

基于医疗大数据的全球干眼研究热点及趋势可视化分析

何绪琦,张 怡,翟耀华,朱子芊,杨怡然,任胜卫

引用:何绪琦,张怡,翟耀华,等. 基于医疗大数据的全球干眼研究热点及趋势可视化分析. 国际眼科杂志, 2026, 26 (2): 228-236.

基金项目:河南省医学科技攻关计划联合共建项目 (No. LHGJ20220096)

作者单位:(450000) 中国河南省郑州市,河南省人民医院 河南省眼科研究所 河南省立眼科医院 郑州大学人民医院

作者简介:何绪琦,硕士,主管护师,研究方向:干眼。

通讯作者:任胜卫,博士,主任医师,角膜及眼表病中心主任,研究方向:干眼、圆锥角膜、屈光不正. shengweiren1984@163.com

收稿日期: 2025-08-23 修回日期: 2025-12-24

摘要

目的:分析全球干眼的研究现状、研究热点及趋势,以期为干眼领域相关研究者提供理论依据及参考,促进该领域的进一步发展。

方法:检索中国知网(CNKI)数据库、万方医学数据库、维普数据库、Web of Science 核心合集数据库、PubMed 数据库自建库至 2025-07-10 已发表的干眼相关文献,并通过 CiteSpace 6.2.R3 和 VOSviewer 软件对国家/发文机构、研究作者、高频关键词为分析节点进行可视化分析。

结果:目前全球干眼的相关研究已形成各个国家相应的科研团体,发文量位于前 3 位的国家分别为美国(3 956 篇)、中国(2 255 篇)、日本(1 053 篇);全球研究机构发文量最多的是日本的庆应义塾大学(395 篇),其次是美国的哈佛大学(243 篇)、哈佛医学院(242 篇);国内发文量位于前 3 位的研究机构分别为首都医科大学附属北京同仁医院(83 篇)、中山大学中山眼科中心(67 篇)、南昌大学第一附属医院(63 篇)。中英文高频关键词及爆点关键词分析结果显示:人工智能、强脉冲光治疗、干眼动物疾病模型、病理机制及药物递送为研究热点。

结论:全球干眼临床研究以人工智能诊断技术及强脉冲光治疗为研究热点及趋势;基础研究以干眼动物模型、氧化应激等病理机制及干眼新型药物研发为热点及趋势。

关键词:干眼;角结膜干燥症;研究热点;可视化分析;CiteSpace;VOSviewer

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2026.2.07

Bibliometric and visual analysis of global research hotspots and emerging trends in dry eye based on medical big data

He Xuqi, Zhang Yi, Zhai Yaohua, Zhu Ziqian, Yang Yiran, Ren Shengwei

Foundation item: Joint Construction Project under Henan Provincial Medical Science and Technology Research Program (No.

LHGJ20220096)

Henan Provincial People's Hospital; Henan Eye Institute; Henan Eye Hospital; People's Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou 450000, Henan Province, China

Correspondence to: Ren Shengwei. Henan Provincial People's Hospital; Henan Eye Institute; Henan Eye Hospital; People's Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou 450000, Henan Province, China. shengweiren1984@163.com

Received:2025-08-23 Accepted:2025-12-24

Abstract

• **AIM:** To analyze the global research status, hotspots, and trends in the field of dry eye disease (DED), aiming to provide a theoretical basis and reference for researchers and to promote further development in this field.

• **METHODS:** A comprehensive literature search was conducted across the China National Knowledge Infrastructure (CNKI), Wanfang Medical Database, VIP Database, Web of Science Core Collection and PubMed for publications on DED up to July 10, 2025. CiteSpace 6.2.R3 and VOSviewer software were used to perform bibliometric and visualization analyses, focusing on countries/institutions, contributing authors, and high-frequency keywords.

• **RESULTS:** Global research on DED has led to the formation of established scientific communities across various countries. The top three countries in terms of publication volume are the United States (3 956 articles), China (2 255 articles), and Japan (1 053 articles). Among research institutions worldwide, Keio University in Japan ranked first with 395 publications, followed by Harvard University (243 articles) and Harvard Medical School (242 articles) in the United States. In China, the leading institutions are Beijing Tongren Hospital, Capital Medical University (83 articles), Zhongshan Ophthalmic Center, Sun Yat-sen University (67 articles), and the First Affiliated Hospital of Nanchang University (63 articles). Analysis of high-frequency and emerging keywords in both Chinese and English literature identified research hotspots, including artificial intelligence, intense pulsed light (IPL) therapy, animal models of DED, pathophysiological mechanisms, and drug delivery systems.

• **CONCLUSION:** In global DED research, clinical studies are increasingly focused on diagnostic applications of artificial intelligence and therapeutic strategies such as IPL therapy. Basic research trends emphasize pathophysiological mechanisms including oxidative stress and the development of novel pharmacological therapies based on animal models of dry eye disease.

• KEYWORDS: dry eye disease; keratoconjunctivitis sicca; research hotspots; visual analysis; CiteSpace; VOSviewer

Citation: He XQ, Zhang Y, Zhai YH, et al. Bibliometric and visual analysis of global research hotspots and emerging trends in dry eye based on medical big data. Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci), 2026,26(2):228-236.

0 引言

干眼(dry eye disease, DED)是一种多因素眼表疾病,主要表现为泪膜稳定性破坏与高渗状态、眼表炎症与组织损伤以及神经感觉异常,严重影响患者的生活质量^[1]。随着现代生活方式的改变和电子设备的普及,干眼的发病率逐年上升,已成为全球范围内备受关注的 eye 健康问题。据流行病学研究显示,干眼的患病率在不同人群中可达 5%-50%^[2],其高发病率及慢性化趋势对医疗资源和社会经济造成了显著负担。

随着医学科学的快速发展与知识爆炸式增长,研究者面临海量文献筛选与知识整合的挑战。文献计量分析是一种新兴技术,该技术通过从电子数据库获取文献数据,借助专业软件计算分析后可生成多项量化指标,对文献资料进行系统性分类和量化评估^[3]。目前这类分析方法在医学文献领域日益受到认可。通过文献计量学软件(如 CiteSpace 和 VOSviewer)对全球干眼研究进行系统性分析,不仅能够揭示干眼领域研究热点和趋势,还能为未来研究方向提供科学依据。然而,目前尚缺乏基于多数据库、跨语言(中英文)的全球干眼研究可视化分析。本研究基于文献计量学及可视化分析的方法对国内外已发表的干眼相关文献进行可视化分析,以深入了解该领域的研究现状、研究热点及未来的发展趋势,为后续干眼领域的相关研究提供理论依据和思路。

1 资料和方法

1.1 资料 中文数据来源于中国知网(CNKI)数据库、万方医学数据库(Wanfang)和维普数据库(VIP),以 TS=“干眼 or 干眼症 or 角结膜干燥症”为检索式进行高级检索,期刊论文来源类别选择北大核心、CSSCI 及 CSCD,排除的文献类型包括学位论文、资讯类、评论类、病例报告、会议、专利、报纸等。英文数据通过检索 Web of Science 及 PubMed

数据库获得,Web of Sciences 数据库检索策略为在数据库 Web of Science 核心合集中检索,子数据库选择 Science Citation Index Expanded (SCI - EXPANDED) 和 Social Sciences Citation Index (SSCI),检索式 TS=(“dry eye ” or “ dry eye disease ” or “ dry eye syndrome ” or “Keratoconjunctivitis sicca” or Xerophthalmia),类型选择文献(Article)及综述文献(Review Article),语种为英语。PubMed 数据库检索式 MeSH Terms=(“dry eye ” or “ dry eye disease ” or “ dry eye syndrome ” or “Keratoconjunctivitis sicca” or Xerophthalmia)。共检索到中文文献 5 097 篇,其中 CNKI 数据库 1 396 篇,万方医学数据库 2 280 篇,维普数据库 1 421 篇;英文文献 15 572 篇,其中 WOS 数据库 13 291 篇,PubMed 数据库 2 281 篇。最终计算机去重后获取中文文献 3 188 篇,英文文献 13 648 篇。文献检索时间范围均为建库至 2025-7-10,文献筛选流程见图 1。

1.2 方法 将中国知网数据库、万方医学数据库、维普数据库符合纳排标准的中文文献导入 NoteExpress 软件去重,再以 Refwork 格式导出,保存为 download _ .txt 格式导入 CiteSpace 6.2.R3 及 VOSviewer 软件,WOS 和 PubMed 数据库所得数据无需转化格式,Endnote 软件去重后直接导入 CiteSpace 6.2.R3 及 VOSviewer 软件,依次以作者、机构、国家、关键词等为分析节点进行可视化分析。CiteSpace 6.2.R3 软件时间跨度设置至 2025 年,时间切片(Years Per Slice)设置为 1,图谱制订选择 pathfinder、pruning the merged network、pruning the merged networks。VOSviewer 软件分析类型依次选择 co-authorship、co-occurrence,计算方法选择 full-counting。图谱中节点大小代表关键词或主题出现的次数,节点越大说明关键词或主题出现的次数越多,越能代表研究热点,节点间的连线粗细代表每个关键词或主题的联系程度,连线越粗代表关键词或主题间联系越紧密。

2 结果

2.1 全球干眼相关文献发文量分析 利用 EXCEL 绘制全球干眼相关研究发文趋势图,见图 2。英文发文量高于中文,1980-2014 年发文量在 30-80 篇/年,2015 年后年发文量陡增,于 2025 年达到顶峰(1 434 篇)。中文首篇关于干眼的文献于 1953 年发表,2000 年前关于干眼的发文量较

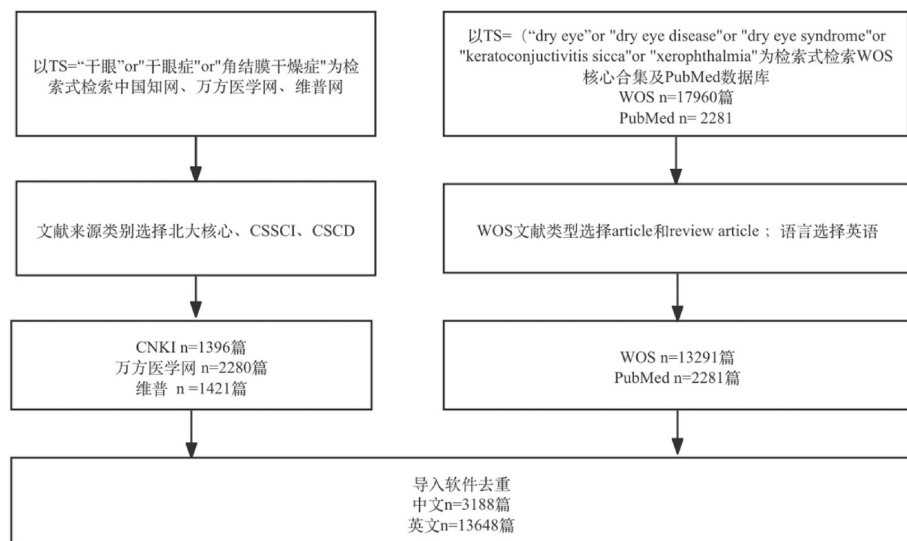


图 1 中英文数据库文献筛选流程图。

少,在个位数以下;2000–2007 年发文量缓慢增长,2008 年后增长速度加快,2024 年发文量最多(553 篇)。总体来说,学者们对干眼的研究越来越深入,干眼研究领域的文献量呈稳定增长的态势。

2.2 国家及发文机构研究图谱分析 为了解哪些国家对干眼领域的贡献最为突出,绘制全球已发表干眼相关研究国家聚类知识图谱,节点类型选择 Countries,计算方法选择“Full counting”,国家最低文献数量阈值设为“10”,共获得 74 个节点,1 096 条连线。各个国家之间形成了分别以美国、西班牙、中国、英国、巴西等为代表的 7 大聚类团体,干眼领域发文国家分布较为均匀,且各国有一定的合作,见图 3。126 个国家中,发文量在 5 篇及以上的国家有 76 个,发文量位于前 5 的国家分别为美国(3 956 篇)、中国(2 255 篇)、日本(1 053 篇)、意大利(798 篇)、英国(758 篇),见表 1。美国的发文量及被引次数相比其他国家有明显的优势,可见其雄厚的科研实力及较高的科研投入。中国发文量排第二,但被引次数与日本相近。全球研究机构发文量最高为日本的庆应义塾大学(395 篇),其次是美

国的哈佛大学(243 篇)、哈佛医学院(242 篇)、贝勒医学院(235 篇)、迈阿密大学(232 篇)以及中国的温州医科大学(188 篇),见图 4A。国内发文机构合作图谱见图 4B,国内发文量位于前 3 位的研究机构分别是首都医科大学附属北京同仁医院(83 篇)、中山大学中山眼科中心(67 篇)、南昌大学第一附属医院(63 篇),见表 2。

2.3 研究作者合作图谱分析 利用 VOSviewer 软件绘制全球干眼领域作者合作图谱,节点类型选择 Authors,计算方法选择“Full counting”,全球研究作者最低文献数量阈值设为“30”,共获得 106 个节点,11 个集群,784 条连线。全球干眼领域作者发文量排名前 5 位的作者分别是日本 Tsubota,kazuo(275 篇),美国迈阿密大学的 Galor anat(138 篇),贝勒医学院的 Pflugfelder,stephen c.(137 篇),法国 Baudouin, chhristophe(120 篇),美国哈佛大学医学院的 Dogru,murat(110 篇),见图 5A。将国内研究作者最低文献数量阈值设为“5”,共获得 185 个节点,738 条连线(合作关系)。对研究作者合作网络进行聚类分析,185 个作者形成了包括以刘祖国教授的第一聚类团体,邵毅为主

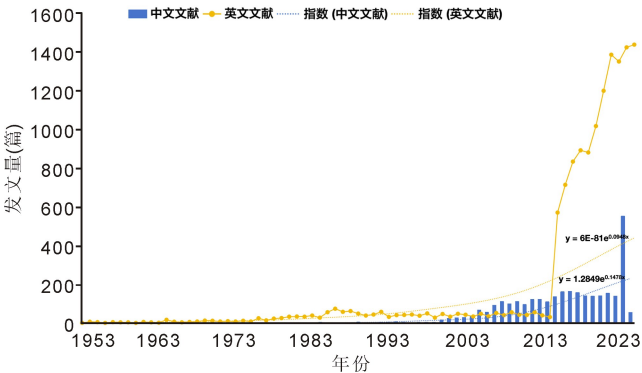


图 2 全球干眼相关研究发文量。

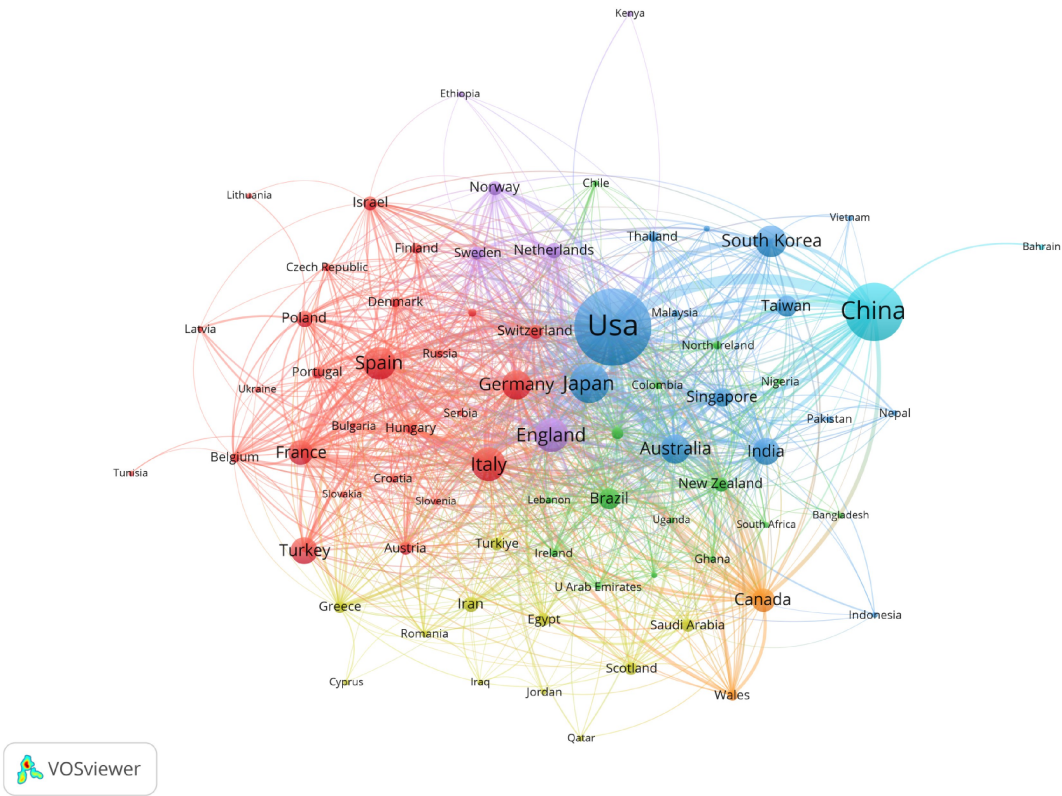


图 3 全球干眼文献发表国家聚类知识图谱。

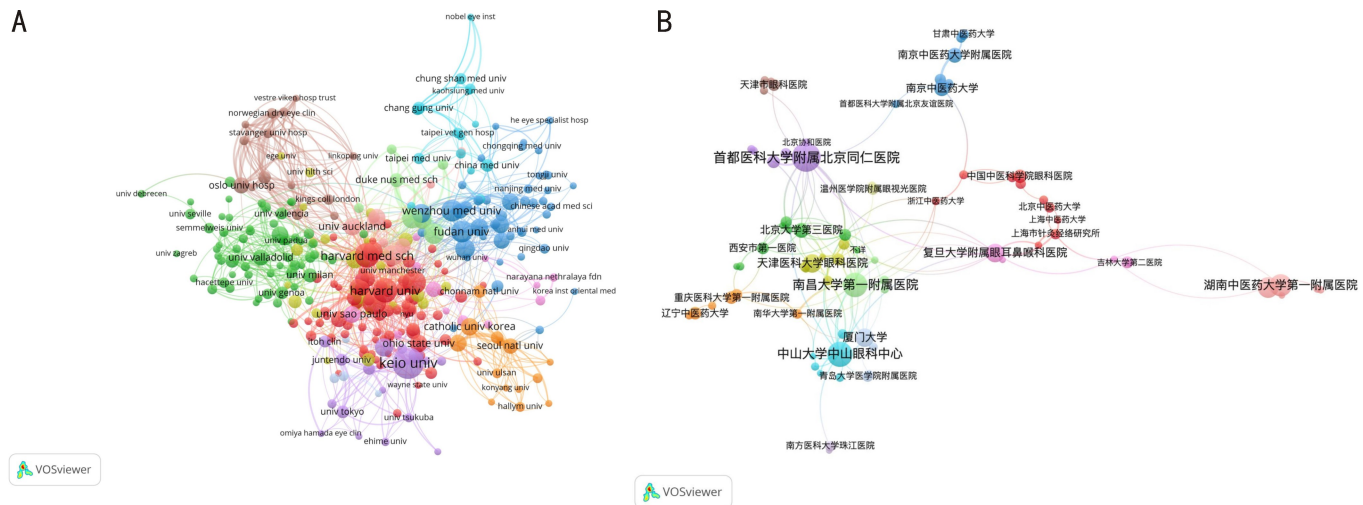


图 4 发文机构研究图谱分析 A:国外发文机构合作图谱; B:国内发文机构合作图谱。

表 1 全球干眼研究发文量居前 10 位的国家和机构						
排名	国家			机构		
	国家	发文量(篇)	被引次数	机构	发文量(篇)	被引次数
1	美国	3 956	181 861	Keio University(庆应义塾大学)	395	24 610
2	中国	2 255	45 113	Harvard University(哈佛大学)	243	21 652
3	日本	1 053	45 614	Harvard Medical School(哈佛医学院)	242	8 805
4	意大利	798	28 420	Baylor College of Medicine(贝勒医学院)	235	14 294
5	英国	758	40 831	University Miami(迈阿密大学)	232	10 721
6	西班牙	753	29 845	Wenzhou Medical University(温州医科大学)	188	3 712
7	韩国	703	22 755	Fudan University(复旦大学)	188	5 205
8	德国	601	28 238	University of Waterloo(滑铁卢大学)	181	11 271
9	澳大利亚	565	25 387	Singapore National Eye Centre(新加坡国家眼科中心)	172	7 975
10	印度	507	9 718	Singapore Eye Research Institute(新加坡眼科研究所)	166	5 585

表 2 国内干眼研究发文量居前 10 位的主要研究机构		
排名	研究机构	发文量(篇)
1	首都医科大学附属北京同仁医院	83
2	中山大学中山眼科中心	67
3	南昌大学第一附属医院	63
4	湖南中医药大学第一附属医院	48
5	湖南中医药大学	42
6	南京中医药大学	37
7	天津医科大学眼科医院	34
8	复旦大学附属眼耳鼻喉医院	33
9	厦门大学	31
10	南京中医药大学附属医院	25

的第二聚类团体,彭清华为主的第三聚类团体,及赵少贞、梁庆丰、陈蔚、高卫萍、魏瑞华、铍留河等 14 个集群,其中影响力较大的是刘祖国、邵毅和彭清华聚类团体,见图 5B。上述研究结果显示,我国干眼相关研究领域已形成科研团体,团体间合作交流较多。

2.4 高频关键词共现分析

2.4.1 国内研究高频关键词共现分析 使用 VOS viewer 软件对中国知网、万方医学、维普数据库所得数据进行关键词分析,节点类型选择“keywords”,计算方法选择“full counting”,关键词的最低文献阈值数量设置为“10”,共获

得 153 个节点,高频中文关键词共形成 5 大聚类主题,见图 6B,主要集中在以下几方面:(1)干眼炎症病理机制相关热点研究,如细胞凋亡、动物模型、角膜上皮细胞、角膜神经、电针疗法等;(2)干眼流行病学与危险因素的研究,如儿童干眼、接触镜配戴、近视等;(3)糖尿病、白内障、青光眼对泪膜稳定性、视觉质量影响等热点研究;(4)干燥综合征相关干眼的热点研究,如颌下腺移植;(5)针对干眼的中西医治疗疗效观察的相关热点研究,如针刺疗法、超声雾化等。

2.4.2 国外研究高频关键词共现分析 使用 VOS viewer 软

件对 web of science 数据库所得数据进行关键词分析,节点类型选择“keywords”,计算方法选择“full counting”,关键词的最低文献阈值数量设置为“50”,共获得 265 个节点,形成 6 大聚类主题,见图 7B,主要集中在以下几方面:
(1) 流行病学相关热点研究,如危险因素、横断面研究、生活质量、视频终端综合征、接触镜、近视激光手术等;(2) 炎症相关热点研究,如生物标记物、氧化应激、角膜上皮、

免疫、基因表达、细胞凋亡等;(3) 睑板腺功能障碍相关热点研究,如泪膜稳定性、睑板腺形态、脂质层厚度、强脉冲光治疗、睑缘炎等研究;(4) 药物相关热点研究,如环孢素 A、苯扎氯铵等;(5) 动物模型相关研究,如疾病模型、鼠 inbred C57BL、真实时间聚合酶链反应、泪液/代谢、眼用溶液、流式细胞学相关热点研究;(6) 干燥综合征相关干眼研究。

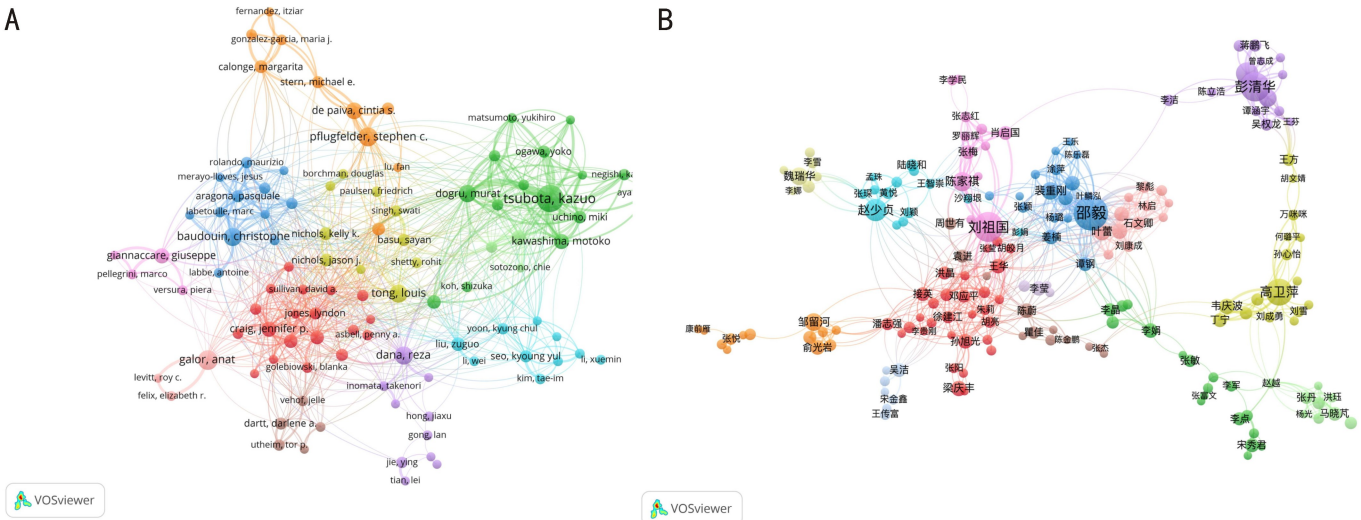


图 5 作者合作图谱 A:全球干眼领域作者合作图谱;B:国内干眼领域作者合作图谱。

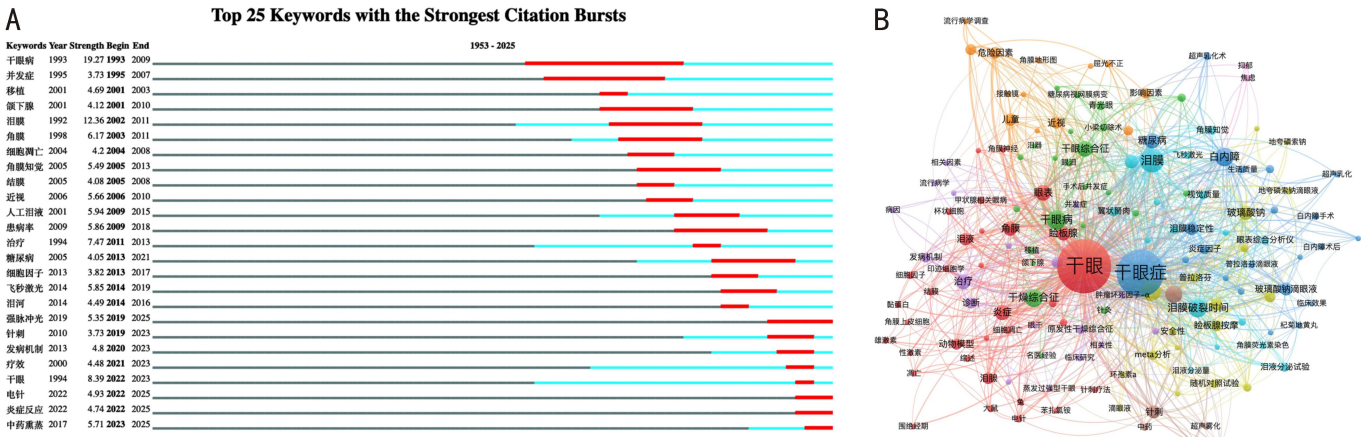


图 6 中文关键词分析图谱 A:前 25 位中文爆点关键词分析图谱;B:中文高频关键词聚类分析图谱。

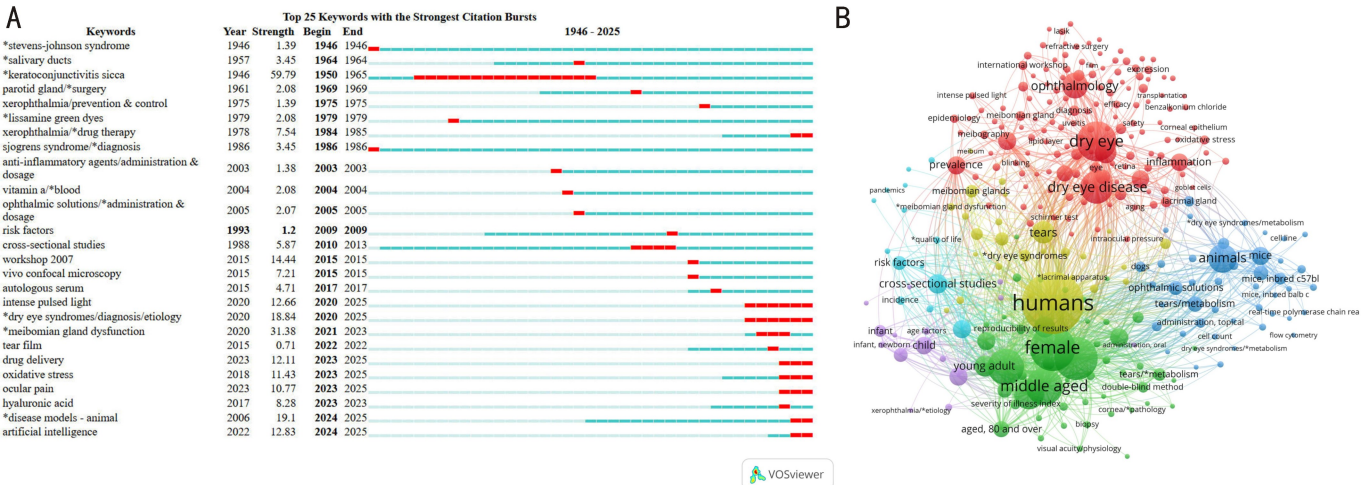


图 7 英文关键词分析图谱 A:前 25 位英文爆点关键词分析图;B:英文高频关键词聚类分析图谱。

2.5 爆点关键词分析 爆点关键词分析是通过突现词的关联强度进行排名来揭示分析某一关键词的兴衰变化趋势,红线代表关键词的兴起和衰落时间。强度位于前 5 位的中文高频关键词分别为“干眼病 (19.27)”“泪膜 (12.36)”“干眼(8.39)”“治疗(7.47)”及“角膜(6.17)”,中文高频关键词近几年集中在“强脉冲光”“电针”“炎症反应”及“中药熏蒸”等,见图 6A;强度位于前 5 位的英文高频关键词分别为“keratoconjunctivitis sicca (干燥性角结膜炎,59.79)”“meibomian gland dysfuction(睑板腺功能障碍,31.38)”“dry eye syndromes/diagnosis/etiology(干眼/诊断/病因,18.84)”“workshop 2007(2007 工作坊,14.44)”“artificial intelligence (人工智能,12.83)”。英文高频关键词近几年主要集中在“intense pulse light (强脉冲光)”“drug delivery (药物递送)”“oxidative stress(氧化应激)”“disease models – animal (疾病模型 – 动物)”及“artificial

intelligence(人工智能)”等,见图 7A,可见国际干眼研究热点从干燥性角结膜炎、干燥综合征向氧化应激、干眼药物递送、疾病动物模型等过渡。

2.6 高被引论文分析 2015–2025 年干眼领域被引次数前 10 的临床研究见表 3,被引次数前 10 的临床研究以观察强脉冲光治疗效果以及干眼药物临床试验为主,如 Wirta 等^[4]观察 OC-01 伐尼克兰鼻喷剂的有效性及其安全性,获得 74 次引用。2015–2025 年干眼领域被引次数前 10 的基础研究见表 4,主要以干眼炎症机制、抗炎抗氧化治疗、新型药物研发为研究热点,如 Li 等^[5]研究开发了基于胶束的滴眼液,可抑制炎症反应,修复角膜上皮缺损,改善杯状细胞功能障碍,促进泪液分泌,从而打破干眼恶性循环,获得 132 次引用。Yang 等^[6]研究开发了一种基于二氧化铈的纳米递送系统用于负载加巴喷丁,旨在全面缓解干眼症状,获得 86 次引用。当前干眼研究领域呈现出“双向突

表 3 2015–2025 年干眼领域被引次数前 10 的临床研究

文章题目	年份	被引次数
Dry eye disease after refractive surgery comparative outcomes of small incision lenticule extraction versus LASIK	2015	218
Ocular manifestations and clinical characteristics of 535 cases of COVID-19 in Wuhan, China; a cross-sectional study	2020	215
Intense pulsed light treatment for dry eye disease due to meibomian gland dysfunction; a 3-year retrospective study	2015	212
Prospective trial of intense pulsed light for the treatment of meibomian gland dysfunction	2015	191
n-3 fatty acid supplementation for the treatment of dry eye disease	2018	187
Lifitegrast for the treatment of dry eye disease results of a phase III, randomized, double-masked, placebo-controlled trial (OPUS-3)	2017	161
Efficacy and safety of 0.1% cyclosporine A cationic emulsion in the treatment of severe dry eye disease; a multicenter randomized trial	2016	137
Repeatability and reproducibility of noninvasive keratograph 5M measurements in patients with dry eye disease	2016	137
Therapeutic efficacy of intense pulsed light in patients with refractory meibomian gland dysfunction	2019	126
Efficacy and safety of OC-01 (varenicline solution) nasal spray on signs and symptoms of dry eye disease the ONSET-2 phase 3 randomized trial	2022	74

表 4 2015–2025 年干眼领域被引次数前 10 的基础研究

文章题目	年份	被引次数
Analysis of cytokine levels in tears and clinical correlations after intense pulsed light treating meibomian gland dysfunction	2017	143
Matrix metallo proteinase 9 testing in dry eye disease using a commercially available point-of-care immunoassay	2016	138
Corneal epithelial immune dendritic cell alterations in subtypes of dry eye disease; a pilot in vivo confocal microscopic study	2015	134
Anti-oxidative and anti-inflammatory micelles: break the dry eye vicious cycle	2022	132
Reactive oxygen species activated NLRP3 inflammasomes initiate inflammation in hyperosmolarity stressed human corneal epithelial cells and environment-induced dry eye patients	2015	129
Paper-based microfluidic system for tear electrolyte analysis	2017	117
Poloxamer 407/TPGS mixed micelles as promising carriers for cyclosporine ocular delivery	2018	114
miR-204-containing exosomes ameliorate GVHD-associated dry eye disease	2022	122
Unveiling the power of gabapentin-loaded nanoceria with multiple therapeutic capabilities for the treatment of dry eye disease	2023	86
Alleviation of dry eye syndrome with one dose of antioxidant, anti-inflammatory, and mucoadhesive lysine-carbonized nanogels	2022	75

破”特征:在临床研究层面,研究者正从传统的眼部用药转向神经反射调节(如鼻喷雾剂)等创新方法;在基础研究层面,则聚焦于打破氧化应激与炎症的恶性循环,推动治疗策略从对症处理向对因治疗转变。

3 讨论

本研究基于文献计量学方法,借助 Citespace 及 VOSviewer 等软件对全球已发表的关于干眼的相关文献进行可视化分析,并以共现图谱的形式呈现,以了解干眼的研究现状、研究热点及趋势。本研究结果显示,目前全球干眼相关研究领域已形成各个国家相应的科研团体,国内形成了以“刘祖国”“邵毅”“彭清华”“赵少贞”“梁庆丰”“陈蔚”“高卫萍”等为主的科研聚类团体,各团体内部科研合作频繁,团体间合作较多,且与国外团体存在一定合作交流。

从发文量趋势来看,全球干眼研究经历了三个明显的发展阶段:缓慢探索期(2000 年以前)、稳步增长期(2000–2015 年)和快速发展期(2015 年至今)。缓慢探索期研究主题集中于干眼与全身免疫性疾病(如干燥综合征)的关联性,以及传统治疗方法的初步尝试(如颌下腺移植)。随着干眼诊断技术的标准化,稳步增长长期的研究重点转向干眼的流行病学和多元化治疗手段。2017 年国际泪膜与眼表学会(TFOS DEWS II)报告的发布成为重要转折点,干眼的定义和分类体系进一步完善,推动研究向分子机制和靶向治疗发展。本研究数据显示,2024 年全球干眼相关研究发文量达到 1 977 篇,创历史新高,反映出该领域的研究热度持续攀升。在国家/地区分布方面,美国以 3 956 篇的发文量位居全球首位,中国(2 255 篇)和日本(1 053 篇)分列二、三位。值得注意的是,虽然中国的发文量排名第二,但篇均被引次数明显低于美国,这可能与研究成果的创新性和国际影响力有关。这一发现提示我国学者在保持高产出的同时,需要更加注重研究质量的提升。

本研究中高频关键词共现分析和爆点关键词分析结果提示,目前干眼的研究热点及趋势主要集中在以下方面:

3.1 临床研究

3.1.1 干眼诊断技术创新 英文爆点关键词“干眼/诊断/病理(强度值 18.84)”“人工智能(强度值 12.83)”分别为 2020–2025 年、2024–2025 年研究热点。传统的睑板腺手动评估方法存在效率低、主观性强、大数据处理能力有限及缺乏定量分析工具等局限,使用人工智能对睑板腺图像分析比人工评估睑板腺丢失率更加客观、快速和精准,有助于 MGD 诊断和筛查^[7–8]。Graham 等^[9]应用人工智能技术解析睑板腺形态特征与个体因素、临床指标及干眼主观症状之间的关联性,发现基于机器学习提取的睑板腺形态特征对多种睑板腺功能障碍及相关干眼体征、症状与诊断具有重要预测价值。Graham 等^[10]通过人工智能技术分割模型量化分析年龄、性别、种族及隐形眼镜佩戴对睑板腺微观形态的影响;泪膜破裂时间检查是诊断干眼病的常用临床方法,然而,该检查存在主观性强、工作量大且耗时长等缺点。El Barche 等^[11]提出一种基于人工智能的自动化测量泪膜破裂时间方法,自动测算结果与人工标注的非干涉泪膜破裂时间值呈现强相关性,显示出人工智能技术在

量化非干涉泪膜破裂时间方面的潜力。

3.1.2 强脉冲光治疗 中英文爆点关键词“强脉冲光(强度值 5.35、12.66)”分别为 2019–2025、2020–2025 年研究热点。强脉冲光是治疗 MGD 的有效方法,但其标准化方案及精准疗效预测仍需更多高质量研究支持。Ahn 等^[12]比较睑板腺功能障碍的阶梯延伸治疗方案与按需治疗方案联合热敷的疗效差异,推荐重度患者采用阶梯延伸治疗方案以实现长期稳定控制。而 Lu 等^[13]评估增加强脉冲光治疗次数对中重度睑板腺功能障碍患者的临床获益,增加强脉冲光治疗次数可提高中重度 MGD 患者的治疗应答率,但未带来临床症状的额外改善。对常规治疗应答良好的患者无需追加治疗次数。Giannaccare 等^[14]比较低强度光疗法与强脉冲光治疗 MGD 的安全性及有效性。结果显示两种光疗法均有效,而低强度光疗法在改善主观症状和增加泪液容量方面更具优势。冉茂丹等^[15]探讨强脉冲光联合育阴润目方熏蒸及睑板腺按摩治疗 MGD 相关干眼的效果,结果显示三者联合除显著改善患者眼部指标、视觉质量、泪膜脂质层厚度,还降低泪液中肿瘤坏死因子- α 和转化生长因子- β 1 的水平。

3.2 基础研究

3.2.1 干眼动物模型研究 英文爆点关键词“疾病模型-动物(强度值 19.1)”为 2024–2025 年研究热点,可见目前应用动物建立干眼疾病模型成为干眼基础研究热点及趋势。干眼动物模型的研究内容广泛且深入,主要集中在以下核心内容:(1)建模方法研究。针对干眼治疗的新型分子及靶向疗法研发进展迅速,而可靠的实验动物模型对于测试和优化这些疗法至关重要。如 Mu 等^[16]建立一种通过气溶胶暴露颗粒物诱导的新型干眼大鼠模型,该模型为研究环境因素致干眼机制提供了新平台;(2)模型稳定性评估。如对比不同浓度苯扎氯铵诱导的干眼模型症状持续时间差异^[17];(3)药效评价。如 Wu 等^[18]通过干眼小鼠模型确认透明质酸修饰的氧化铈纳米颗粒的抗氧化与抗炎效果;Zhai 等^[19]探讨 0.05%–0.1% 浓度重组人胸腺素 β 4 滴眼液在苯扎氯铵诱导的小鼠干眼模型中促进眼表愈合的能力及其相关抗炎作用机制。

3.2.2 干眼病理机制研究 英文爆点关键词“干眼/诊断/病理(强度值 18.84)”为 2020–2025 年研究热点。(1) NLRP3 炎症小体。近年来研究发现干眼患者结膜上皮细胞中 NOD 样受体热蛋白结构域 3(NOD-like receptor pyrin domain containing 3, NLRP3)及相关蛋白的表达均显著增加^[20]。Li 等^[21]探讨冬凌草甲素对高渗诱导的人角膜上皮细胞 NLRP3/caspase-1/GSDMD 通路诱导的细胞焦亡通路的影响,及其在干眼小鼠模型中的治疗机制,揭示细胞焦亡(通过 NLRP3/caspase-1/GSDMD 通路)在驱动角膜上皮细胞炎症和凋亡中的核心作用,为干预提供新的靶点;Lian 等^[22]探讨机械敏感离子通道在高渗应激下激活角膜上皮细胞 NLRP3 炎症小体的功能作用,证实机械敏感离子通道是介导高渗应激激活 NLRP3 炎症小体的关键分子,为干眼病慢性炎症治疗提供了新的靶向策略;(2)氧化应激与活化氧(ROS)。英文关键词“氧化应激(强度值 11.43)”“活化氧/代谢(强度值 14.75)”分别为 2023–2025 年、2024–2025 年爆点关键词。氧化应激是干眼炎症循环的一个重要促成因素。环境因素和慢性炎症导致活

化氧的过度产生,活性氧对眼表细胞造成氧化损伤,进一步激活炎症途径。Chen 等^[23]通过建立氧化应激诱导的干眼症小鼠模型探讨绿原酸对睑板腺的保护作用及机制,研究发现绿原酸通过调控 AMPK/ULK1 信号通路相关蛋白的表达,从而缓解氧化应激损伤并抑制相关细胞死亡途径;(3)铁死亡。角膜上皮细胞的铁死亡是一种与氧化应激相关的细胞死亡方式,干眼患者泪膜渗透压升高,会导致角膜上皮细胞氧化应激增加,触发铁死亡。Zhang 等^[24]揭示自噬功能障碍在实验性干眼模型中诱导铁死亡的潜在机制,自噬功能障碍导致 sequestosome 1 (SQSTM1) 蛋白积聚,进而通过 ACSL4 介导的途径触发角膜上皮细胞发生铁死亡。

3.2.3 干眼新型药物研发 英文爆点关键词“药物递送(强度值 12.11)”为 2023–2025 年研究热点。目前在售滴眼液因眼部特殊生物屏障生物利用度普遍偏低,采用智能材料如纳米生物制剂增强药物穿透眼表屏障的能力,延长其眼表滞留时间成为近年来干眼药物研究热点及趋势。Wang 等^[25]研究报道通过酶聚合法直接从葡萄籽制备的多酚纳米颗粒能有效防止氧化应激导致的细胞损伤,并在多种氧化应激相关疾病中展现出良好的体内抗氧化治疗效果。该研究为开发更多低成本、高安全性且高效的生物基抗氧化纳米材料提供了可借鉴的制备方法。Ghosh 等^[26]设计高黏附力的海胆样金纳米结构,在抗氧化应激、减轻病理性血管新生和促进神经再生方面展示出显著疗效。Han 等^[27]研发了一种新型药物递送系统,通过单官能团 POSS、PEG 和 PPG 共聚制备了具有温敏性溶胶–凝胶转变特性的共聚物,既能改善药物水溶性,又能延长其在眼表的滞留时间。这些在研药物靶点精准,作用机制创新,但新药从研发到最终审批上市仍面临诸多挑战。

本研究采用文献计量学方法全面分析了全球干眼领域的研究热点及趋势。与董益、肖西立等^[28–30]研究相比,本研究的创新性主要体现在三个方面:(1)方法学创新。通过整合中国知网、万方医学网、维普网三大中文数据库及 WOS、PubMed 两大英文数据库,构建了跨平台、中英双语语言的研究矩阵,突破了单一数据库或语言范围的限制;(2)时间维度创新。本研究时间跨度长,文献检索时间从数据库建库至 2025 年,能完整地呈现干眼的研究热点演变趋势;(3)研究方法创新。本研究运用文献计量学软件对干眼大样本数据进行客观量化分析,克服了传统综述依赖小样本数据的主观局限性。在研究价值方面,本研究通过系统分析揭示了具有重要临床指导意义的发现:临床研究热点集中在干眼诊断技术创新和强脉冲光治疗,为基础研究与临床实践的转化提供了明确方向;基础研究热点则聚焦于干眼疾病动物模型、病理机制探索及新型治疗药物研发,特别是“铁死亡”“NLRP3 炎症小体”等新兴机制的识别,为干眼精准治疗提供了潜在靶点。这些发现与 Lei 等^[31]在氧化应激领域的研究结论相互印证,反映了学术界对氧化应激在干眼症病理生理学中核心作用的认识深化。而与 Nichols 等^[32]研究在国家/机构分布及核心作者群体方面的高度一致性,进一步验证了本研究的可靠性。本研究也存在一些局限性:(1)文献检索语种仅涵盖中英文,可能遗漏其他语种的重要研究;(2)可视化分析主要

基于文献计量学指标,对研究质量的评价不够充分;(3)文献计量学软件无法对纳入文献的具体内容进行深度分析。综上所述,全球干眼研究正处于快速发展阶段,临床研究的研究热点集中在干眼诊断技术创新和强脉冲光治疗;基础研究的研究热点主要集中在干眼疾病动物模型、病理机制研究以及研发新型治疗药物。与材料学、生物学等学科进行跨学科合作,研发出靶向阻断炎症通路的治疗药物,从源头上抑制炎症激活,实现干眼精准治疗,是未来干眼的研究热点及趋势。

利益冲突声明:本文不存在利益冲突。

作者贡献声明:何绪琦论文选题与修改,初稿撰写;翟耀华、张怡、朱子芊、杨怡然文献检索,数据分析;任胜卫论文选题指导,论文修改及审阅。所有作者阅读并同意最终的文本。

参考文献

- [1] Wolffsohn JS, Benítez-Del-Castillo JM, Loya-Garcia D, et al. TFOS DEWS III: diagnostic methodology. *Am J Ophthalmol*, 2025,279:387–450.
- [2] Stapleton F, Alves M, Bunya VY, et al. TFOS DEWS II epidemiology report. *Ocul Surf*, 2017,15(3):334–365.
- [3] Lazarides MK, Lazaridou IZ, Papanas N. Bibliometric analysis: bridging informatics with science. *Int J Low Extrem Wounds*, 2025,24(3):515–517.
- [4] Wirta D, Vollmer P, Paauf J, et al. Efficacy and safety of OC-01 (varenicline solution) nasal spray on signs and symptoms of dry eye disease: the ONSET-2 phase 3 randomized trial. *Ophthalmology*, 2022,129(4):379–387.
- [5] Li S, Lu ZY, Huang Y, et al. Anti-oxidative and anti-inflammatory micelles: break the dry eye vicious cycle. *Adv Sci (Weinh)*, 2022,9(17):e2200435.
- [6] Yang CJ, Anand A, Huang CC, et al. Unveiling the power of gabapentin-loaded nanoceria with multiple therapeutic capabilities for the treatment of dry eye disease. *ACS Nano*, 2023,17(24):25118–25135.
- [7] 钟键波, 曾国强, 张怡, 等. 睑板腺功能障碍相关性干眼研究进展. *国际眼科杂志*, 2025,25(2):259–263.
- [8] 朱敏颖, 林晓蕾, 张祖辉, 等. 基于卷积神经网络的睑板腺形态人工智能分析系统的构建. *浙江医学*, 2021,43(18):1946–1952.
- [9] Graham AD, Kothapalli T, Wang JY, et al. A machine learning approach to predicting dry eye-related signs, symptoms and diagnoses from meibography images. *Heliyon*, 2024,10(17):e36021.
- [10] Graham AD, Yeh CH, Lin MC. Morphological characteristics of the meibomian glands: impact of demographics and contact lens wear. *Transl Vis Sci Technol*, 2025,14(8):36.
- [11] El Barche FZ, Benyoussef AA, El Habib Daho M, et al. Automated tear film break-up time measurement for dry eye diagnosis using deep learning. *Sci Rep*, 2024,14:11723.
- [12] Ahn H, Chung JL, Jun I, et al. “Stepwise Extension Treatment (SET) Protocol” Versus “Pro Re Nata Regimen” of Intense Pulsed Light for Meibomian Gland Dysfunction. *Ophthalmology*, 2025 [Online ahead of print].
- [13] Lu Y, Gong L, Yin Y. Need to increase the number of intense pulsed light (IPL) treatment sessions for patients with moderate to severe meibomian gland dysfunction (MGD) patients. *Curr Eye Res*, 2024,49(4):362–367.
- [14] Giannaccare G, Pellegrini M, Carnovale Scalzo G, et al. Low-level light therapy versus intense pulsed light for the treatment of meibomian gland dysfunction: preliminary results from a prospective

randomized comparative study. *Cornea*, 2023,42(2):141-144.

[15] 冉茂丹, 金露, 任刚. 强脉冲光联合育阴润目方熏蒸及睑板腺按摩治疗 MGD 相关干眼. *国际眼科杂志*, 2025,25(1):157-161.

[16] Mu N, Wang H, Chen DY, et al. A novel rat model of dry eye induced by aerosol exposure of particulate matter. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2022,63(1):39.

[17] Thacker M, Sahoo A, Reddy AA, et al. Benzalkonium chloride-induced dry eye disease animal models: Current understanding and potential for translational research. *Indian J Ophthalmol*, 2023,71(4):1256-1262.

[18] Wu F, Lv ZE, Mao YZ, et al. Hyaluronan-modified nanoceria for dry eye disease treatment. *J Colloid Interface Sci*, 2025,683(Pt 2):215-225.

[19] Zhai YF, Zheng XX, Mao YY, et al. Recombinant human thymosin β 4 (rhT β 4) modulates the anti-inflammatory responses to alleviate benzalkonium chloride (BAC)-induced dry eye disease. *Int J Mol Sci*, 2022,23(10):5458.

[20] Ren YP, Feng JY, Lin Y, et al. miR-223 inhibits hyperosmolarity-induced inflammation through downregulating NLRP3 activation in human corneal epithelial cells and dry eye patients. *Exp Eye Res*, 2022,220:109096.

[21] Li XJ, Chen C, Chen Y, et al. Oridonin ameliorates ocular surface inflammatory responses by inhibiting the NLRP3/caspase-1/GSDMD pyroptosis pathway in dry eye. *Exp Eye Res*, 2024,245:109955.

[22] Lian LL, Ye XQ, Wang ZM, et al. Hyperosmotic stress-induced NLRP3 inflammasome activation *via* the mechanosensitive PIEZO1 channel in dry eye corneal epithelium. *Ocul Surf*, 2025,36:106-118.

[23] Chen HM, Shi J, Tang Y, et al. Exploring the effect of chlorogenic

acid on oxidative stress and autophagy in dry eye mice *via* the AMPK/ULK1 pathway. *Eur J Pharmacol*, 2025,991:177311.

[24] Zhang RZ, Liang LH, Liao K, et al. Autophagy impairment-derived SQSTM1 accumulation promotes ferroptosis in corneal epithelial cells through ACSL4 in dry eye. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2025,66(5):23.

[25] Wang TY, Fan QQ, Hong JX, et al. Therapeutic nanoparticles from grape seed for modulating oxidative stress. *Small*, 2021,17(45):e2102485.

[26] Ghosh S, Su YH, Yang CJ, et al. Design of highly adhesive urchin-like gold nanostructures for effective topical drug administration and symptomatic relief of corneal dryness. *Small Struct*, 2025,6(2):2400484.

[27] Han Y, Jiang L, Shi HH, et al. Effectiveness of an ocular adhesive polyhedral oligomeric silsesquioxane hybrid thermo-responsive FK506 hydrogel in a murine model of dry eye. *Bioact Mater*, 2022,9:77-91.

[28] 董益, 赵金荣, 陈陆霞. 2016—2020 年世界干眼研究的文献计量学和可视化分析. *眼科学报*, 2022,37(4):323-334.

[29] 肖西立, 聂渝晓, 陈婕. 国内近 10 年干眼相关研究——基于 Citespace 的可视化分析. *山东大学耳鼻喉眼学报*, 2021,35(2):86-97.

[30] 张佳男, 杨阳, 韩月圣, 等. 基于文献计量学的近 20 年眼外伤研究现状及热点可视化分析. *国际眼科杂志*, 2025,25(10):1585-1591.

[31] Lei YF, Huang XY, Guo HD, et al. Oxidative stress in dry eye disease; a bibliometric analysis. *Clin Ophthalmol*, 2025,19:2305-2324.

[32] Nichols JJ, Morgan PB, Jones LW, et al. 21st century bibliometric analysis of the field of dry eye disease. *Clin Exp Optom*, 2021,104(5):639-640.