

国内外眼动追踪技术在教学领域的可视化分析

陈登水

福建师范大学心理学院, 福建 福州

收稿日期: 2022年4月14日; 录用日期: 2022年5月18日; 发布日期: 2022年5月25日

摘要

眼动追踪技术是通过图像处理技术, 定位瞳孔位置, 获取瞳孔中心坐标, 并通过某种方法, 计算人的注视点的一项技术。采用CiteSpaces软件对1992年到2022年中国知网收录的654篇论文和Web Of Science核心合集收录的470篇论文进行可视化分析, 探讨眼动追踪技术在教学领域研究的现状和发展趋势。结果表明: 国内的研究热点集中在教材和教学视频的设计和 Learning 效果的分析; 而国外的热点集中在视觉注意力和注意力引导方面。未来的研究会 在现有的基础上, 研究材料更加丰富, 研究对象更加细化、结合学科特点和人工智能技术, 进一步促进眼动追踪技术与教学的结合。

关键词

眼动, 眼动追踪技术, 教学

Visual Analysis of Eye Tracking Technology in Teaching Field at Home and Abroad

Dengshui Chen

School of Psychology, Fujian Normal University, Fuzhou Fujian

Received: Apr. 14th, 2022; accepted: May 18th, 2022; published: May 25th, 2022

Abstract

Eye movement tracking technology is a technology to locate the pupil position, obtain the pupil center coordinates, and calculate people's fixation point through some method. Using CiteSpaces software, this paper makes a visual analysis of 654 papers included in China HowNet and 470 papers included in the core collection of web of science from 1992 to 2022, and discusses the current situation and development trend of eye tracking technology in the field of teaching. The results show that domestic research focuses on the design of teaching materials and teaching videos and the analysis of learning effects; The foreign hot spots focus on visual attention and attention guid-

ance. Based on the existing research, the future research will enrich the research materials, refine the research objects, and further promote the combination of eye tracking technology and teaching by combining the subject characteristics and artificial intelligence technology.

Keywords

Eye Movement, Eye Movement Tracking Technology, Teaching

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

人们发现,视觉获取了大约80%的环境信息。人眼平均每秒移动3~4次,从那些重要的场景区域采集信息。因此,眼球运动提供了一种直接的方法来测量注意力,并且被认为是大脑和思维的窗口。因此,眼动技术在学习和教育中受到高度重视,被广泛应用于研究观察者在看什么以及什么吸引了观察者的兴趣[1]。眼动追踪技术是基于眼脑假说,即眼睛盯着的地方就是大脑加工的地方[2]。在教育领域,眼动追踪主要用于研究学习中的注意[3]、阅读过程[4]、教师教学[5]。这些研究报告了视觉注意力的测量方法,包括注视次数(fixation counts)、注视持续时间(fixation duration)和扫视模式(patterns of saccades)。这些眼动指标可以说明教学、学习过程中的认知过程。采用眼动跟踪方法来跟踪教学、记录学习过程中发生的一个接一个的过程,教育领域有可能可以生成一个完善的教师教学和学生学习的科学指导。因此回顾眼动跟踪在教学领域上的研究是至关重要的。鉴于此,本文拟借助可视化软件CiteSpaces 5.8.R3,通过对以往研究文献进行分析,绘制知识图谱,梳理眼动追踪技术在教学领域的现状及其发展趋势,为进一步加强眼动追踪技术在教学领域的应用提供帮助。

2. 数据收集与研究方法

数据收集主要基于中国知网(CNKI)和Web Of Science进行,检索时间为1992年1月1日至2022年4月11日。在中国知网上以篇名含有“眼动”和“教学”,进行联合文献检索,共检索到683篇文献,经过阅读剔除13篇会议论文和2篇辑刊文献后,剩余654篇有效文献。在Web Of Science上设定主题词为“eye movement”和“teach*”联合检索,共检索到546篇文献,然后根据CiteSpaces对数据进行去重处理,删除20篇编辑材料、4篇信件、4篇会议摘要、1篇新闻报告、106篇会议记录文件,得到470篇有效英文文献。采用可视化软件CiteSpaces 5.8.R3绘制知识图谱,分析文献的时空分布,了解该领域的研究进展,通过关键词共线分析,了解该领域的研究热点和前沿,采用聚类分析了解该领域的研究趋势,从而对国内外眼动追踪技术在教学领域上研究的现状、热点及变化趋势有全面的认识。

3. 发文量、及主要研究机构时空知识图谱分析

年度发文数量及变化情况,是相关领域重要性、受关注程度等的总体反映。首先,从论文发表的时间来看(见图1),国内相关的研究起步还是较早的,从1992年开始就有研究者开始探讨相关的话题,其后研究的数量缓慢地呈现增长趋势,从2016年开始,年发文量开始有了质的飞跃,近几年的发文量平均在90篇左右,说明对于国内眼动追踪技术在教学领域上的研究越来越重视。而从国外的发展趋势来看(见图2),相关研究从1998年才开始出现,之后也是呈缓慢上升趋势。但从2008年开始,论文数量开始大

幅度增加，此后呈现出较之前更为快速的增长趋势。这可能是由于教学和眼动追踪技术之间缺乏交流，以及设备的高成本[6]。而随着眼动设备的发展，更加轻便、性价比更好的眼动设备的出现，研究内容也从分析实验室中个人的眼动行为扩展到研究相互作用的两个人和一组人的眼球运动。因此可以预测，对于眼动追踪技术在教学方面应用的研究热度仍会保持，甚至可能呈现继续增长趋势，对该领域的探讨仍具有较大的社会意义。

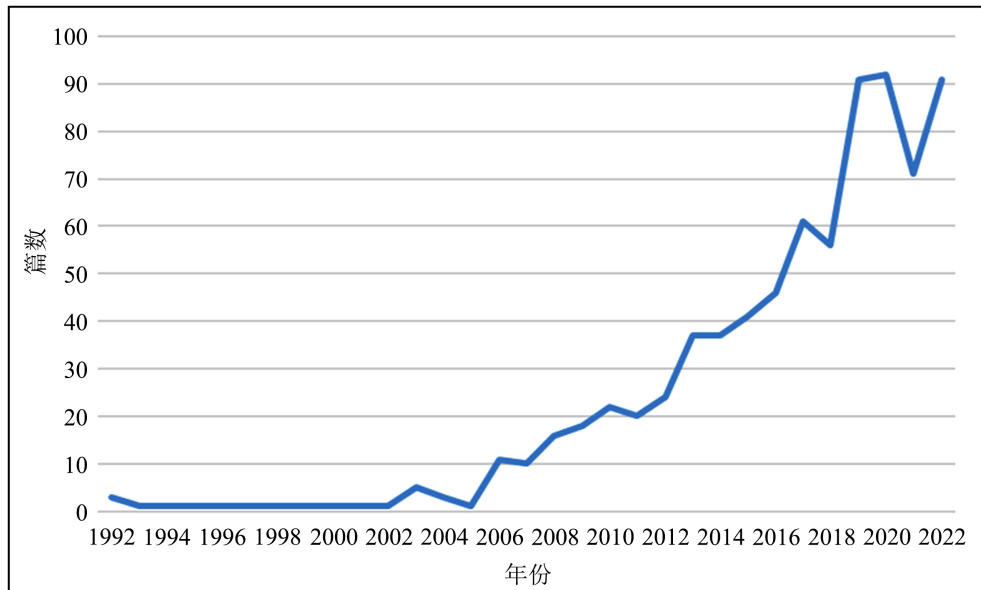


Figure 1. Time distribution of domestic research on eye tracking technology in the field of teaching
图 1. 眼动追踪技术在教学领域研究的国内研究时间分布图

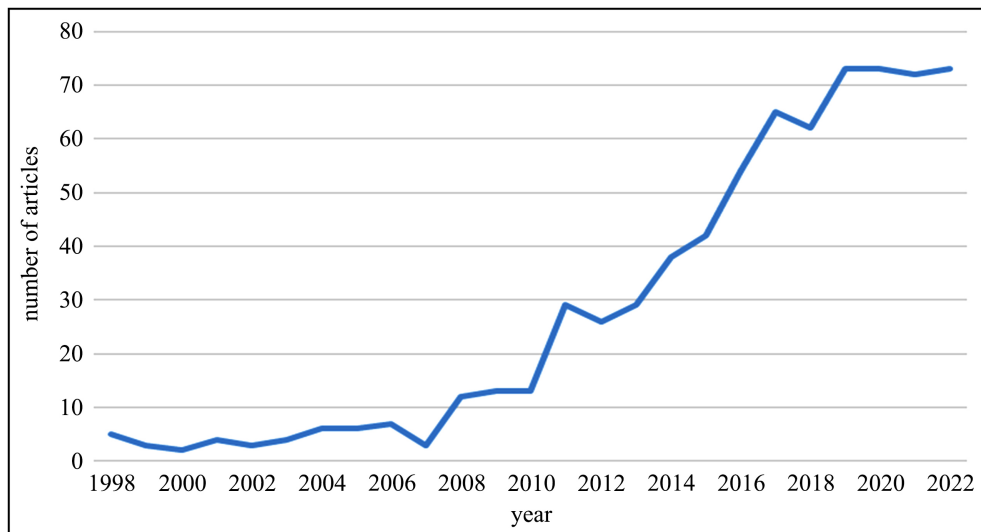


Figure 2. Time distribution of foreign research on eye tracking technology in teaching field
图 2. 眼动追踪技术在教学领域研究的国外研究时间分布图

其次，在研究机构合作网络(如图 3)的分析中可以发现，国内对该领域的研究机构区分较为明显，最多的就是陕西师范大学和天津师范大学，相互合作机构的较少。而国外对该领域的研究机构分布较广(见

图 4), 其中瑞典的隆德大学位居发文数量位居榜首。国外研究机构的聚类 Q 值为 0.76663, S 值为 0.956, 表明国外关于眼动追踪技术在教学领域的研究大都以合作的方式进行, 相对比, 国内在该领域上的研究合作较少, 研究机构的分布较散。

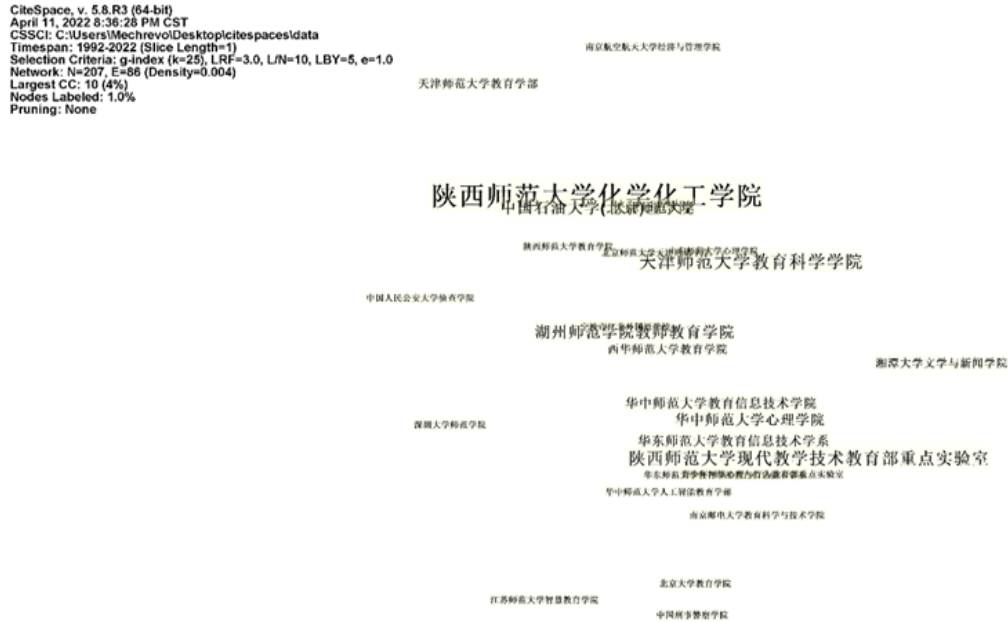


Figure 3. Distribution of domestic research institutions of eye tracking technology in the field of teaching
 图 3. 眼动追踪技术在教学领域研究的国内研究机构分布图

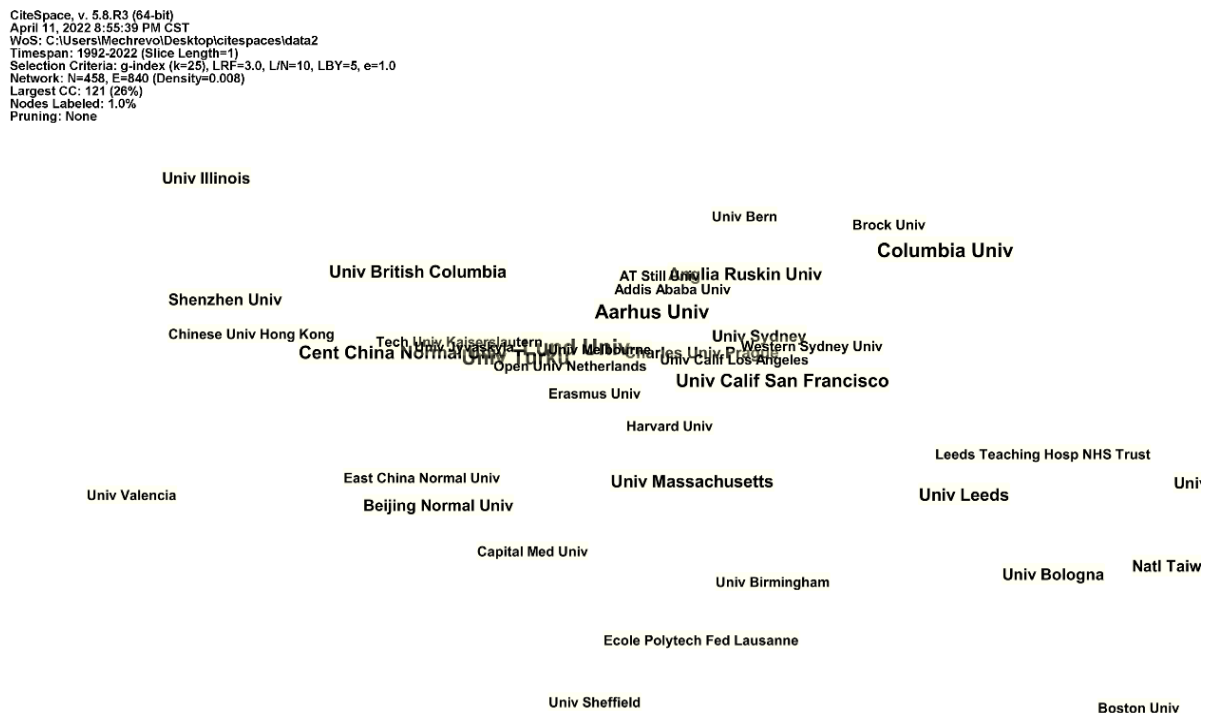


Figure 4. Distribution of foreign institutions of eye tracking technology in the field of teaching
 图 4. 眼动追踪技术在教学领域研究的国外机构分布图

4. 眼动追踪技术在教学领域研究的关键词图谱分析

从关键词共现频次和中心性、以及突变词的词频变化趋势来判断眼动追踪技术在教学领域研究的热点与前沿。

首先,在国内外眼动追踪技术在教学领域研究前十名高频关键词(见表1)统计中发现,眼动、眼动追踪作为研究的主题,出现的频次和中心性最大。在国内,研究者重点主要放在用眼动追踪技术来进行学习效果和教材的分析。而对于国外来说,“视觉注意(visual attention)”“认知表现(performance)”也是研究的主要对象。由此可以看出,虽然眼动追踪技术是主要记录学习者视觉感知过程的仪器,但隐藏在视觉感知之上的认知表现是更受关注的重点。

其次,从表1可以看出,国内“学习效果”这一关键词出现的频次比较多,说明是国内眼动研究的一个重点。仔细分析相关的文献,发现这可能是由于国内早期的研究运用眼动仪来记录学习者学习的阅读过程,从而对教材进行科学的设计,以达到更好的学习效果。相比于其他方法,眼动追踪技术可以在不打扰学生的学习行为的情况下,对学习者的学习效果进行分析,因此受到教育者的广泛关注。在这一方面,国内积累了丰富的经验。在阅读时,人眼的运动包括两种基本形式:注视和眼动。注视是指眼球的相对静止,而眼跳是指从一个注视点移到另一个注视点的过程。目前,运用到的眼动指标主要包含阅读时眼睛何时移动(诸如:首次注视时间、回视时间等)和移动的位置(诸如眼跳距离、注视次数等)这两类[7]。在实验过程中需要根据具体的实验目的,选取不同的眼动指标。在此基础上研究不同的教材设计对学习者的学习效果的影响。

此外在国外研究的前十位关键词中,“注意(attention)”和“视觉注意(visual attention)”出现的频次也很高。这是因为在教学领域,比较专家和新手差异的研究可以为初学者提供有价值的帮助。因此,比较专家和新手在视觉注意方面的感知差异,是早期的热门话题。研究表明,与新手相比,专家在执行任务时,眼球运动较少并且更系统化,表现为对重要的学习内容更长的注视时间和更多的注视次数[8]。而初学者通过训练,可以逐渐拥有类似专家的视觉感知能力。综合这些高频关键词来看,眼动追踪技术主要应用在教学方面的视力和学习效果方面。

Table 1. Top ten keywords of eye tracking technology in teaching field at home and abroad
表 1. 国内外眼动追踪技术在教学领域研究前十名关键词

国内				国外			
序号	频次	中心性	关键词	序号	频次	中心性	关键词
1	65	0.15	眼动实验	1	142	0.50	eye movement
2	64	0.35	眼动	2	78	0.15	movement
3	39	0.13	学习效果	3	56	0.05	eye tracking
4	29	0.08	教学视频	4	47	0.13	attention
5	24	0.00	师范生	5	41	0.08	information
6	23	0.00	教材分析	6	38	0.09	performance
7	21	0.10	认知负荷	7	36	0.05	comprehension
8	18	0.15	眼动追踪	8	33	0.14	children
9	15	0.06	眼动研究	9	32	0.08	perception
10	10	0.02	学习分析	10	24	0.06	visual attention

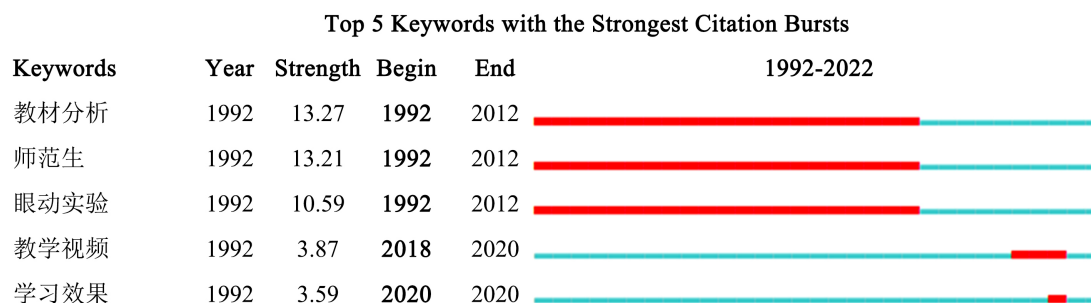


Figure 5. Keyword mutation network of eye tracking technology in teaching field
图 5. 眼动追踪技术在教学领域国内研究的关键词突变网络图

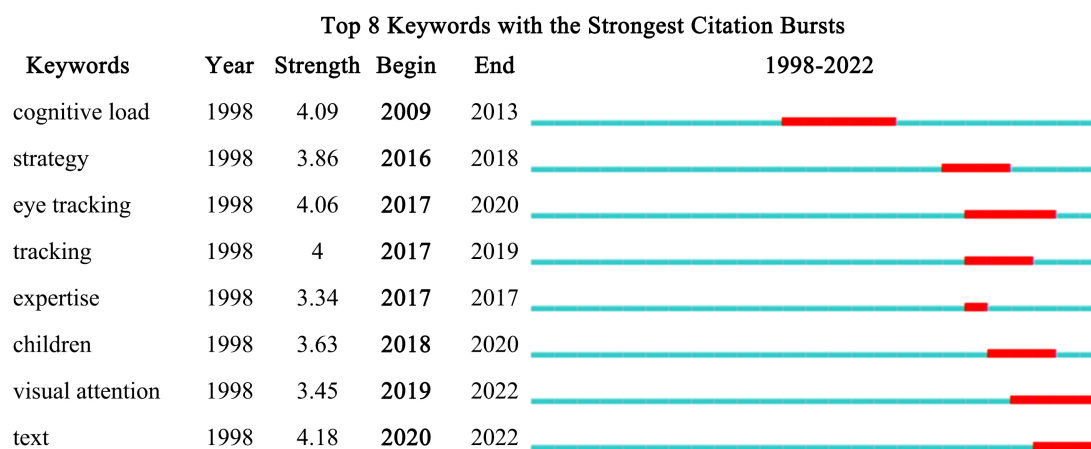


Figure 6. Keyword mutation network diagram of foreign research on eye tracking technology in teaching field
图 6. 眼动追踪技术在教学领域国外研究的关键词突变网络图

从关键词突变网络上来看，“教材分析”、“师范生”和“眼动实验”突变起始于1992年(见图5)，并且突变值最大，延续的时间长达20年。说明眼动追踪技术在教学领域主要集中于教材分析。相比于国外，国内在这一方面的研究开始的更早并且研究的年限更长。而2018年以后，国内的研究重点开始往教学视频迁移。这可能与大型开放在线课程(MOOC)的普及相关。2014年5月8日，MOOC平台正式开通，带来大量的教学视频出现了。因此研究的主题材料就可能从文本材料转向视频材料。相较于国内，国外的研究热点都比较比较晚才出现(见图6)。首先出现的是对于教学过程中认知负荷的研究。认知负荷是指学习者在学习过程中加在认知系统上的负荷。早先使用的测量方法包括主观(例如，自我报告)和客观(例如，生理指标)。相比于此，眼动追踪技术的无干扰性对于认知负荷的测量，以及可以大幅度降低学习者的认知负荷的教学设计大有帮助[9]。而2017年后，多个不同的热点出现，这说明在国外眼动追踪技术在教学领域的现象已经十分普遍。可以预见，国外对于文本学习的视觉研究可能成为未来研究的热点。

5. 眼动追踪技术在教学领域研究的聚类分析

在CiteSpace中，应用LLR(log-likelihood ratio)算法进行聚类分析，绘制出国内外眼动追踪技术在教学领域研究的时间线视图，探究眼动追踪技术在教学领域未来的研究趋势。

从图3和图7可以看出，未来国内眼动追踪技术在教学领域的研究主要呈现以下趋势。第一，研究的方向越来越广泛，早期的研究主要集中在教材分析。而现在研究的热点越来越多，呈现多样化和科技化。第二，越发重视眼动追踪技术在真实课堂教学上的表现。以往大多数的研究地点主要集中在实验室环

境，而随着研究的进一步深入，对于眼动追踪技术在真实课堂学习环境的应用也愈发重视起来。第三，聚类 6 的关键词来看，科技的发展给教学带来更多手段和方式，智能教学系统的出现也使得个性化教学成为可能，因此如何结合现有的眼动追踪技术和其他高科技教学产物，从而创造更好的教学效果是未来的重要研究方向之一[10]。第四，研究细致化趋势明显。这包括两个方面：一个是研究对象的细化。对于不同年龄段的学习者有着不同的认知特点，因而也会有不同的眼动特征，因此接下来，进一步细化不同年龄段的眼动特征，从而有针对性的教学成为未来研究的方向。另一个方面是学科的细致化。对于学科的不同，需要注意的重点内容不同，因此有必要有效结合眼动追踪技术分析学科特点。

从图 4 和图 8，可以看出，未来国外眼动追踪技术在教学领域的研究将主要呈现以下趋势。第一，有关于多媒体学习的研究将更加深入。从聚类 0 可以看出，聚类内部关键词的分布比较均匀，说明国外一直在关注多媒体学习。现如今，多媒体技术是课堂教学广泛应用的技术之一。在研究多媒体的各种方法中，作为认知科学研究方法的眼动追踪技术正在逐渐得到研究者们的关注。与传统的行为实验方法相比，眼动追踪技术更具技术和方法上的优势，它能够追踪个体眼睛注视的轨迹，重现眼睛注视的具体情况，进而反映注视过程中个体的基本认知加工活动。近年来，眼动仪智能化程度不断提高，眼动追踪技术在多媒体学习研究领域中的应用程度也随之提高，相继出现了基于眼动的教学理念。这种理念是基于眼动技术得到的数据来分析学习过程中个体的思维，从而达到探索学习过程的目的[11]。因此，研究者将会继续利用眼动追踪技术来探索多媒体学习。

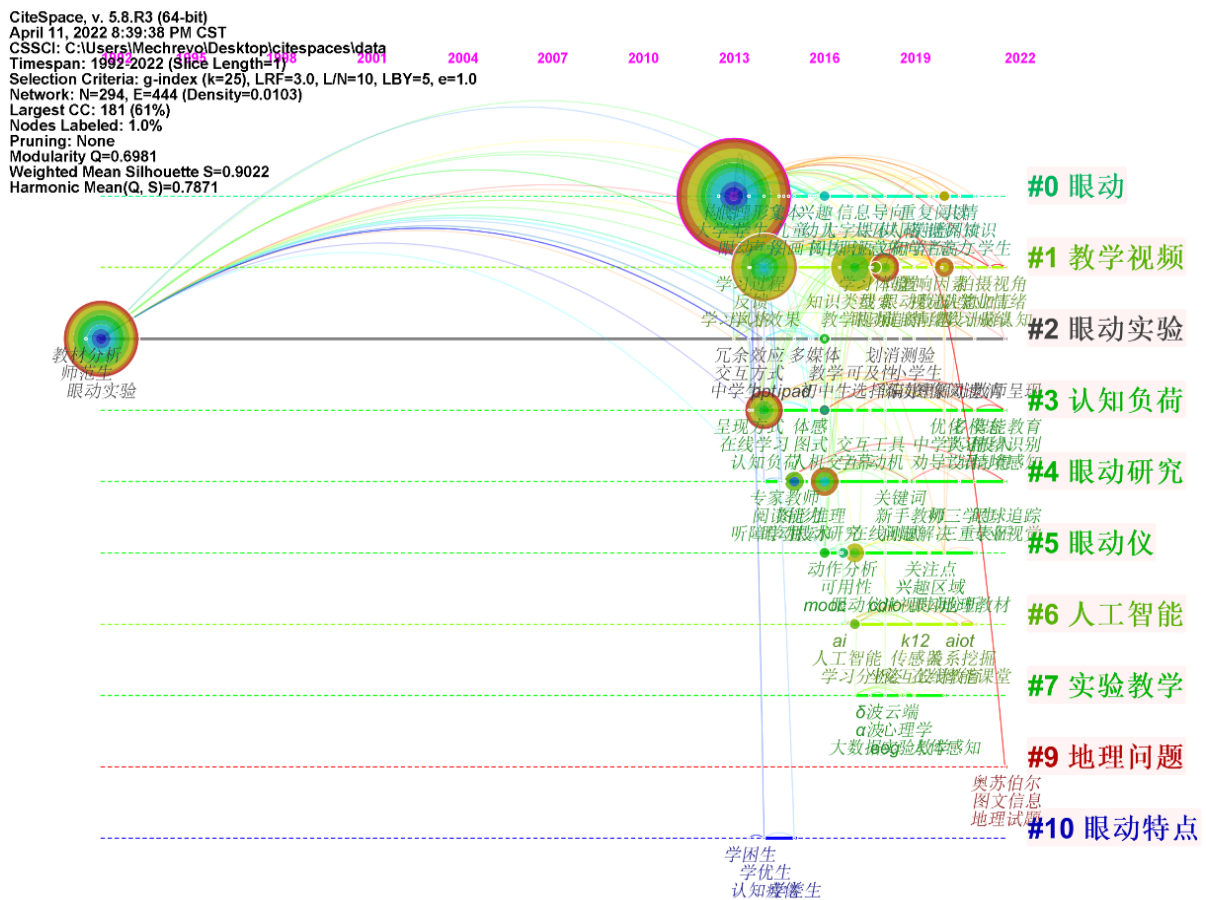


Figure 7. Keyword clustering timeline map of eye tracking technology in teaching field
图 7. 眼动追踪技术在教学领域国内研究的关键词聚类时间线图

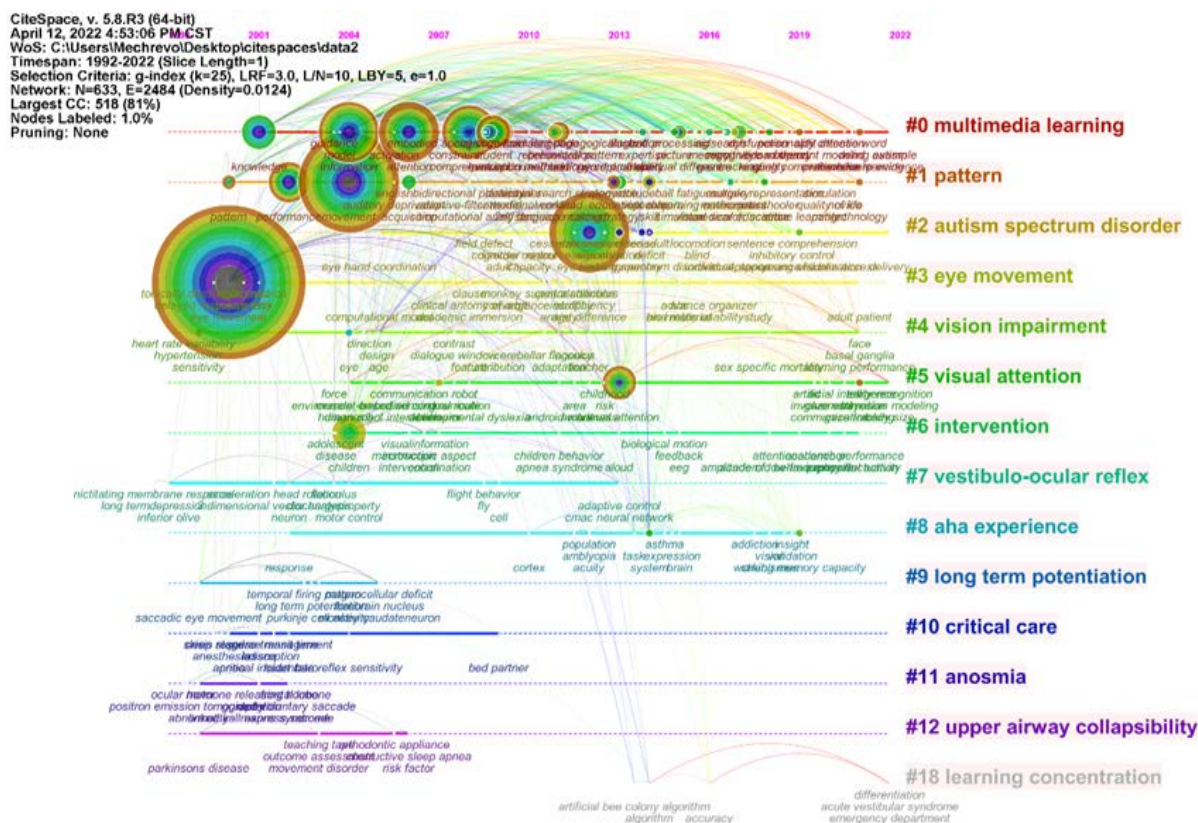


Figure 8. Keyword clustering timeline map of eye tracking technology in teaching field abroad
图 8. 眼动追踪技术在教学领域国外研究的关键词聚类时间线图

第二，重视少数个体。从聚类 2、10 和 11 的内部关键词可以看出，国外研究者积极应用眼动追踪技术探索诸如自闭症、运动障碍等疾病等早期眼动特征，以期能够做到早发现早治疗的效果。例如，大量研究表明，自闭症谱系障碍的患者缺乏辨认面部表情的能力，从而准确识别他人的情绪和心境，表现为对面孔的觉察时间更长、加工时间更短。这可能是因为该类的患者过多注意局部信息，因此影响了对整体背景的感知所导致的[12]。因此未来的研究可能会继续探索一些特殊疾病患者的眼动特征，关注到少部分特殊的学习者，已做到及早的识别与干预。

6. 总结

本文在对国内外眼动追踪技术在教学领域的研究进行梳理、总结和归纳的基础上，采用 CiteSpace 软件，对中国知网和 Web Of Science 核心数据库收录的文献分析，旨在探索眼动追踪技术在教学领域研究热点及未来方向。

从时空图谱来看，国内外关于眼动追踪技术在教学领域的相关研究已经开展了三十年左右，高校是该领域的主要力量。相比于国外机构之间的普遍合作，国内的研究比较分散，研究方向也相对比较单一。国内外的研究热点有相互重叠的部分，但侧重点有所不同。国内外研究虽然都是以视觉注意力着手，但最终的导向不同。国内研究更加注重视觉注意力背后的认知表现，关注的重点更多是如何利用眼动追踪技术来促进学习效果。因此主要的研究方向就集中在如何更加科学地设计教材和教学视频，如何有效地降低学习者学习过程的认知负荷。而国外的研究开展的时间比较晚，但研究方向更广。从眼动追踪所直接代表的视觉注意力入手，关注新手和专家的视觉差异，从而更好地指导新手进行视觉分配以及特殊学

习群体的眼动特征，以期早识别早预防。近年来才转向学习效果分析的部分。

经过近三十年的不断探索，眼动追踪技术在教学领域的相关研究逐渐从理论探讨迈入实践，研究方向逐渐扩大化、分类化与细致化。具体表现为研究地点从实验室移到真实课堂环境、研究材料从文本转到视频甚至是虚拟现实，研究的年龄段更加细化，学科特点更加明显。标志着眼动追踪技术已经走进日常学习环境中。可以预见，未来的眼动追踪技术在教学领域会有更多应用的空间。

参考文献

- [1] Njeru, A.M. and Paracha, S. (2017) Learning Analytics: Supporting At-Risk Student through Eye-Tracking and a Robust Intelligent Tutoring System. 2017 *International Conference on Applied System Innovation (ICASI)*, Sapporo, 13-17 May 2017, 1002-1005. <https://doi.org/10.1109/ICASI.2017.7988616>
- [2] Just, M.A. and Carpenter, P.A. (1980) A Theory of Reading: from Eye Fixations to Comprehension. *Psychological Review*, **87**, 329. <https://doi.org/10.1037/0033-295X.87.4.329>
- [3] Neuman, S.B., Samudra, P., Wong, K.M., et al. (2020) Scaffolding Attention and Partial Word Learning through Interactive Coviewing of Educational Media: An Eye-Tracking Study with Low-Income Preschoolers. *Journal of Educational Psychology*, **112**, 1100. <https://doi.org/10.1037/edu0000428>
- [4] Sulaiman, N.A., Salehuddin, K. and Khairuddin, R. (2020) Reading English Academic Texts: Evidence from ESL Undergraduates' Eye Movement Data. *3L: Southeast Asian Journal of English Language Studies*, **26**, 60. <https://doi.org/10.17576/3L-2020-2601-05>
- [5] Faiella, F., Mannese, E., Savarese, G., et al. (2019) Eye-Tracking Glasses for Improving Teacher Education: The E-Teach Project. *Research on Education and Media*, **11**, 85-92. <https://doi.org/10.2478/rem-2019-0012>
- [6] Lai, M.L., Tsai, M.J., Yang, F.Y., et al. (2013) A Review of Using Eye-Tracking Technology in Exploring Learning from 2000 to 2012. *Educational Research Review*, **10**, 90-115. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2013.10.001>
- [7] 闫国利, 熊建萍, 臧传丽, 等. 阅读研究中的主要眼动指标评述[J]. 心理科学进展, 2013, 21(4): 589.
- [8] Spitz, J., Put, K., Wagemans, J., et al. (2016) Visual Search Behaviors of Association Football Referees during Assessment of Foul Play Situations. *Cognitive Research: Principles and Implications*, **1**, 1-11. <https://doi.org/10.1186/s41235-016-0013-8>
- [9] 张琪, 武法提. 学习分析中的生物数据表征——眼动与多模态技术应用前瞻[J]. 电化教育研究, 2016, 37(9): 76-81.
- [10] 陈凯泉, 沙俊宏, 何瑶, 等. 人工智能 2.0 重塑学习的技术路径与实践探索——兼论智能教学系统的功能升级[J]. 远程教育杂志, 2017, 35(5): 40-53.
- [11] 郑玉玮, 王亚兰, 崔磊. 眼动追踪技术在多媒体学习中的应用: 2005-2015 年相关研究的综述[J]. 电化教育研究, 2016, 37(4): 68-76.
- [12] 陈顺森, 白学军, 沈德立, 等. 7~10 岁自闭症谱系障碍儿童对情绪面孔的觉察与加工[J]. 心理发展与教育, 2011, 27(5): 449-458.