15] , 2012	378	27.00	6.73	<i>The Journal of Spinal Cord Medicine</i>
3	Neuromodulation of lumbosacral spinal networks enables independent stepping after complete paraplegia ^[16] , 2018	365	45.63	16.03	<i>Nature Medicine</i>
4	Effectiveness of automated locomotor training in patients with chronic incomplete spinal cord injury: A multicenter trial ^[17] , 2005	343	16.33	5.84	<i>Archives of Physical Medicine and Rehabilitation</i>
5	Robotic-assisted, body-weight supported treadmill training in individuals following motor incomplete spinal cord injury ^[18] , 2005	200	9.52	3.40	<i>Physical Therapy</i>
6	Safety of Autologous Human Schwann Cell Transplantation in Subacute Thoracic Spinal Cord Injury ^[19] , 2017	189	21.00	8.29	<i>Journal of Neurotrauma</i>

续表

排名	文献题目、发表年份	被引 频次	年均 被引次数	标准化总 被引次数	期刊
7	Olfactory Mucosal Autografts and Rehabilitation for Chronic Traumatic Spinal Cord Injury ^[20] , 2010	182	11.38	4.83	<i>Neurorehabilitation and Neural Repair</i>
8	Brain-computer interface technology as a tool to augment plasticity and outcomes for neurological rehabilitation ^[21] , 2007	168	8.84	3.85	<i>The Journal of Physiology</i>
9	Changes in supraspinal activation patterns following robotic locomotor therapy in motor-incomplete spinal cord injury ^[22] , 2005	167	7.95	2.84	<i>Neurorehabilitation and Neural Repair</i>
10	The buffering effect of resilience on depression among individuals with spinal cord injury: a structural equation model ^[23] , 2011	160	10.67	6.28	<i>Rehabilitation Psychology</i>

2.5 作者可视化分析

在文献计量学研究中,作者合作网络与突现分析是揭示研究领域学术交流结构和核心贡献者的重要手段。作者合作网络通常以节点和连线构成,节点代表作者,连线代表作者间的合作关系,通过网络可视化直观展示研究人员之间的合作模式。此外,突现分析则通过检测作者或关键词在特定时期出现频次的显著增长,反映研究热点、关键作者及前沿方向的动态演变。本研究基于 Web of Science 核心数据库,利用 VOSviewer 构建作者合作网络可视化图谱,并通过 CiteSpace 软件进行作者突现情况的动态追踪与分析,以系统揭示 SCI 致截瘫患者康复研究领域内作者合作关系的结构特征及其演化趋势。

基于 VOSviewer 的合作网络分析方法,以发文量>3 篇为筛选标准,最终 92 位作者符合这一标准。合作网络可视化结果,见图 4。节点代表作者,节点大小与发文量成正比,节点之间的连线反映作者间的合作关系,连线越粗表示合作频次越高。通过聚类算法识别出 23 个作者合作聚类,聚类以颜色区分,用于表示不同的作者合作群体结构。多数聚类规模较小,作者合作关系相对独立。部分聚类内部连线密集,结构清晰,呈现稳定合作模式。在聚类中以 Sankai Yoshiyuki 为核心的群体,节点数量较多,连线粗密,合作网络紧凑;Curt Armin、Scheel-Sailer Anke 与 Post Marcel W. M. 所在的聚类,三者之间形成核心结构,连接显著;Gagnon Dany 所在聚类结构集中,作者间关联紧密;Triolo Ronald J.、Audu Musa I. 与 Foglyano Kevin M. 所在聚类亦呈现稳定的合作关系。整体网络呈现“多簇共存、局部紧密、整体松

散”的结构特征,大部分作者集中于若干核心聚类,少数作者之间连接较弱,跨群体合作频次相对较低。基于 CiteSpace 软件进行的作者突现分析后,结果见图 5。Triolo Ronald J.、Boninger Michael L.、An Kai-Nan 等作者在不同时间段内出现突现,突现强度分别为 2.06、1.73 和 1.58,时间集中在 2008—2009 年、2011—2015 年和 2008—2010 年。自 2021 年起,Aach、Mirko 等新兴作者出现突现,显示领域正在经历由传统研究核心向新兴学术力量过渡的动态演变过程。

2.6 关键词突现分析

本研究基于 CiteSpace 软件对 SCI 致截瘫患者康复领域文献的关键词进行了突现词检测 (Burst Detection),以识别不同阶段内研究热点的演变趋势。设定 γ 值为 0.7,突现时间的最小单位为 2 年,识别出 2005—2024 年间突现强度排名前 15 位的关键词,见图 6。从时间分布看,关键词“paraplegic patients”“men”“body weight support”“electrical stimulation”“paraplegia”“recovery”“spinal cord injuries”集中突现在 2005—2012 年之间;关键词“walking”“classification”“prevalence”“pain”主要突现在 2016—2022 年之间;“validity”“reliability”“health”“impact”集中在 2019 年以后突现,延续至 2024 年。从突现强度来看,突现强度最高的关键词为“paraplegic patients”(5.42),其次为“health”(5.34)、“walking”(4.91)、“spinal cord injuries”(4.88)和“classification”(4.78)。突现时间最长的关键词包括“validity”(2019—2024)、“reliability”(2019—2024)和“health”(2020—2024),显示其在研究中持续受到关注。

2.7 关键词共现分析

使用 R-bibliometrix 对关键词进行频次分析,其中排名前 3 的关键词分别为脊髓损伤 (spinal cord injury)、康复 (rehabilitation) 和截瘫 (paraplegia), 出现频次依次为 333 次、255 次和 112 次。其构成领域内的核心研究方向,反映出该领域主要聚焦于脊髓损伤管理与康复干预体系建设。

而通过 VOSviewer 在 Web of Science 核心数据库中提取作者关键词信息,进行关键词共现分析与可视化处理,关键词聚类分析见图 7。图中识别出 4 个主要聚类,每个聚类由不同颜色区分,节点颜色对

应不同研究主题,节点大小与关键词出现频次正相关。聚类内容显示,SCI 致截瘫患者康复研究主要围绕以下 4 个聚类,关键词包括“spinal cord injury”“rehabilitation”“paraplegia”等;二是步态分析与运动功能重建,涉及“gait”“walking”“physical therapy”等相关术语;三是辅助技术与神经工程应用,涵盖“exoskeleton”“robotics”“neuromodulation”等关键词;四是生物力学特征与疼痛管理,主要围绕“biomechanics”“shoulder pain”“wheelchair”等内容展开。研究主题之间相互补充,彼此关联,形成了多维度综合康复研究框架。

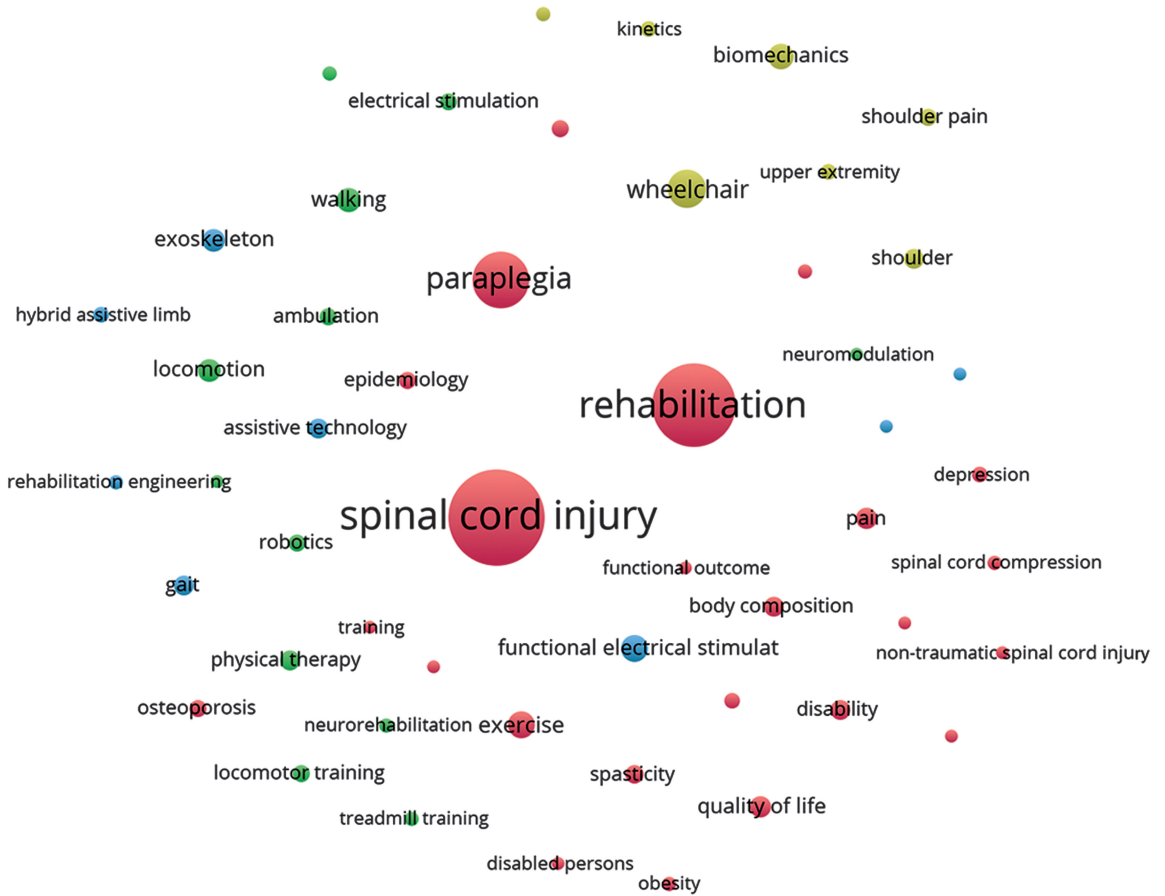


图 7 2005—2024 年 SCI 致截瘫患者康复领域关键词聚类分析图

Figure 7 Cluster analysis of keywords in the field of rehabilitation research on patients with paraplegia caused by spinal cord injury from 2005 to 2024

主题演变趋势分析,见图 8。以主题词出现频率 ≥ 5 次为标准,通过 VOSviewer 共识别出 51 个主题。通过关键词的平均发表年份呈现的颜色分布,可追踪不同研究主题在时间轴上的演化路径。结果显示,2012 年前后研究主题多聚焦“quality of life”“depression”“activities of daily living”“shoulder pain”与“disability”等生活质量、心理健康与基础照护;自 2014 年起,“biomechanics”“electromyography”“gait training”“exercise”“spasticity”“walking”

及“physical therapy”等功能量化评估相关主题显著增多;至 2015—2016 年,“exoskeleton”“assistive technology”“robotics”“treadmill training”“orthosis”“locomotion”“neurorehabilitation”等技术驱动型关键词频次迅速上升,标志着康复研究正由传统经验性干预转向精准、智能化的技术驱动模式。这一趋势不仅凸显了技术创新在康复实践中的核心地位,还预示着跨学科合作的进一步加强。

研产出分析表明,该领域研究呈现出明显的“马太效应”,以瑞士瘫痪研究中心的头部研究机构占据了学术产出的半数以上,这种高度集中的科研资源和产出结构虽然推动了外骨骼和神经调控等前沿技术的快速发展,但也可能导致研究视野的单一化和区域间康复研究发展不均衡。未来应鼓励更广泛的机构合作与资源共享,以推动更全面、多样化的康复技术创新及其在不同地区的普及应用。

3.3 技术驱动趋势与热点演化

关键词共现与演化趋势显示,近年来“exoskeleton”“neurorehabilitation”等主题词频率显著上升,标志着该领域正从传统经验性干预逐步向技术驱动、精准智能化方向演进。在这一趋势下,外骨骼技术展现出重要的临床价值,特别是自2012年ReWalk获得FDA批准以来,其在慢性胸段截瘫患者中展现出改善步行能力、提升生活质量的临床潜力^[14]。然而,外骨骼设备普遍存在以下局限:高昂的设备成本阻碍了规模化部署^[30],适应证主要局限于胸段完全性截瘫,对颈段损伤及不完全性损伤患者疗效有限;现有临床证据多集中于慢性期,急性期应用的安全性及有效性亟待验证;此外,在穿戴舒适度、能量效率及环境适应性等方面的技术瓶颈,也极大地限制了其从实验室向社区应用场景的转化。因此,未来外骨骼研究需从降低成本、实现轻量化设计、扩大适应证范围及提升环境适应性等方向取得突破,推动其真正实现广泛应用。相比之下,神经调控技术在拓展康复边界方面展现出巨大潜力。Angeli等^[31]研究表明,通过硬膜外电刺激联合康复训练,可恢复慢性完全性SCI患者部分自主运动功能。Gill等^[16]的研究进一步显示,闭环电刺激可促使完全性截瘫患者部分恢复步行能力。这些发现打破了“完全性SCI不可逆”的传统认知,突出脊髓固有神经环路的可塑性。然而,持续电刺激可能诱发异常神经重塑,增加神经痛、肌张力障碍甚至自主神经功能紊乱的风险。目前该类技术的神经机制仍不清晰,理论研究与临床应用之间存在较大差距。为确保其安全性与有效性,未来应依托多中心、长期随访的临床研究,系统评估神经调控干预的远期效果与潜在风险,并建立科学规范的患者筛选与干预流程,推动其规范化、精准化应用。

与此同时,AI与机器人技术的兴起为截瘫患者

康复带来新的技术机遇,但也带来了数据隐私与伦理风险^[32]。康复机器人在训练过程中需实时采集患者的肌电、步态、脑电等生理数据,若缺乏有效的数据保护与隐私管理,可能导致患者隐私泄露、数据滥用等问题,影响患者权益与技术应用可持续性^[33]。因此,在康复技术开发过程中,应同步加强数据安全保护机制,完善知情同意制度,制定清晰的数据使用规范,确保患者数据安全与伦理合规。但在技术创新的同时,应关注全球康复资源分配的不平衡问题。由于高端技术设备成本过高限制了外骨骼、神经调控等技术在发展中国家和基层社区的普及,虽然巴西等国家通过开发基于聚酰胺材料的3D打印矫形器,探索低成本康复辅具解决方案^[34-35]。但相关研究在国际文献中的被引频次明显低于外骨骼领域,反映出当前资源配置偏向高端精密技术,对适宜技术发展的重视不足。资源集中趋势进一步加剧了全球康复健康资源的分配不均,导致地区间康复机会差距扩大。

关键词实现分析表明,该领域研究热点呈现出明显的阶段性迁移特征。早期阶段研究热点主要聚焦于基础损伤机制和初步功能恢复技术的开发与验证,这与该领域初期研究以明确病理生理机制和初步探索治疗方法为目标密切相关,为后续的深入研究与技术发展奠定了基础。随后进入中期阶段,研究重点逐步转移至临床功能恢复效果的细化评估和并发症的综合管理,研究范式从单一技术效果评价逐步向多维度康复指标综合评估演变,标志着领域研究逐步向精准化、个性化的临床康复实践转型。近期阶段的研究热点则进一步扩展至整体健康状态的长期效益评估,尤其强调康复干预措施的有效性、可靠性和患者整体健康影响的综合评价标准。这一趋势反映出当前康复医学领域逐渐摆脱以症状或单项功能恢复为中心的狭义康复模式,更加强调以患者整体健康与长期康复效果为核心的综合康复管理模式。这种研究热点的演变,与现代康复医学倡导的“以患者为中心”的理念高度契合,也提示未来研究不仅需关注新技术研发,更需重视多维度的评估体系建设,以确保康复干预的长期效果及有效性^[36]。

3.4 并发症防控与康复服务模式转型

随着对截瘫并发症认识的不断深入,其防控策略正逐步由以治疗为主的被动响应模式,转向以预防为核心、依托实时动态监测的综合管理体

系。由于神经功能障碍及长期卧床等因素,截瘫患者易出现多种严重并发症,包括压力性损伤、痉挛、泌尿系统感染以及深静脉血栓等^[37]。其中,压力性损伤是临床上较为常见且负担较重的一类并发症,研究显示其发生率可达25%~66%^[38]。痉挛的发生同样普遍,约65%的患者在出院时已出现不同程度的肌肉痉挛,其中超过三分之一需要接受药物治疗,尤其在颈胸段不完全性损伤人群中表现更为显著^[39]。泌尿系统感染亦为临床中高发且需长期关注的并发症,其根本原因在于SCI后形成的神经源性膀胱,表现为排空功能障碍与膀胱高压状态;若缺乏系统性的膀胱功能评估与管理,极易诱发感染并累及上尿路^[40]。深静脉血栓多见于SCI急性期,初发病率约为10.9%。若未及时采取有效预防措施,累积发生风险可升高至50%以上,尤其在高龄、完全性损伤及合并肥胖等高危人群中更为突出^[41]。随着智能可穿戴设备与物联网技术的融合,压力性损伤和痉挛等并发症的动态监测与精准干预成为可能^[42]。与此同时,干预手段也呈现出跨学科融合趋势,如功能性电刺激技术不仅可通过抑制异常肌张力缓解痉挛,还可改善局部微循环,降低压力性损伤发生率^[43-44]。康复服务模式也逐步由以医院为中心向社区及居家延伸,远程康复系统通过实时数据反馈机制优化居家训练方案,有助于降低再住院率^[45]。在发展中国家,3D打印定制辅具的推广和基层康复工作者的培训,为缓解康复资源不足提供了可行路径^[35]。然而,社区康复的推广仍面临挑战,突出表现为政策支持力度不足与区域间资源分配严重失衡。因此,未来应将康复服务纳入全民健康覆盖框架,着力构建无缝衔接的“临床—家庭—社区”一体化康复支持体系^[46]。

本研究系统揭示了SCI致截瘫患者康复领域2005—2024年的研究主题演变、热点变迁与国际合作格局变化,深化了对领域结构与发展脉络的理解。通过引入国际合作模式、技术创新进展、伦理挑战及资源分配格局的综合分析,为后续研究提供了系统参考。但本研究亦存在一定局限性,①仅纳入Web of Science数据库文献,可能遗漏其他数据库来源文献;②由于本文主题涉及范围较广泛,检索策略聚焦于常用关键词,可能忽视部分新兴发展动态;③2024年数据受数据库收录延迟影响,尚不能完全反映当前研究水平,未来需动态

更新以完善分析结论。

参考文献:

- [1] Rupp R. Spinal cord lesions[M]. Amsterdam: Elsevier, 2020: 51-65.
- [2] Flack JA, Sharma KD, Xie JY. Delving into the recent advancements of spinal cord injury treatment: a review of recent progress[J]. Neural Regen Res, 2022, 17(2): 283-291.
- [3] Ding WZ, Hu SA, Wang PJ, et al. Spinal cord injury: the global incidence, prevalence, and disability from the global burden of disease study 2019[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2022, 47(21): 1532-1540.
- [4] Faleiros F, Marcossi M, Ribeiro O, et al. Epidemiological profile of spinal cord injury in Brazil[J]. J Spinal Cord Med, 2023, 46(1): 75-82.
- [5] Fehlings MG, Tetreault LA, Wilson JR, et al. A clinical practice guideline for the management of acute spinal cord injury: introduction, rationale, and scope[J]. Global Spine J, 2017, 7(3 Suppl): 84-94.
- [6] Harvey LA. Physiotherapy rehabilitation for people with spinal cord injuries[J]. J Physiother, 2016, 62(1): 4-11.
- [7] Scivoletto G, Miscusi M, Forcato S, et al. The rehabilitation of spinal cord injury patients in Europe[J]. Acta Neurochir Suppl, 2017, 124: 203-210. doi: 10.1007/978-3-319-39546-3_31
- [8] Arruda H, Silva ER, Lessa M, et al. VOSviewer and bibliometrix[J]. Jmla, 2022, 110(3): 392-395.
- [9] van Eck NJ, Waltman L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping[J]. Scientometrics, 2010, 84(2): 523-538.
- [10] Zhou XB, Zhou M, Huang DS, et al. A probabilistic model for co-occurrence analysis in bibliometrics[J]. J Biomed Inform, 2022, 128: 104047. doi: 10.1016/j.jbi.2022.104047
- [11] Xu S, Fu Y, Xu D, et al. Mapping research trends of medications for multidrug-resistant pulmonary tuberculosis based on the co-occurrence of specific semantic types in the MeSH tree: a bibliometric and visualization-based analysis of PubMed literature (1966-2020)[J]. Drug Des Devel Ther, 2023, 17: 2035-2049. doi: 10.2147/DDDT.S409604
- [12] 杨兆鑫, 徐晓莉. 基于CiteSpace的医院韧性研究可视化分析[J]. 山东大学学报(医学版), 2025, 63(2): 111-117.
YANG Zhaoxin, XU Xiaoli. Visual analysis of hospital

- resilience research based on CiteSpace [J]. *Journal of Shandong University (Health Sciences)*, 2025, 63(2): 111-117.
- [13] Ye L, Liang R, Liu XL, et al. Frailty and sarcopenia: a bibliometric analysis of their association and potential targets for intervention [J]. *Ageing Res Rev*, 2023, 92: 102111. doi: 10.1016/j.arr.2023.102111
- [14] Esquenazi A, Talaty M, Packel A, et al. The ReWalk powered exoskeleton to restore ambulatory function to individuals with thoracic-level motor-complete spinal cord injury [J]. *Am J Phys Med Rehabil*, 2012, 91(11): 911-921.
- [15] Zeilig G, Weingarden H, Zwecker M, et al. Safety and tolerance of the ReWalk™ exoskeleton suit for ambulation by people with complete spinal cord injury: a pilot study [J]. *J Spinal Cord Med*, 2012, 35(2): 96-101.
- [16] Gill ML, Grahn PJ, Calvert JS, et al. Neuromodulation of lumbosacral spinal networks enables independent stepping after complete paraplegia [J]. *Nat Med*, 2018, 24(11): 1677-1682.
- [17] Wirz M, Zemon DH, Rupp R, et al. Effectiveness of automated locomotor training in patients with chronic incomplete spinal cord injury: a multicenter trial [J]. *Arch Phys Med Rehabil*, 2005, 86(4): 672-680.
- [18] Hornby TG, Zemon DH, Campbell D. Robotic-assisted, body-weight-supported treadmill training in individuals following motor incomplete spinal cord injury [J]. *Phys Ther*, 2005, 85(1): 52-66.
- [19] Anderson KD, Guest JD, Dietrich WD, et al. Safety of autologous human schwann cell transplantation in subacute thoracic spinal cord injury [J]. *J Neurotrauma*, 2017, 34(21): 2950-2963.
- [20] Lima C, Escada P, Pratas-Vital J, et al. Olfactory mucosal autografts and rehabilitation for chronic traumatic spinal cord injury [J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2010, 24(1): 10-22.
- [21] Dobkin BH. Brain-computer interface technology as a tool to augment plasticity and outcomes for neurological rehabilitation [J]. *J Physiol*, 2007, 579(Pt 3): 637-642.
- [22] Winchester P, McColl R, Querry R, et al. Changes in supraspinal activation patterns following robotic locomotor therapy in motor-incomplete spinal cord injury [J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2005, 19(4): 313-324.
- [23] Catalano D, Chan F, Wilson L, et al. The buffering effect of resilience on depression among individuals with spinal cord injury: a structural equation model [J]. *Rehabil Psychol*, 2011, 56(3): 200-211.
- [24] Forte G, Leemhuis E, Favieri F, et al. Exoskeletons for mobility after spinal cord injury: a personalized embodied approach [J]. *J Pers Med*, 2022, 12(3): 380. doi: 10.3390/jpm12030380
- [25] Shi JY, Yue SJ, Chen HS, et al. Global output of clinical application research on artificial intelligence in the past decade: a scientometric study and science mapping [J]. *Syst Rev*, 2025, 14(1): 62. doi: 10.1186/s13643-025-02779-2
- [26] Chen SJ, Wang ZB, Li YQ, et al. Safety and feasibility of a novel exoskeleton for locomotor rehabilitation of subjects with spinal cord injury: a prospective, multi-center, and cross-over clinical trial [J]. *Front Neurobot*, 2022, 16: 848443. doi: 10.3389/fnbot.2022.848443
- [27] Tuttle KR. Impact of the COVID-19 pandemic on clinical research [J]. *Nat Rev Nephrol*, 2020, 16(10): 562-564.
- [28] Asselin P, Knezevic S, Kornfeld S, et al. Heart rate and oxygen demand of powered exoskeleton-assisted walking in persons with paraplegia [J]. *J Rehabil Res Dev*, 2015, 52(2): 147-158.
- [29] Namikawa Y, Kawamoto H, Sankai Y. Gait evaluation with bioelectrical signal patterns during cybernic treatment [C]//2021 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC). November 1-5, 2021, Mexico. IEEE, 2021: 6728-6733.
- [30] Louie DR, Ben Mortenson W, Durocher M, et al. Efficacy of an exoskeleton-based physical therapy program for non-ambulatory patients during subacute stroke rehabilitation: a randomized controlled trial [J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2021, 18(1): 149. doi: 10.1186/s12984-021-00942-z
- [31] Angeli CA, Edgerton VR, Gerasimenko YP, et al. Altering spinal cord excitability enables voluntary movements after chronic complete paralysis in humans [J]. *Brain*, 2014, 137(Pt 5): 1394-1409.
- [32] Naik N, Hameed BMZ, Shetty DK, et al. Legal and ethical consideration in artificial intelligence in health-care: who takes responsibility [J]. *Front Surg*, 2022, 9: 862322. doi: 10.3389/fsurg.2022.862322
- [33] Lu L, Zhang JY, Xie Y, et al. Wearable health devices in health care: narrative systematic review [J]. *JMIR Mhealth Uhealth*, 2020, 8(11): e18907. doi: 10.2196/18907
- [34] Ejnisman L, Helito CP, Camargo AFF, et al. Three-dimensional printing in orthopedics: where we stand and

- where we are heading[J]. *Acta Ortop Bras*, 2021, 29(4): 223-227.
- [35] Abbady HEMA, Klinkenberg ETM, de Moel L, et al. 3D-printed prostheses in developing countries: a systematic review[J]. *Prosthet Orthot Int*, 2022, 46(1): 19-30.
- [36] Su XP, Liu Q, Wang JW, et al. Patient activation during the first 6 months after the start of spinal cord injury rehabilitation: a cohort study[J]. *Eur J Phys Rehabil Med*, 2025, 61(2): 250-262.
- [37] Hagen EM. Acute complications of spinal cord injuries[J]. *World J Orthop*, 2015, 6(1): 17-23.
- [38] Kruger EA, Pires M, Ngann Y, et al. Comprehensive management of pressure ulcers in spinal cord injury: current concepts and future trends[J]. *J Spinal Cord Med*, 2013, 36(6): 572-585.
- [39] Billington ZJ, Henke AM, Gater DRJ. Spasticity management after spinal cord injury: the here and now[J]. *J Pers Med*. 2022, 12(5): 808. doi: 10.3390/jpm12050808
- [40] Aguirre-Guemez AV, Groah SL. Managing recurrent urinary tract infections after spinal cord injury: practical approaches and emerging concepts[J]. *Phys Med Rehabil Clin N Am*, 2025, 36(1): 73-98.
- [41] Shang ZZ, Wanyan PP, Zhang BL, et al. Incidence and risk factors of deep vein thrombosis in patients with spinal cord injury: a systematic review with meta-analysis[J]. *Front Cardiovasc Med*, 2023, 10: 1153432. doi: 10.3389/fcvm.2023.1153432
- [42] Ma CC, Li WF, Gravina R, et al. Posture detection based on smart cushion for wheelchair users[J]. *Sensors (Basel)*, 2017, 17(4): 719. doi: 10.3390/s17040719
- [43] Alashram AR, Annino G, Mercuri NB. Changes in spasticity following functional electrical stimulation cycling in patients with spinal cord injury: a systematic review[J]. *J Spinal Cord Med*, 2022, 45(1): 10-23.
- [44] Luo SY, Xu HN, Zuo Y, et al. A review of functional electrical stimulation treatment in spinal cord injury[J]. *Neuromolecular Med*, 2020, 22(4): 447-463.
- [45] Jhaveri MM, Benjamin-Garner R, Rianon N, et al. Telemedicine-guided education on secondary stroke and fall prevention following inpatient rehabilitation for Texas patients with stroke and their caregivers: a feasibility pilot study[J]. *BMJ Open*, 2017, 7(9): e017340. doi: 10.1136/bmjopen-2017-017340
- [46] Kruk ME, Gage AD, Arsenault C, et al. High-quality health systems in the Sustainable Development Goals era: time for a revolution[J]. *Lancet Glob Health*, 2018, 6(11): 1196-1252.

(编辑:李伟)