

• AI+慢性病康复管理专题 • doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2024.24.005

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20241204.1524.003\(2024-12-04\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20241204.1524.003(2024-12-04))

# 基于 CiteSpace 的人工智能在脑卒中领域应用 进展的可视化分析

赵思思,刘勇<sup>△</sup>

(陆军军医大学第二附属医院疼痛康复科,重庆 400037)

**[摘要]** **目的** 通过文献计量学的方法了解人工智能在脑卒中领域中的应用研究进展。**方法** 以中国知网(CNKI)与 Web of Science 核心数据库中 2004 年 1 月 1 日至 2024 年 7 月 30 日的相关文献为研究对象,运用 CiteSpace 软件进行计量分析。**结果** 文献数据分析显示,该研究方向的发文量正逐年增加,中文文献自 2020 年起增长明显,而英文文献则自 2018 年就进入高速增长期。中国与美国在该领域发文量最多,图宾根大学与麻省理工学院是该领域影响力最高的研究机构,国内的研究机构中介中心性低,影响力较弱。被引用最多的文献主要涉及方向有机器学习与预测模型。当前该领域研究热点主要有康复机器人、机器学习、深度学习、脑机接口等方向。该领域的研究趋势从最初的机器人、脑机接口等人工智能辅助设备转移至机器学习、深度学习、影像组学、预测模型等人工智能算法的研究与应用。**结论** 国内外人工智能在脑卒中领域的应用研究正处于一个发展爆发期,学者与机构间存在一定的关联性,国外研究学者间合作的密切程度高于国内,学者的重视度逐年上升。未来应继续关注国内外发展动向及学科前沿,并开展更多相关的高质量研究,为人工智能在脑卒中领域的应用制订更科学、更完善的诊疗方案。

**[关键词]** 人工智能;脑卒中;文献计量学;可视化分析;研究热点

**[中图分类号]** R743.3 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2024)24-3706-08

## Visualized analysis on application progress of artificial intelligence in field of stroke based on CiteSpace

ZHAO Sisi, LIU Yong<sup>△</sup>

(Department of Pain and Rehabilitation Medicine, Second Affiliated Hospital of Army  
Military Medical University, Chongqing 400037, China)

**[Abstract]** **Objective** To understand the progress of application research of artificial intelligence in the field of stroke through bibliometric methods. **Methods** The relevant literatures in the core databases of China Knowledge Network (CNKI) and Web of Science from January 1, 2004 to July 30, 2024 were used as the research objects, and the CiteSpace software was used for conducting the scientometric analysis. **Results** The literature data analysis shows that the number of published papers in this research direction is increasing year by year, the Chinese literatures have significantly increased since 2020, while the English literatures have entered the high speed increase period since 2018. China and the United States have published the most articles in this field. The University of Tübingen and the Massachusetts Institute of Technology are the most influential research institutions in this field, and the domestic research institutions have low intermediary centrality and weak influence. At present, the research hotspots in this field mainly include the rehabilitation robot, machine learning, deep learning, brain computer interface and other directions. The research trend in this field has shifted from the initial artificial intelligence auxiliary devices such as robots and brain-computer interfaces to the research and application of artificial intelligence algorithms such as machine learning, deep learning, imageomics and predictive models. **Conclusion** The research of artificial intelligence in the field of stroke at home and abroad is in a period of development outbreak. There is a certain correlation between scholars and institutions, and the degree of cooperation between foreign researchers is higher than that of domestic researchers, and the degree of attention of scholars is increasing year by year. In the future, should continue to pay attention to domestic and foreign development trends and academic frontiers, and carry out more related high-quality

ty researches, so as to formulate more scientific and perfect diagnosis and treatment plans for the application of artificial intelligence in the field of stroke

**[Key words]** artificial intelligence; stroke; bibliometrics; visualized analysis; research hotspots

脑卒中是一种严重威胁人类健康的脑血管疾病,具有发病率高、复发率高、致残率高、死亡率高和经济负担重的特点<sup>[1]</sup>。同时,在最新的研究中发现脑卒中的发病年龄呈年轻化趋势<sup>[2]</sup>,发病率也逐渐增高。大多数脑卒中患者存在后遗症,造成肢体运动、感知觉、言语与吞咽障碍等,这对患者的生活质量和存活时间影响较大,给家属及社会造成了沉重的负担。既往研究显示,早期预测脑卒中的发生与病情平稳后的积极介入治疗可降低功能障碍发生率,改善患者预后<sup>[3]</sup>。人工智能的应用在脑卒中领域中可不断完善患者诊治流程,更好地帮助脑卒中患者恢复<sup>[4]</sup>,使患者得到更全面的医疗救治。

随着计算机科学与信息科学的迅速发展,人工智能已成为目前全球最热门的新技术之一<sup>[5]</sup>,广泛地应用于医学领域<sup>[6-7]</sup>。虽然中国在人工智能的研究方面起步较晚,但近年来技术发展速度较快,深度学习、脑机接口、康复机器人、虚拟现实技术、预测模型等人工智能技术在脑卒中患者的急救、治疗、预后预测、效果评估中的应用也越来越广泛<sup>[8-9]</sup>,人工智能为脑卒中患者的诊治带来了新的突破和变革<sup>[10-11]</sup>,是健康医疗建设迅速发展的新趋势。近年来,该领域的研究日益增多,但目前的研究尚缺乏系统且全面的可视化分析。

CiteSpace 是一款基于引文分析理论的可视化软件,其是通过对文献的分析生成可视化知识图谱,进而了解研究领域现状、热点及演变过程。因此,本文借助可视化工具 CiteSpace 进行检索并分析收录的国内外人工智能在脑卒中领域的应用研究文献<sup>[12]</sup>,探讨研究主题,梳理研究演化过程,为进一步探索其理论与实践研究提供参考和借鉴。

## 1 资料与方法

### 1.1 文献检索

本文采用的中文文献数据来源于中国知网(CNKI),英文文献数据来源于 Web of Science 核心数据库,时间设定为 2004 年 1 月 1 日至 2024 年 7 月 30 日。中文关键词为“人工智能、人机交互、机器学习、深度学习、神经网络、脑机接口、机器人”和“脑卒中、中风、脑梗死、脑出血”,英文关键词为“artificial intelligence、human-computer interaction、machine learning、deep learning、neural networks、brain-computer interfaces、robots”AND“cerebral apoplexy、stroke、cerebral infarction、cerebral hemorrhage”。

### 1.2 文献纳入和排除标准

纳入标准:(1)脑卒中领域中与人工智能相关的期刊文献;(2)CNKI 检索文献纳入期刊来源类别为

“全部期刊”;(3)Web of Science 检索文献纳入期刊来源类别为“Web of Science 核心合集”;(4)Web of Science 检索文献纳入文献类型为 article;(5)Web of Science 检索文献纳入语种为英文。排除标准:(1)在线发表的资讯、会议、要闻、广告等非研究型文献;(2)重复发表的文献;(3)检索文献中与主题无关的文献。

### 1.3 数据处理与分析

使用 CiteSpace 软件对文献进行可视化分析。将数据导入 CiteSpace 进行参数设置,时间跨度设置为 2004 年 1 月 1 日至 2024 年 7 月 30 日,时间切片选择 1 年,节点筛选方式使用 g-index,比例参数 k=25,Top N=50,Pruning 选择 Pruning sliced networks,其他参数为默认设置,选择关键词、国家、机构、作者、共被引文献等节点进行逐一分析。

首先通过统计年度论文发表数量了解该领域的发展趋势,然后通过对国家、机构、作者合作等进行科学计量分析,了解学者间合作情况,让相关研究人员迅速掌握该领域的最新动态。通过对关键词和突现词的分析,绘制一系列知识图谱来展现该领域的研究现状、热点和学科前沿的发展趋势。

## 2 结果

### 2.1 发文量

CNKI 初始共检索到 1 259 篇文献(检索时间为 2024 年 7 月 31 日),Web of Science 初始共检索到 8 627 篇文献(检索时间为 2024 年 8 月 1 日)。经检索、去重与筛选,最终 CNKI 共纳入文献 1 073 篇,Web of Science 共纳入文献 4 661 篇。

从中文文献发文量走势来看,2004—2011 年呈缓慢上升趋势,处于起步阶段,2012—2020 年每年发文量维持在一个稳定增长的阶段,处于成长阶段,2020 年 1 月 1 日至 2024 年 7 月 30 日中国人工智能在脑卒中领域的应用研究数量逐年增加,说明国内该领域正处于快速发展阶段。从英文文献发文量走势来看,文献总体数量远超中文文献,于 2018 年进入快速发展阶段,增幅较大,且增速更快。总体来看,人工智能在脑卒中领域的应用研究正处于一个发展爆发期,未来也呈现出良好发展趋势,见图 1。

### 2.2 国家合作分析

在脑卒中领域的人工智能研究文献中发文量前 3 位的国家分别是中国(1 332 篇)、美国(1 073 篇)和德国(411 篇)。从国家合作来看,中介中心性数值大于 0.10 的国家有美国(0.24)、印度(0.22)、英国(0.21)、澳大利亚(0.12)和德国(0.11),其中美国位居第 1 位,在国际合作中发挥着核心作用。中国与美国在该领域占据重要地位,但中国中介中心性远低于美国,

说明中国与其他国家的合作较少,见表 1。

### 2.3 机构合作分析

英文文献发文量最多的机构是复旦大学(82 篇)、中国科学院(81 篇)、上海交通大学(64 篇),中介中心性大于 0.10 仅有图宾根大学(0.13)、麻省理工学院(0.13)。中文文献发文量最多的机构为南京医科大学附属南京医院,但该机构与其他机构合作较少,中介中心性较低,国际影响力弱,见表 2。

### 2.4 作者合作分析

英文文献发文量 $\geq 8$  篇的核心作者共有 43 名,发文量前 3 位的分别是 BIRBAUMER N(26 篇)、JIA J(23 篇)、FIEHLER J(22 篇)。图宾根大学的 BIRBAUMER N 的研究团队规模较大,其主要研究方向为用于通信和控制的脑机接口,但团队近年来与该领域相关的研究较少。中文文献以陈国中(南京医科大学附属南京医院)为核心的研究团队规模较大,近 2

年在该领域发表文献较多,主要聚焦于影像组学和机器学习预测急性脑卒中取栓后预后,见表 3。

表 1 发文量排名前 10 位的国家

排名	国家	发文量(篇)	中介中心性
1	中国	1 332	0.04
2	美国	1 073	0.24
3	德国	411	0.11
4	韩国	362	0.08
5	英国	353	0.21
6	意大利	318	0.07
7	印度	242	0.22
8	日本	237	0.03
9	加拿大	217	0.08
10	澳大利亚	170	0.12

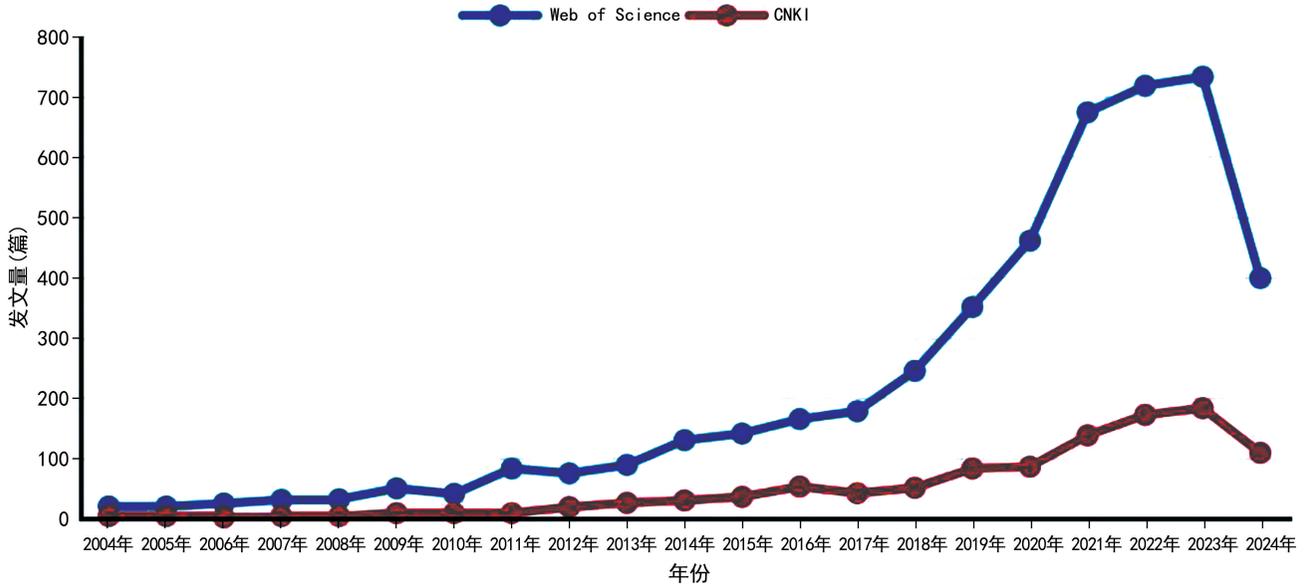


图 1 人工智能在脑卒中领域的应用研究文献发表情况

表 2 中英文文献发文量排名前 10 位的机构

排名	英文文献			中文文献		
	机构	发文量(篇)	最早发文年份	机构	发文量(篇)	最早发文年份
1	复旦大学	82	2005 年	南京医科大学附属南京医院	14	2021 年
2	中国科学院	81	2004 年	复旦大学附属华山医院	12	2013 年
3	上海交通大学	64	2013 年	首都医科大学	8	2013 年
4	图宾根大学	62	2007 年	东南大学	7	2016 年
5	首都医科大学	60	2013 年	首都医科大学宣武医院	6	2016 年
6	卡尔加里大学	57	2015 年	上海理工大学	6	2014 年
7	麻省理工学院	56	2004 年	福建中医药大学附属康复医院	6	2016 年
8	斯坦福大学	50	2011 年	太原理工大学	6	2021 年
9	长庚大学	48	2011 年	上海大学	5	2014 年
10	西北大学	47	2006 年	福建省康复技术重点实验室	5	2021 年



表 4 被引频次排名前 10 位的文献

排名	作者	被引频次	出版期刊	年份	中介中心性
1	HEO 等 <sup>[13]</sup>	104	<i>Stroke</i>	2019 年	0.04
2	RAMOS-MURGUIALDAY 等 <sup>[15]</sup>	99	<i>Ann Neurol</i>	2013 年	0.26
3	ALBERS 等 <sup>[16]</sup>	95	<i>N Engl J Med</i>	2018 年	0.30
4	KRIZHEVSKY 等 <sup>[17]</sup>	95	<i>Commun ACM</i>	2017 年	0.01
5	BIASIUCCI <sup>[14]</sup>	88	<i>Nat Commun</i>	2018 年	0.34
6	NOGUEIRA 等 <sup>[18]</sup>	87	<i>N Engl J Med</i>	2018 年	0.01
7	FEIGIN 等 <sup>[19]</sup>	86	<i>Lancet Neurol</i>	2021 年	0.01
8	CERVERA 等 <sup>[20]</sup>	81	<i>Ann Clin Transl Neurol</i>	2018 年	0.05
9	LO 等 <sup>[21]</sup>	77	<i>N Engl J Med</i>	2010 年	0.30
10	POWERS 等 <sup>[22]</sup>	76	<i>Stroke</i>	2019 年	0

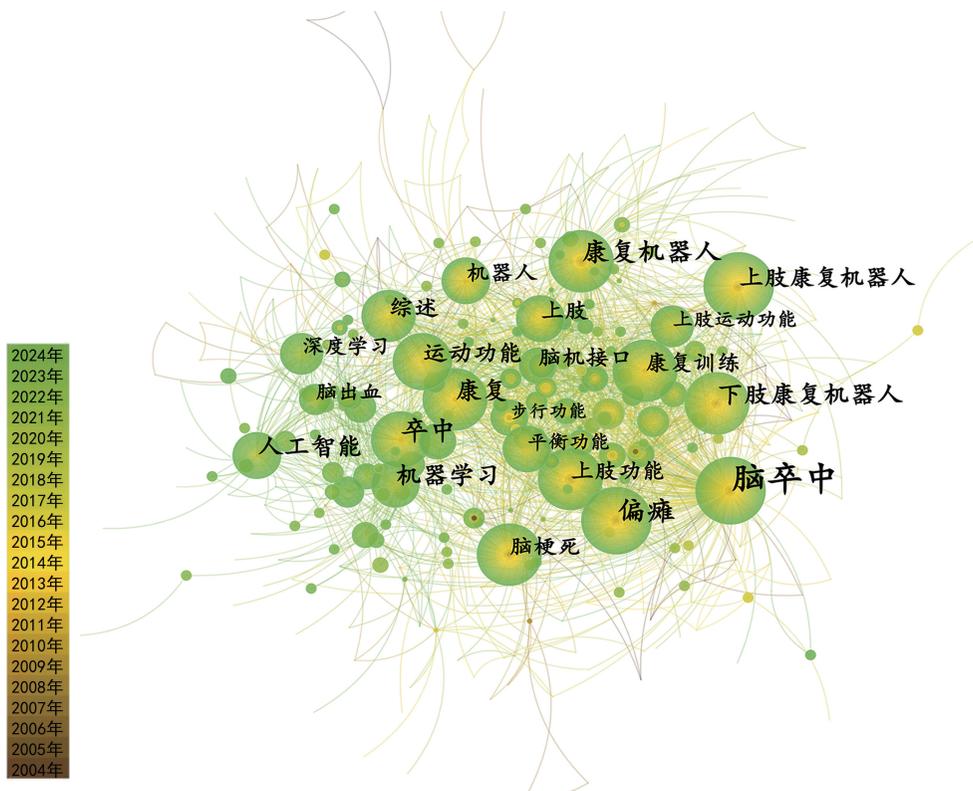


图 3 中文文献关键词共现图谱

### 2.6.2 关键词聚类

英文文献关键词聚类图谱中,  $Q=0.3888$ ,  $S=0.7291$ , 见图 4; 中文文献关键词聚类图谱中,  $Q=0.4445$ ,  $S=0.7588$ , 见图 5。英文文献排名前 5 位的聚类(平均轮廓值  $S$ ) 分别是 machine learning (0.690)、rehabilitation (0.728)、functional connectivity (0.729)、brain-computer interface (0.772)、neural networks (0.949); 中文文献排名前 8 位的聚类(平均轮廓值  $S$ ) 分别是机器学习 (0.862)、脑卒中 (0.573)、下肢康复机器人 (0.787)、康复机器人 (0.737)、机器人 (0.605)、康复治疗 (0.904)、中风 (0.974)、上肢 (0.937)。中英文文献关键词聚类图谱结构显著, 结果可信。

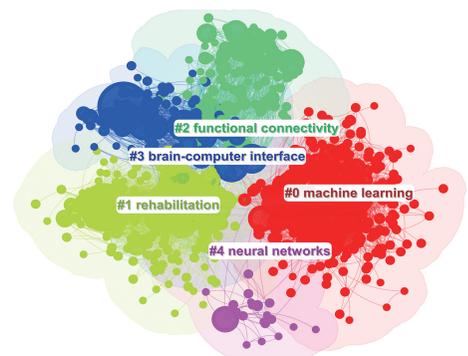


图 4 英文文献关键词聚类图谱

### 2.6.3 关键词突现

英文文献关键词中人工智能与机器学习分别从 2021 年与 2022 年开始突现, 并且热度均持续至今, 表

明在所选取的文献检索中,是近 3 年来新出现的研究热点并可能未来一直持续成为研究热点,见图 6A。中文文献关键词中持续时间最长的突现词是机器人,目前的研究热点是人工智能、机器学习、深度学习、影像组学、预测模型、磁共振成像,见图 6B。国内外在该领域的研究热点都从人工智能辅助设备转移至人工智能算法研究。

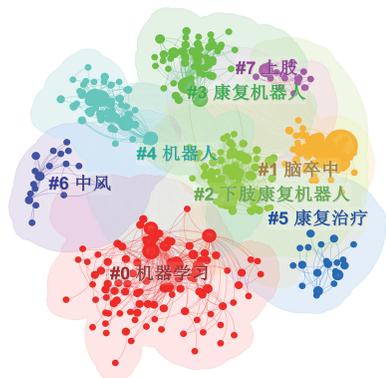


图 5 中文文献关键词聚类图谱

关键词	年份	突现强度	2004-2024年
movement	2004 年	15.71	
activation	2004 年	14.30	
therapy	2005 年	20.92	
upper limb	2005 年	15.66	
arm	2006 年	32.17	
bci	2007 年	15.48	
brain computer interface	2006 年	29.06	
chronic stroke	2004 年	18.94	
artificial intelligence	2004 年	20.02	
machine learning	2014 年	23.38	
A 机器人	2005 年	3.24	
偏瘫	2004 年	10.09	
康复训练	2011 年	4.05	
脑卒中偏瘫	2017 年	3.69	
人工智能	2018 年	3.72	
机器学习	2018 年	9.17	
深度学习	2019 年	6.41	
影像组学	2021 年	4.37	
预测模型	2021 年	3.83	
B 磁共振成像	2022 年	3.49	

A: 英文文献; B: 中文文献; 红色: 突现词频率提高的时间段, 突现度越高越能代表研究前沿; 浅蓝色: 突现词还未出现; 深蓝色: 突现词开始出现。

图 6 突现词分析图谱

### 3 讨论

人工智能在脑卒中领域的应用研究起源于 21 世纪初<sup>[23]</sup>。从发文量来看,国内外相关研究前期发展呈缓慢上升趋势,现已进入快速发展阶段,2019 年至今国内相关文献发文量占总发文量的 71.8%,国外占 71.5%。表明近年来该领域研究热度正持续增加,随着计算机、机器人及自动化技术的不断发展,学者们对人工智能的关注度不断提升,人工智能在脑卒中的应用研究也更加深入,预测未来该领域文献发文量将继续保持较快上升趋势<sup>[24]</sup>。

从国家分布来看,发文量前 10 位的国家分布十分广泛,说明人工智能正掀起一股全球研究热潮,在该领域中美两国暂处于核心地位,中国发文量位居第 1 位,但中介中心性较低,美国发文量位居第 2 位,但

中介中心性最高,体现了两国在该领域的研究水平上存在明显差异。从研究机构方面来看,国外研究机构较国内更多,且机构合作密切度也远超国内。国外的研究方向主要由大学引导,重视多学科协作及人才培养,合作不受地域影响;国内的研究主要由医院和大学的相互配合完成,多注重文献研究,合作较密切的研究机构往往处在同一城市,其中更多的集中于北京、上海等发达地区,而其他地区的科学研究多为独立研究。反映了目前该研究领域国内跨地域合作不密切,正处于探索阶段,需要加强与各机构的交流合作。

从作者合作来看,BIRBAUMER N 发文量最多,该作者于 2002 年开始从事相关研究,但近 5 年产出较少,其研究方向主要为脑机接口的应用<sup>[25]</sup>;JIA J 于 2014 年开始从事相关研究,其研究方向主要为脑卒中后手功能康复<sup>[26]</sup>;FIEHLER J 于 2019 年开始在该领域发表研究成果,其研究方向主要为机械取栓清除术治疗脑卒中<sup>[27]</sup>。本研究显示,英文文献发文量最多的作者是 BIRBAUMER N,来自中介中心性最高的机构图宾根大学,中文文献发文量最多的陈国中、彭明洋,都来自国内发文量最多的机构南京医科大学附属南京医院。这说明合作交流情况较好的科研机构,其学者可能产出更多,影响力更强。

本研究显示,该领域基础文献多出现于 2010—2020 年且文献被引频次逐年增加,2018—2019 年出现较多高被引文献,这表明该阶段的研究有较大突破并获得学术界广泛的关注,近几年来,该领域已逐渐走向成熟,并形成了一个较为完备的研究体系。

人工智能在脑卒中领域的应用研究主要围绕机器学习<sup>[28]</sup>、深度学习、康复机器人、脑机接口及康复等方面开展。机器学习是一种利用算法来分析数据,并作出决策的人工智能技术。伴随着大数据时代的到来<sup>[29]</sup>,该领域研究的关键是数据的处理与运用。深度学习是目前最高效、最经济、应用最广的机器学习算法,其模型较浅层机器学习模型更优<sup>[30]</sup>,该算法的主要应用集中于影像组学、X 线计算机、体层摄影术等方向<sup>[31]</sup>。目前,深度学习可以进行自动化分析辅助医生进行图像识别,分割与重建,因此在医学影像学中的应用日益广泛<sup>[32]</sup>。机器人与脑机接口属于人工智能技术辅助设备,机器人在脑卒中研究领域主要用以帮助患者进行上下肢功能评估、康复或代偿<sup>[33]</sup>。脑机接口是一种直接将大脑与计算机或其他外部设备连接起来的人工智能设备,目前已被广泛应用于脑卒中康复领域<sup>[34]</sup>。尽管目前针对机器人、脑机接口等方面的人工智能研究已在临床实践中取得一定成果<sup>[35-36]</sup>,并得到了充分的验证,但临床上脑卒中患者的功能障碍表现各不相同,因此人工智能技术还需要根据患者的不同情况,对康复训练的内容进行个性化的设计,才能够更好地满足患者的需求<sup>[37]</sup>。总的来说,该领域的研究热点主要是利用人工智能算法对患者进行分析管理、人工智能辅助设备对患者进行康复干预,从

而改善患者的生活质量。

人工智能技术是一个不断发展变化的研究领域<sup>[38]</sup>,其在脑卒中领域的应用范围不断扩大,呈现出从机器人、脑机接口到机器学习、深度学习、影像组学、预后预测的研究发展趋势。目前,人工智能在脑卒中领域的应用研究主要集中在算法层面的研究与应用上,而对人工智能辅助设备的研究相对较少。其研究成果可应用于脑卒中患者的诊断<sup>[39]</sup>、康复治疗、预后预测<sup>[40]</sup>等,为患者提供更科学多样化的诊疗服务<sup>[41]</sup>。

尽管人工智能技术的发展为脑卒中患者的诊治提供了许多新的突破与变革,但同时也存在着一些问题与挑战。基于 CiteSpace 的可视化结果,结合当前研究现状和研究热点,本研究存在以下局限性<sup>[42]</sup>:由于人工智能诊疗过程涉及大数据分析<sup>[43]</sup>,可能侵犯患者隐私<sup>[44]</sup>,医学人工智能发展依赖于海量的高质量数据进行算法优化,机器学习的成功也需要数据作为保障,而 CiteSpace 仅对 CNKI 和 Web of Science 核心合集中的文章进行分析,因此可能导致结果出现一些偏差,且现有的研究中,临床方面的研究较少,导致有质量的数据仍然较为缺乏。

总而言之,人工智能应用于脑卒中领域是未来的重点发展方向,深度学习<sup>[45]</sup>、机器人、脑机接口是该领域的研究热点。相较于国外,国内人工智能在脑卒中领域的应用研究起步较晚,前期发展也比较慢。作为交叉领域学科,随着近几年研究进展迅速加快,人工智能在脑卒中领域的应用研究也进入快速发展阶段,但目前国内很多机构和学者缺少协作,影响力弱,想要取得好的成果,需要医疗领域与机械工程、信息工程等学科进行合作和资源共享。因此未来可通过加强跨学科的人才培养与多领域的交流合作,制订出更科学、更规范的诊断和治疗方案,为临床提供新的思路。

## 参考文献

- [1] TU W J, WANG L D. China stroke surveillance report 2021[J]. *Mil Med Res*, 2023, 10(1): 33.
- [2] POTTER T, TANNOUS J, VAHIDY F S. A contemporary review of epidemiology, risk factors, etiology, and outcomes of premature stroke[J]. *Curr Atheroscler Rep*, 2022, 24(12): 939-948.
- [3] EGAN M, KESSLER D, GURGEL-JUAREZ N, et al. Stroke rehabilitation adaptive approaches: a theory-focused scoping review[J]. *Scand J Occup Ther*, 2024, 31(1): 1-13.
- [4] MARIN-MEDINA D S, ARENAS-VARGAS P A, ARIAS-BOTERO J C, et al. New approaches to recovery after stroke[J]. *Neurol Sci*, 2024, 45(1): 55-63.
- [5] WANG H, FU T, DU Y, et al. Scientific discovery in the age of artificial intelligence[J]. *Nature*, 2023, 620(7972): 47-60.
- [6] YU K H, HEALEY E, LEONG T Y, et al. Medical artificial intelligence and human values[J]. *N Engl J Med*, 2024, 390(20): 1895-1904.
- [7] CHEN M, DECARY M. Artificial intelligence in healthcare: an essential guide for health leaders[J]. *Healthc Manage Forum*, 2020, 33(1): 10-18.
- [8] GUMBS A A, FRIGERIO I, SPOLVERATO G, et al. Artificial intelligence surgery: how do we get to autonomous actions in surgery? [J]. *Sensors (Basel)*, 2021, 21(16): 5526.
- [9] ZHU G, JIANG B, CHEN H, et al. Artificial intelligence and stroke imaging a West Coast Perspective[J]. *Neuroimaging Clin N Am*, 2020, 30(4): 479-492.
- [10] BIVARD A, CHURILOV L, PARSONS M. Artificial intelligence for decision support in acute stroke-current roles and potential[J]. *Nat Rev Neurol*, 2020, 16(10): 575-585.
- [11] HOWELL M D, CORRADO G S, DESALVO K B. Three epochs of artificial intelligence in health care[J]. *JAMA*, 2024, 331(3): 242-244.
- [12] SHLOBIN N A, BAIG A A, WAQAS M, et al. Artificial intelligence for large-vessel occlusion stroke: a systematic review[J]. *World Neurosurg*, 2022, 159: 207-220.
- [13] HEO J, YOON J G, PARK H, et al. Machine learning-based model for prediction of outcomes in acute stroke[J]. *Stroke*, 2019, 50(5): 1263-1265.
- [14] BIASIUCCI A, LEEB R, ITURRATE I, et al. Brain-actuated functional electrical stimulation elicits lasting arm motor recovery after stroke[J]. *Nat Commun*, 2018, 9(1): 2421.
- [15] RAMOS-MURGUIALDAY A, BROETZ D, REA M, et al. Brain-machine interface in chronic stroke rehabilitation: a controlled study[J]. *Ann Neurol*, 2013, 74(1): 100-108.
- [16] ALBERS G W, MARKS M P, KEMP S, et al. Thrombectomy for stroke at 6 to 16 hours with selection by perfusion imaging[J]. *N Engl J Med*, 2018, 378(8): 708-718.
- [17] KRIZHEVSKY A, SUTSKEVER I, HINTON G E. ImageNet classification with deep convolutional neural networks[J]. *Commun ACM*, 2017, 60(6): 84-90.
- [18] NOGUEIRA R G, JADHAV A P, HAUSSEN

- D C, et al. Thrombectomy 6 to 24 hours after stroke with a mismatch between deficit and infarct[J]. *N Engl J Med*, 2018, 378(1): 11-21.
- [19] FEIGIN V L, STARK B A, JOHNSON C O, et al. 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]. *Lancet Neurol*, 2021, 20(10): 795-820.
- [20] CERVERA M A, SOEKADAR S R, USHIBA J, et al. Brain-computer interfaces for post-stroke motor rehabilitation: a meta-analysis [J]. *Ann Clin Transl Neurol*, 2018, 5(5): 651-663.
- [21] LO A C, GUARINO P D, RICHARDS L G, et al. Robot-assisted therapy for long-term upper-limb impairment after stroke [J]. *N Engl J Med*, 2010, 362(19): 1772-1783.
- [22] POWERS W J, RABINSTEIN A A, ACKERSON T, et al. Guidelines for the early management of patients with acute ischemic stroke: 2019 update to the 2018 guidelines for the early management of acute ischemic stroke: a guideline for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association [J]. *Stroke*, 2019, 50(12): e344-418.
- [23] QIN Y, ZHANG Q, LIU Y. Analysis of knowledge bases and research focuses of cerebral ischemia-reperfusion from the perspective of mapping knowledge domain [J]. *Brain Res Bull*, 2020, 156: 15-24.
- [24] JIANG F, JIANG Y, ZHI H, et al. Artificial intelligence in healthcare: past, present and future [J]. *Stroke Vasc Neurol*, 2017, 2(4): 230-243.
- [25] CHAUDHARY U, MRACHACZ-KERSTING N, BIRBAUMER N. Neuropsychological and neurophysiological aspects of brain-computer-interface (BCI) control in paralysis [J]. *J Physiol*, 2021, 599(9): 2351-2359.
- [26] 贾杰. “手脑感知-手脑运动”理论在脑卒中后上肢康复中的应用 [J]. *康复学报*, 2024, 34(4): 311-315.
- [27] THOMALLA G, FIEHLER J, SUBTIL F, et al. Endovascular thrombectomy for acute ischaemic stroke with established large infarct (TENSION): 12-month outcomes of a multicentre, open-label, randomised trial [J]. *Lancet Neurol*, 2024, 23(9): 883-892.
- [28] LEE M, YEO N Y, AHN H J, et al. Prediction of post-stroke cognitive impairment after acute ischemic stroke using machine learning [J]. *Alzheimers Res Ther*, 2023, 15(1): 147.
- [29] ALAYA I B, LIMAM H, KRAIEM T. Applications of artificial intelligence for DWI and PWI data processing in acute ischemic stroke: current practices and future directions [J]. *Clin Imaging*, 2022, 81: 79-86.
- [30] WEI J, SHANG K, WEI X, et al. Deep learning-based automatic ASPECTS calculation can improve diagnosis efficiency in patients with acute ischemic stroke: a multicenter study [J/OL]. *Eur Radiol*. [2024-10-12]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39060495/>.
- [31] MURRAY N M, UNBERATH M, HAGER G D, et al. Artificial intelligence to diagnose ischemic stroke and identify large vessel occlusions: a systematic review [J]. *J Neurointerv Surg*, 2020, 12(2): 156.
- [32] ALAYA I B, LIMAM H, KRAIEM T. Automatic triaging of acute ischemic stroke patients for reperfusion therapies using artificial intelligence methods and multiple MRI features: a review [J]. *Clin Imaging*, 2023, 104: 109992.
- [33] PARK J H, PARK G, KIM H Y, et al. A comparison of the effects and usability of two exoskeletal robots with and without robotic actuation for upper extremity rehabilitation among patients with stroke: a single-blinded randomised controlled pilot study [J]. *J Neuroeng Rehabil*, 2020, 17(1): 137.
- [34] SAWAY B F, PALMER C, HUGHES C, et al. The evolution of neuromodulation for chronic stroke: from neuroplasticity mechanisms to brain-computer interfaces [J]. *Neurotherapeutics*, 2024, 21(3): e337.
- [35] 杨榕, 王倩, 訾阳, 等. 近 10 年脑机接口技术用于康复医学领域的可视化分析 [J]. *中国康复理论与实践*, 2024, 30(4): 416-423.
- [36] CHAUDHARY U, CHANDER B S, OHRY A, et al. Brain computer interfaces for assisted communication in paralysis and quality of life [J]. *Int J Neural Syst*, 2021, 31(11): 2130003.
- [37] BRAVATA D M, RANTA A. Artificial intelligence in clinical decisions support for stroke: balancing opportunity with caution [J]. *Stroke*, 2023, 54(6): 1517-1518. (下转第 3719 页)