

基于文献计量分析经颅直流电刺激技术在体育科学领域的应用进展

杨杰^{1,2}, 吴华¹, 周文龙^{2,3}, 李军^{2,3}

(1. 海南师范大学体育学院, 海口 571127; 2. 海南省儿童认知与行为发展重点实验室, 海口 571127;
3. 琼台师范学院体育学院, 海口 571127)

摘要: 通过文献计量分析经颅直流电刺激(tDCS)应用于体育领域的研究进展。采用 CiteSpace 软件对 CNKI(中国知网)和 WOS(科学引文索引)核心合集数据库中文献进行可视化分析。结果显示:国内外发文量整体均呈现稳步上升趋势,高产作者以傅维杰、Bikson 等为代表;高产机构以上海体育大学、Univ Sao Paulo(圣保罗大学)为代表;研究热点为脑卒中、上肢、运动功能、运动表现、肌肉力量、运动技能学习等。目前主要将 tDCS 应用于特殊人群运动功能康复、运动员运动表现促进两大方面。未来需进一步借助先进的非侵入性的脑成像与脑刺激技术,深入探究其作用、影响及机制。

关键词: 经颅直流电刺激(tDCS); 体育科学; 运动康复; 运动训练; 可视化分析

中图分类号: G804.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)11-0193-09

随着科学技术的日益发展,神经与脑科学研究已不断融入各类学科之中。近年来,体育与神经科学也逐渐展开交叉融合发展,在科技赋能体育科学研究下,神经调控技术作为脑刺激干预的重要技术之一,在体育科学中的应用与研究不断增多,其中经颅直流电刺激(transcranial direct current stimulation, tDCS)作为一种非入侵性、无创伤性脑刺激技术在运动康复、运动训练和运动认知科学中展开了大量研究。

tDCS 通过置于头皮的电极以低幅值的直流电刺激局部皮质区,进而大脑皮层兴奋并改变神经活动^[1]。目前,tDCS 已被逐渐应用于脑卒中等脑损伤患者运动功能障碍恢复^[2]、提升运动表现、改善肌肉力量、提高运动技能学习与控制等方面^[3]。本文采用 CiteSpace 软件对中国知网(China National Knowledge Internet, CNKI)核心文献和科学引文索引(Web of Science, WOS)核心合集数据库中 2000 年 1 月至 2023 年 12 月收录的 tDCS 应用于体育科学领域中的相关研究进行可视化分析,对比国内外研究现状、发展趋势、研究热点与前沿,为我国 tDCS 与体育科学融合发展研究的科学化与深层次

研究提供参考与指引。

1 数据来源与研究方法

1.1 文献来源与检索策略

中文文献来源于 CNKI 数据库,使用高级检索模块,以经颅直流电刺激、tDCS、体育、运动、训练为关键词进行检索,文献类型为中文学术期刊,来源类别为北大核心和中文社会科学引文索引(Chinese Social Sciences Citation Index, CSSCI),时间范围为 2000 年 1 月 1 日至 2023 年 12 月 31 日,共检索到文章 173 篇,最终筛选出 84 篇文献进行研究。

外文文献来源于 WOS 核心合集数据库,使用高级检索,引文索引为 SCI-EXPANDED、SSCI,2000 年 1 月 1 日至 2023 年 12 月 31 日,以 transcranial direct current stimulation、tDCS、exercise、sports、movement、training 为主题词进行检索,文献类型为 Article 和 Review,语言为 English,共检索到文章 1 734 篇,其中包含大量医学与心理学文献,最终筛选出 415 篇与体育相关的文献进行研究。

1.2 研究方法

使用 CiteSpace(6.1.R6)软件,采用关键路径

收稿日期: 2024-03-12

基金项目: 2023 年度海南省高等学校教育教学改革研究项目(Hnjg2023-134);海南师范大学体育学院 2023 年度研究生创新科研课题(HSTY202312);2023 年海南省儿童认知与行为发展重点实验室开放课题(2023KF01)

作者简介: 杨杰(2000—),男,安徽宣城人,硕士研究生,研究方向为体质健康促进;吴华(1980—),女,湖南郴州人,博士,教授,研究方向为体质健康促进;通信作者周文龙(1989—),男,山东临沂人,博士,副教授,研究方向为体质健康促进;李军(1999—),男,陕西西安人,硕士,助教,研究方向为体质健康促进。

算法(Pathfinder)对收集的国内外文献进行可视化分析,并绘制知识图谱,时间阈值(Time Slicing)设定为2000—2023年,时间切片(Year Per Slice)为1年,节点类型(Node types)按照热点分析所需,将发文量、发文作者、发文机构、发文国家或地区合作网络以及关键词进行分析处理。

2 研究现状分析

2.1 发文趋势分析

图1为经颅直流电刺激在国内外体育科学中的发文量。从国际视角来看,2000—2013年为探索发展阶段,年均发文量在10篇以下,2014—2018年为初步发展阶段,发文量呈上升趋势,年均发文量为28.4篇,2019—2023年为稳定发展阶段,整体呈现快速增长与稳定发展趋势,年均发文量达45.6篇;国内相关研究起于2014年,至2019年一直处于探索阶段,2020—2023年呈初步发展阶段,年均发文量为17.75篇。

国家和地区分布图谱中(图2),共包含48个节点,即48个国家(地区)科研单位发文。其中美国发文量最高,发文量为107,占比达到25.78%,其次是巴西(71篇)、德国(65篇)、澳大利亚(46篇),我国位于第7位,发文量为33篇。与位于前列的发达国家相比,我国在该领域首次发文是2015年,相较于其他国家起步较晚,但随着我国体育科研水平的提升,未来有望迈进高质量研究队伍前列。

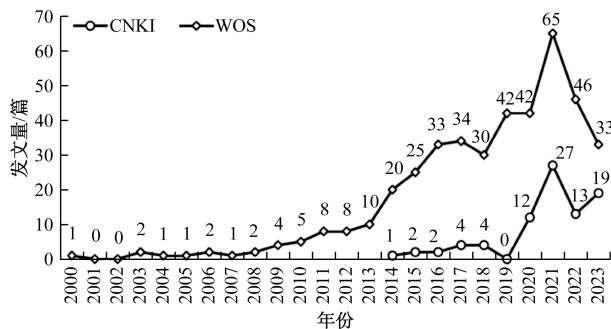


图1 2000—2023年国内外tDCS在体育领域核心期刊发文量



图2 国家(地区)科研分布图谱

2.2 发文作者分析

图3为发文作者共现图谱,国内发文量前5位分别是傅维杰(10篇)、刘宇(10篇)、宋为群(9篇)、吕娇娇(9篇)、肖松林(8篇),其中宋为群来自首都医科大学宣武医院,其余4位均来自上海体育大学,其机构内部合作较好,但还需拓展外部合作;国际发文量前5位分别是Bikson(10篇)、Machado(10篇)、Fregni(9篇)、Lattari(8篇)、Jaberzadeh(7篇),整体合作情况一般。

2.3 发文机构分析

国内研究机构共现图谱显示[图4(a)],共有84个研究机构,仅有65条连线,合作情况不佳。发文量最高的为上海体育大学(合计26篇,占30%以上),其次是首都医科大学宣武医院、沈阳体育学院、武汉体育学院等,主要为体育类大学和医学院校。国际研究机构共现图谱显示[图4(b)],共有353个研究机构,共有456条连线,合作情况一般。发文量最高的为Univ Sao Paulo(圣保罗大学、18篇),其次是Harvard Med Sch(哈佛医学院、14篇)、Monash Univ(莫纳什大学、13篇)、Harvard Univ(哈佛大学、13篇)。上海体育大学排名第7(11篇)(表1),可见其在国内外均具有一定影响力。

表1 国内外发文量居前10位的研究机构

序号	CNKI 发文研究机构	发文量/篇	WOS 发文研究机构	发文量/篇
1	上海体育学院运动健身科技部共建教育部重点实验室	11	Univ Sao Paulo	18
2	首都医科大学宣武医院康复医学科	9	Harvard Med Sch	14
3	上海体育学院运动科学学院	8	Monash Univ	13
4	上海体育学院	7	Harvard Univ	12
5	沈阳体育学院	6	CUNY City Coll	11
6	武汉体育学院	5	Univ Fed Rio Grande do Norte	11
7	北京体育大学	4	Shanghai Univ Sport	11
8	复旦大学附属华山医院康复医学科	2	Univ Leipzig	9
9	宁波大学体育学院	2	Max Planck Inst Human Cognit & Brain Sci	8
10	成都体育学院	2	Charite	7

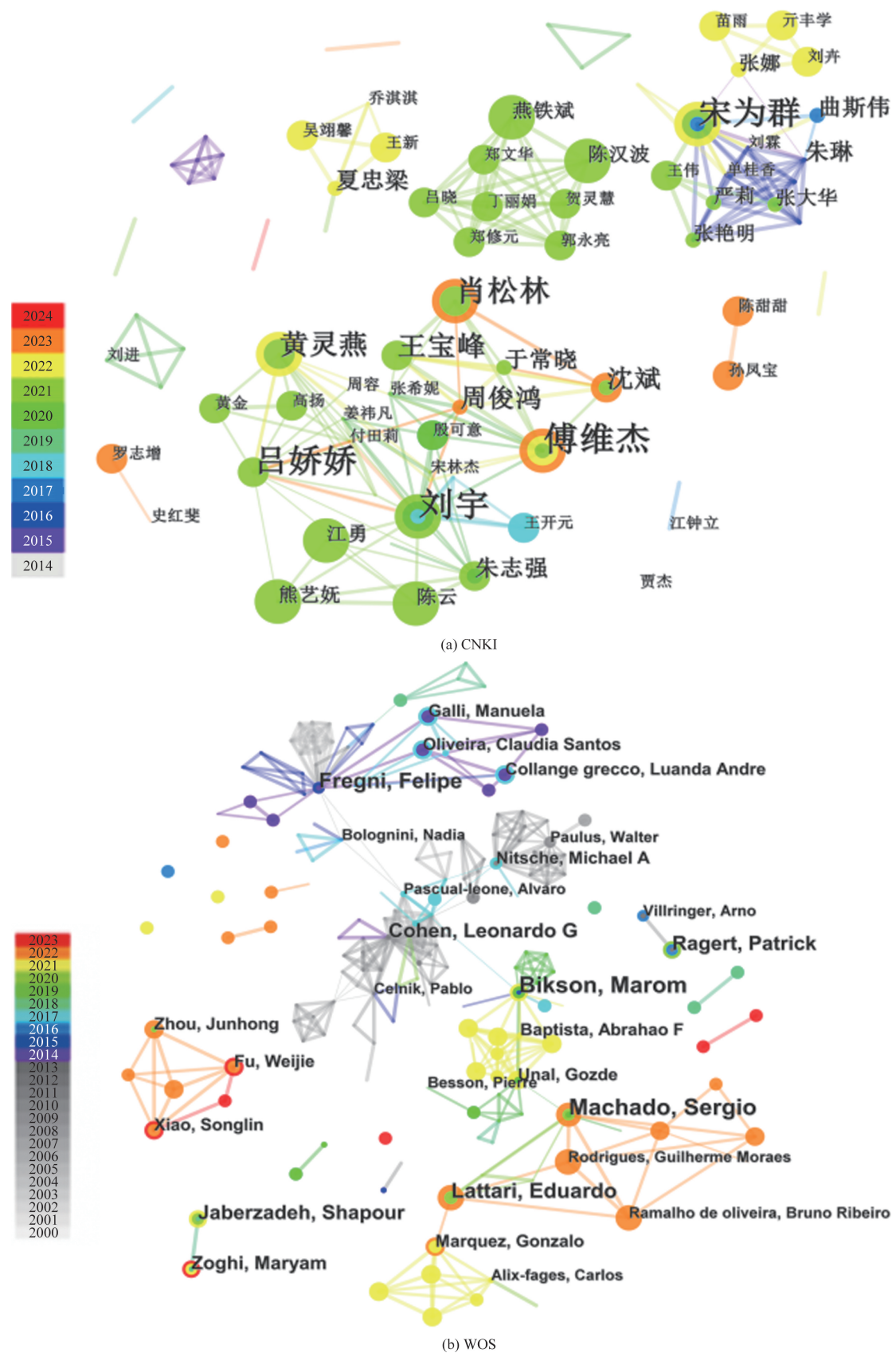


图3 tDCS 应用于体育领域的国内外发文作者共现图谱

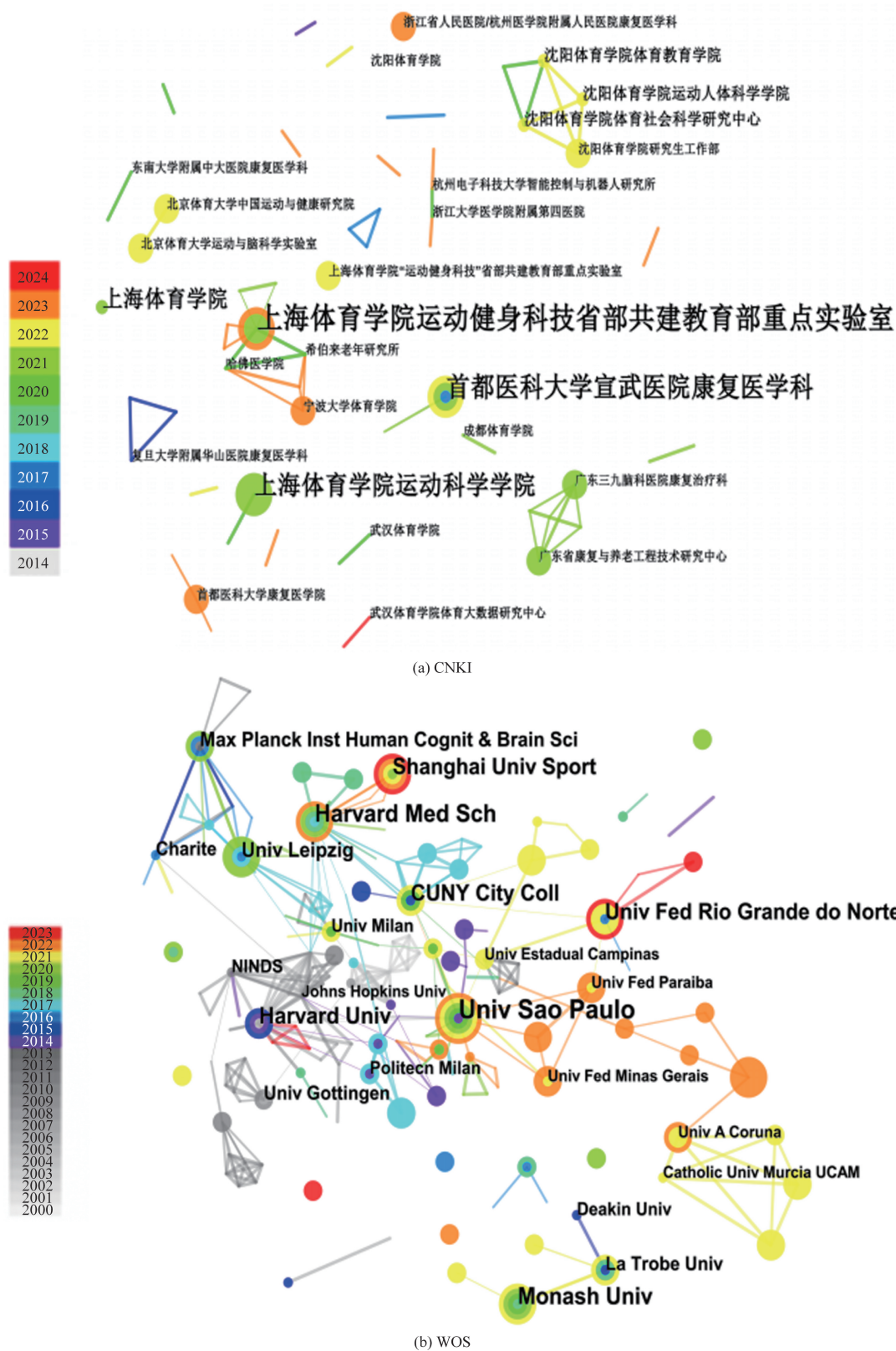


图 4 tDCS 应用于体育科学中的国内外发文机构共现图谱

3 研究热点与前沿分析

3.1 研究热点

通过绘制关键词共现图谱(图 5)可以分析得

出,当前国内外体育领域研究者应用 tDCS 研究的热点方向关键词主要包括上肢、脑卒中、运动功能、运动表现、肌肉力量、康复、认知功能、耐力、excita-

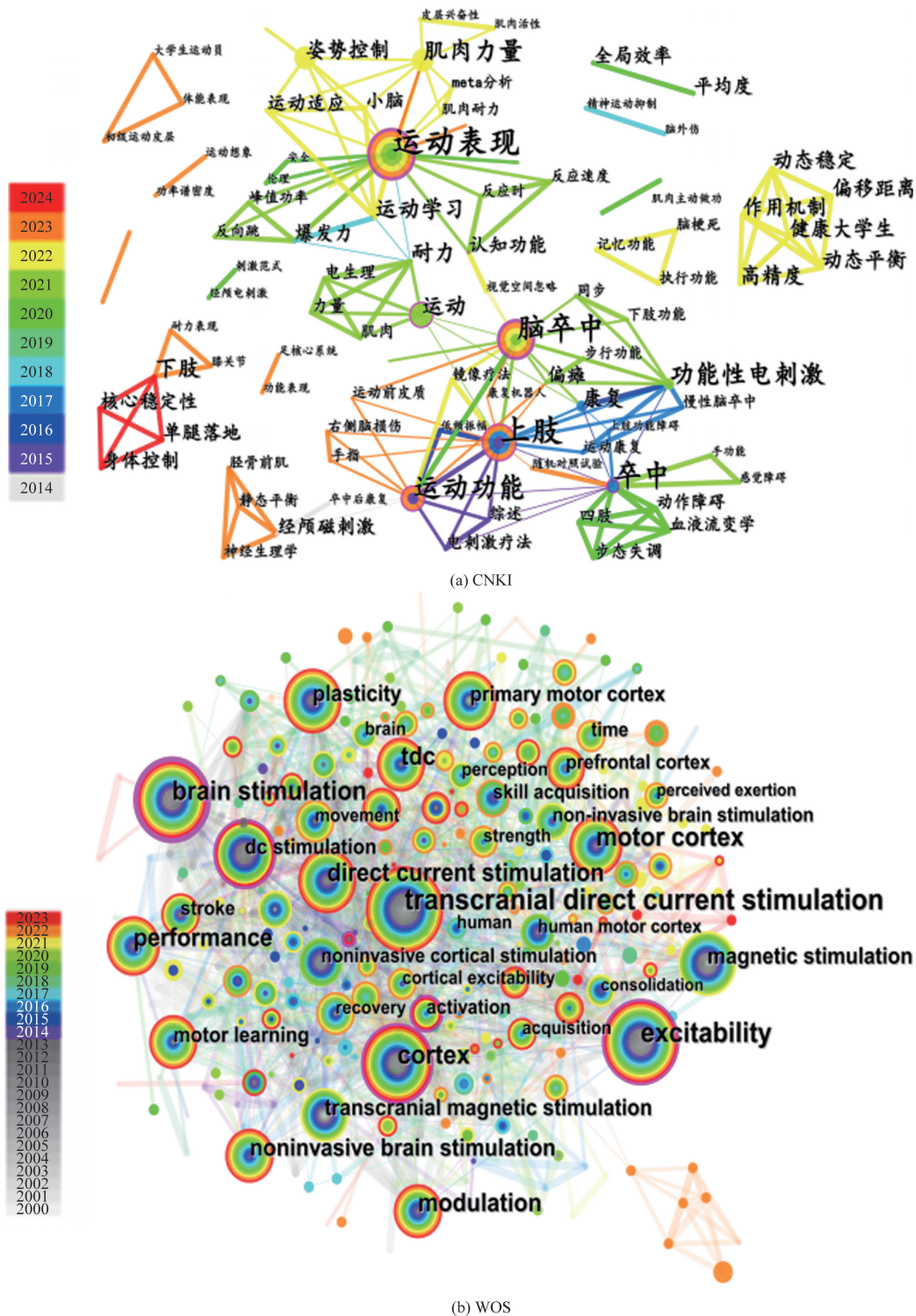


图 5 tDCS 应用于体育科学中的国内外关键词共现图谱

bility(兴奋性)、motor cortex(运动皮层)、performance(表现)、plasticity(可塑性)、activation(激活)等。

CiteSpace 依据网络结构和聚类的清晰度计算了模块值(Q)和平均轮廓值(S),当 $Q>0.3$ 则聚类结构显著,当 $S>0.7$ 时,聚类是高效率令人信

服的^[4]。本文中关键词聚类图谱(图6)显示,国内文献外关键词聚类图谱中 Q 和 S 分别为 $Q=0.5758$ 、 $S=0.8606$, $Q=0.4516$, $S=0.7297$,即聚类效果较好,研究主题明确。聚类标签显示热点方向包括上肢、运动表现、卒中、力量、ipsilateral motor effect、parietal cortex(顶叶皮层)、executive func-

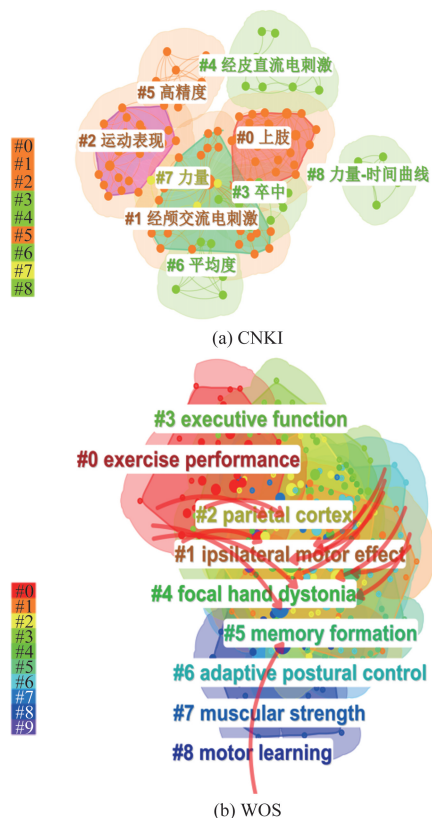


图6 tDCS应用于体育科学中的国内外关键词聚类图谱

tion(执行功能)、focal hand dystonia(手部肌张力障碍)、memory formation(记忆形成)、adaptive postural control(自适应姿势控制)、muscular strength(肌肉力量)、motor learning(运动技能学习)等。

综上,该领域研究热点可分为以下5个方面:

- ①tDCS干预对脑卒中人群运动功能的影响;
- ②tDCS干预对运动表现的影响;
- ③tDCS干预对运动技能学习的影响;
- ④tDCS干预对运动功能障碍的影响;
- ⑤tDCS在运动干预中的机制研究。

3.2 研究前沿

关键词突现图谱能清楚地展示该领域至今各阶段的研究热点、持续时间及演变历程(图7)。

国内该领域发展脉络历程可分为两个阶段。第1阶段为2014—2017年,该阶段关键词为运动功能、上肢、卒中、康复,主要研究内容为脑卒中患者的上肢运动功能康复,该阶段尚处于医学研究领域,其将tDCS与运动康复相结合,主要针对脑卒中患者及其他脑损伤疾病患者的肢体运动功能的康复;第2阶段为2021—2023年,该阶段关键词包括运动、肌肉力量、姿势控制,这一阶段涌现了众多学者探索tDCS对运动能力的影响,具体包括运动表现、肌肉力量与耐力、平衡能力、体能等,

关键词	年份	突现强度	开始时间	结束时间	2014—2024年
运动功能	2014	2.10	2014	2016	
上肢	2015	1.97	2015	2017	
卒中	2015	1.56	2015	2017	
康复	2017	1.28	2017	2017	
运动	2021	1.09	2021	2021	
肌肉力量	2022	1.38	2022	2022	
姿势控制	2022	1.03	2022	2022	

(a) CNKI

关键词	年份	突现强度	开始时间	结束时间	2000—2023年
homeostatic plasticity	2005	2.87	2005	2015	
magnetic stimulation	2003	6.44	2006	2015	
finger movement	2006	3.22	2006	2014	
brain polarization	2006	2.48	2006	2015	
dc stimulation	2007	4.53	2007	2013	
chronic stroke	2009	4.19	2009	2017	
noninvasive cortical stimulation	2010	7.04	2010	2015	
human motor cortex	2003	3.64	2012	2017	
skill acquisition	2014	5.77	2014	2018	
human	2006	6.93	2015	2017	
cortical plasticity	2009	3.45	2015	2017	
premotor cortex	2015	2.75	2015	2017	
force	2015	2.48	2015	2016	
implicit	2016	4.41	2016	2018	
healthy subject	2016	3.60	2016	2017	
motor cortex	2017	3.40	2017	2018	
perception	2016	3.40	2018	2019	
isometric strength	2018	2.55	2018	2019	
strength	2016	4.08	2020	2023	
time	2017	3.40	2020	2023	
aerobic exercise	2018	3.22	2020	2023	
metaanalysis	2020	3.21	2020	2023	
individual	2020	2.71	2020	2023	
exercise	2017	2.76	2021	2023	
performance	2010	3.17	2022	2023	

(b) WOS

图7 tDCS应用于体育科学中的国内外关键词突现图谱

其中实验研究发文量总体较少,综述类文章较多。

国际视角下该领域整体发展脉络历程可分为3个阶段。第1阶段为2005—2015年,该阶段主要通过tDCS和运动康复训练促进脑卒中患者中的上肢运动功能恢复,与国内第1阶段一致;第2阶段为2015—2019年,该阶段以tDCS对运动皮层的干预探究其作用、影响及机制等,以理论研究推动实践应用价值;第3阶段为2020—2023年,此阶段已步入体育科学研究主阵地,与国内第2阶段研究热点一致,包括了tDCS干预对力量、有氧、运动表现等影响研究。

3.2.1 前沿主题1:tDCS在运动康复中的应用研究

运动康复研究是tDCS早期应用于体育领域的重要方向,主要使用tDCS对脑卒中、脑损伤或特殊人群等患者进行运动功能康复干预研究。运动功能障碍是脑卒中患者面临的主要问题。目前,tDCS结合运动干预能够改善脑卒中患者上肢^[5]、平衡^[6]、步态^[7]等运动功能,并且tDCS干预联合运动训练

有助于脑卒中患者的运动改善,特别是延长运动练习^[8]。同时,双侧 tDCS 对慢性脑卒中患者的运动技能学习具有促进作用,结合运动技能学习和双侧 tDCS 有望改善卒中后神经康复^[9]。此外,tDCS 与目标导向的练习相结合对自闭症谱系障碍儿童的运动技能、平衡能力同样具有改善作用^[10]。总的来说,tDCS 结合运动干预对脑卒中、特殊症状人群等具有一定的促进作用,能够改善一定的运动功能,未来可进一步在其他人群中探究其作用,使现代化科技赋能运动康复更具价值。

3.2.2 前沿主题 2:tDCS 在运动训练中的应用研究

tDCS 应用于运动训练是交叉融合研究的前沿方向。目前主要热点研究包括 tDCS 对肌肉力量、平衡能力、运动表现与成绩、运动技能学习等方面的影响。其主要通过对初级运动皮层(M1)刺激来改善神经系统的兴奋性,进而影响运动表现,巩固运动技能学习^[11]。

在运动表现上,tDCS 能有效提高运动皮层的兴奋性,提高运动表现和运动学习能力^[12],同时可以在赛后舒缓神经和肌肉疲劳,抑制肌肉疼痛,提高疲劳恢复的效果^[13]。Grosprêtre 等^[14]通过对 M1 施加 tDCS 刺激,发现其改善了跳跃能力,同时增加了脊髓兴奋性。在攀岩^[15]、赛艇^[16]、游泳^[17]等运动员中通过实施 tDCS 干预,均促进了运动员的运动表现,具体表现为提升了有氧能力,提高主要发力肌肉肌纤维募集程度,促进运动后心率的恢复,减轻精神疲劳的不良影响。Kenville 等^[18]通过对小脑(CB)进行 tDCS 干预,发现其可以改善等长杠铃下蹲时的最大等长收缩力量。

在运动技能学习中,通过 tDCS 增加动作观察网络的兴奋性可以促进运动技能的学习与巩固^[19],在训练前应用 tDCS 可以提高简单或精细运动技能的学习,如手指敲击^[20]、拇指运动^[21],也能促进粗大动作或复杂动作的学习效果,如高尔夫推杆^[22]。更进一步发现,在左背外侧前额叶皮层使用 a-tDCS 改变了足球运动员视觉搜索行为,提高了决策技能的反应时间^[23]。在刺激部位上,研究指出 tDCS 刺激小脑能改善人体姿势控制能力、提升运动适应能力、加快动作技能的学习等^[24]。

但部分研究也指出 tDCS 刺激呈现抑制作用^[25-26],其可能是由于阳极刺激诱导的兴奋效应并不适用于每种刺激强度^[27],因此在实验研究中应详细设计与考虑到刺激对象、强度、时间、经验、运动

水平、运动项目等众多因素^[28]。

4 研究结论与展望

4.1 研究结论

以 2000—2023 年国内外有关 tDCS 应用于体育科学领域的核心文献进行可视化分析,并进行国内、国际视角对比,探析 tDCS 在体育科学领域中的应用、热点与前沿趋势,得出以下结论。

(1)目前该领域国内外研究均处于发展阶段,国内发展进程稍慢,发文量较少;上海体育大学是我国核心高产研究机构代表;国内研究者与机构间合作情况不佳,需加强合作,并提升国际影响力。

(2)研究热点与前沿趋势内容主要包括运动康复、运动表现、运动技能学习等。相关研究表明 tDCS 能够提高运动表现,巩固运动技能的学习与控制,改善运动障碍人群的运动功能。

4.2 研究展望

经颅直流电刺激技术应用于体育科学领域是加速运动训练、运动康复、运动心理研究的重要推动力及未来发展趋势。研究者们还需加大 tDCS 对运动表现与技能学习的实验研究,提高运动表现,改善运动障碍人群的运动功能,并结合先进的非侵入性的脑成像技术,如功能性近红外光谱(functional near-infrared spectroscopy, fNIRS)、功能性磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)等,进一步探究其作用、影响及机制,提高体育运动科学研究的科学性、先进性与深入化。

参考文献

- [1] LEFAUCHEUR J P, ANTAL A, AYACHE S S, et al. Evidence-based guidelines on the therapeutic use of transcranial direct current stimulation (tDCS) [J]. *Clinical Neurophysiology*, 2017, 128(1): 56-92.
- [2] 陈盼,胡玲,杨蕾,等.基于 CiteSpace 的经颅直流电刺激研究热点及趋势分析[J]. *护理研究*, 2023, 37(14): 2529-2537.
- [3] 郭峰,鲁盼盼.经颅直流电刺激技术作用机制及其在运动科学中的应用进展[J]. *中国康复医学杂志*, 2020, 35(7): 891-895.
- [4] 陈悦,陈超美,刘则渊,等. CiteSpace 知识图谱的方法论功能[J]. *科学学研究*, 2015, 33(2): 242-253.
- [5] FIGLEWSKI K, BLICHER J U, MORTENSEN J, et al. Transcranial direct current stimulation potentiates improvements in functional ability in patients with chronic stroke receiving constraint-induced movement therapy[J]. *Stroke*, 2017, 48(1): 229-232.
- [6] ZANDVLIET S B, MESKERS C G M, KWAKKEL G,

- et al. Short-term effects of cerebellar tDCS on standing balance performance in patients with chronic stroke and healthy age-matched elderly[J]. *The Cerebellum*, 2018, 17: 575-589.
- [7] PARK S D, KIM J Y, SONG H S. Effect of application of transcranial direct current stimulation during task-related training on gait ability of patients with stroke[J]. *Journal of Physical Therapy Science*, 2015, 27(3): 623-625.
- [8] KANG N, SUMMERS J J, CAURAUGH J H. Transcranial direct current stimulation facilitates motor learning post-stroke: a systematic review and meta-analysis[J]. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 2016, 87(4): 345-355.
- [9] LEFEBVRE S, LALOUX P, PEETERS A, et al. Dual-tDCS enhances online motor skill learning and long-term retention in chronic stroke patients[J]. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2013, 6: 343.
- [10] MAHMOODIFAR E, SOTOODEH M S. Combined transcranial direct current stimulation and selective motor training enhances balance in children with autism spectrum disorder[J]. *Perceptual and Motor Skills*, 2020, 127(1): 113-125.
- [11] FRAZER A K, HOWATSON G, AHTIAINEN J P, et al. Priming the motor cortex with anodal transcranial direct current stimulation affects the acute inhibitory corticospinal responses to strength training[J]. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 2019, 33(2): 307-317.
- [12] 卞秀玲, 王雅娜, 王开元, 等. 经颅直流电刺激技术及其在提升运动表现中的应用[J]. *体育科学*, 2018, 38(5): 66-72.
- [13] 唐文静, 李丹阳, 胡惠莉, 等. 经颅直流电刺激干预运动表现: 效果及应用策略[J]. *体育科学*, 2020, 40(8): 74-87.
- [14] GROSPRÊTRE S, GRANDPERRIN Y, NICOLIER M, et al. Effect of transcranial direct current stimulation on the psychomotor, cognitive, and motor performances of power athletes[J]. *Scientific reports*, 2021, 11(1): 9731.
- [15] LUO J, FANG C, HUANG S, et al. Effects of single session transcranial direct current stimulation on aerobic performance and one arm pull-down explosive force of professional rock climbers[J]. *Frontiers in Physiology*, 2023, 14: 1153900.
- [16] 李佳莉, 郑晓鸿, 郭峰, 等. 经颅直流电刺激联合神经肌肉电刺激对赛艇运动表现的即时性影响[J]. *科学技术与工程*, 2023, 23(4): 1460-1471.
- [17] NIKOOHARF S E, JAYDARI F S, JABERZADEH S, et al. Transcranial direct current stimulation reduces the negative impact of mental fatigue on swimming performance[J]. *Journal of Motor Behavior*, 2022, 54(3): 327-336.
- [18] KENVILLE R, MAUDRICH T, MAUDRICH D, et al. Cerebellar transcranial direct current stimulation improves maximum isometric force production during isometric barbell squats[J]. *Brain Sciences*, 2020, 10(4): 235.
- [19] WADE S, HAMMOND G. Anodal transcranial direct current stimulation over premotor cortex facilitates observational learning of a motor sequence[J]. *European Journal of Neuroscience*, 2015, 41(12): 1597-1602.
- [20] JO N G, KIM G W, WON Y H, et al. Timing-dependent effects of transcranial direct current stimulation on hand motor function in healthy individuals: a randomized controlled study [J]. *Brain Sciences*, 2021, 11(10): 1325.
- [21] KOYAMA S, TANAKA S, TANABE S, et al. Dual-hemisphere transcranial direct current stimulation over primary motor cortex enhances consolidation of a ballistic thumb movement[J]. *Neuroscience Letters*, 2015, 588: 49-53.
- [22] ZHU F F, YEUNG A Y, POOLTON J M, et al. Cathodal transcranial direct current stimulation over left dorsolateral prefrontal cortex area promotes implicit motor learning in a golf putting task[J]. *Brain Stimulation*, 2015, 8(4): 784-786.
- [23] FORTES L S, ALBUQUERQUE M R, FARO H K C, et al. Repeated use of transcranial direct current stimulation over the dorsolateral prefrontal cortex before training changes visual search and improves decision-making response time in soccer athletes[J]. *Journal of Clinical Sport Psychology*, 2022, 1: 1-18.
- [24] 亓丰学, 苗雨, 张娜, 等. 小脑经颅直流电刺激技术提升运动表现的应用[J]. *科学技术与工程*, 2022, 22(15): 5943-5950.
- [25] ERFMANN K L C, MACRAE P R, JONES R D, et al. Effects of cerebellar transcranial direct current stimulation(tDCS) on motor skill learning in swallowing[J]. *Disability and Rehabilitation*, 2022, 44(11): 2276-2284.
- [26] ROMERO-ARENAS S, CALDERÓN-NADAL G, ALIX-FAGES C, et al. Transcranial direct current stimulation does not improve countermovement jump performance in young healthy men[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2021, 35(10): 2918-2921.
- [27] LERNER O, FRIEDMAN J, FRENKEL-TOLEDO S. The effect of high-definition transcranial direct current stimulation intensity on motor performance in healthy adults: a randomized controlled trial[J]. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2021, 18(1): 103.
- [28] CHINZARA T T, BUCKINGHAM G, HARRIS D J. Transcranial direct current stimulation and sporting performance: a systematic review and meta-analysis of tran-

cranial direct current stimulation effects on physical endurance, muscular strength and visuomotor skills[J].

European Journal of Neuroscience, 2022, 55(2): 468-486.

Application Progress of Transcranial Direct Current Stimulation Technology in Sports Science Based on Bibliometric Analysis

YANG Jie^{1,2}, WU Hua¹, ZHOU Wenlong^{2,3}, LI Jun^{2,3}

(1. Physical Education School, Hainan Normal University, Haikou 571127, China;

2. Key Laboratory of Child Cognition & Behavior Development of Hainan Province, Haikou 571127, China;

3. Physical Education School, Qiongtai Normal University, Haikou 571127, China)

Abstract: The research progress of transcranial direct current stimulation (tDCS) in the field of sports at home and abroad was analyzed through literature metrology. CiteSpace software was used to visualize the literature in CNKI(China National Knowledge Internet) and WOS (Web of Science) core collection database. The results showed that the number of published papers at home and abroad showed a steady upward trend, and the high-yield authors were represented by Fu Weijie and Bikson. High production institutions are represented by Shanghai Sport University and Univ Sao Paulo (University of Sao Paulo); Research focuses on stroke, upper limbs, motor function, motor performance, muscle strength, motor skill learning, etc. At present, tDCS is mainly applied to the rehabilitation of motor function of special people and the promotion of athletic performance of athletes. In the future, advanced non-invasive brain imaging and brain stimulation techniques are needed to further explore its role, influence and mechanism.

Keywords: transcranial direct current stimulation(tDCS); sports science; sports rehabilitation; sports training; visual analysis