

基于 CiteSpace 及 VOSviewer 的全球外泌体在眼科领域研究热点的可视化分析

高英¹, 罗向霞², 张花治¹, 张磊¹, 令娟¹, 庄家圆¹

引用:高英,罗向霞,张花治,等. 基于 CiteSpace 及 VOSviewer 的全球外泌体在眼科领域研究热点的可视化分析. 国际眼科杂志, 2025, 25(4):565-572.

基金项目:甘肃省自然科学基金项目(No.24JRRA566)

作者单位:¹(730000)中国甘肃省兰州市,甘肃中医药大学;

²(730050)中国甘肃省兰州市,甘肃省中医院眼科

作者简介:高英,在读博士研究生,讲师,研究方向:中医药治疗眼病的临床与基础研究。

通讯作者:罗向霞,博士,主任医师,研究方向:中医药治疗眼病的临床与基础研究. jessica_lxx@163.com

收稿日期:2024-11-01 修回日期:2025-02-21

摘要

目的:探索全球关于外泌体在眼科中研究、热点及趋势,以期在今后该领域的相关研究提供理论依据和建设性的参考,促进该研究领域的深入发展。

方法:检索中国知网(CNKI)数据库、Web of Science(WOS)核心合集数据库以及 PubMed 数据库自建库至 2024-05-20 已发表的关于外泌体在眼科中的研究相关文献,并通过 CiteSpace 6.3.R1 和 VOSviewer 等软件对发文国家、发文机构、研究作者、高频关键词、爆点关键词及时间线等内容进行可视化分析。

结果:纳入中文文献 37 篇,英文文献 548 篇。全球发文量位于前 5 位的国家分别为美国(130)、中国(80)、韩国(24)、英国(20 篇)和日本(19 篇),国外前 3 位发文机构分别为 University of California System、Duke University(杜克大学)、Harvard University,国内前 3 位发文机构分别为青岛大学、暨南大学附属第一医院眼科、北京师范大学体育与运动学院。中英文高频关键词和爆点关键词的分析结果显示,全球外泌体在眼科的研究热点中文高频词主要集中在干眼、细胞外囊泡、间充质干细胞、间充质干细胞来源外泌体、眼表疾病、眼表炎症、生物标志物、视网膜保护、免疫性眼病、葡萄膜炎、退行性眼病、黄斑变性、糖尿病视网膜膜病变、新生血管、甲状腺相关眼病、青光眼等方面;英文高频词主要集中在 dry eye、dry eye disease、delivery、regenerative medicine、uveal melanoma、protein 及 transplantation 等方面,外泌体在眼科的研究从最初的基础生物学研究,逐步向眼部疾病发病机制的探索以及作为新兴的诊断和治疗手段方向过渡。

结论:近 5 a 来外泌体在眼科领域的研究迅速开展,外泌体作为新的生物标志物或潜在治疗靶点,在眼科疾病中的发病机制和临床应用前景成为主流研究热点,其在眼科疾病的诊断、治疗和预防将是外泌体未来新的研究方向。

关键词:外泌体;眼科;研究热点;可视化;CiteSpace;VOSviewer

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2025.4.08

Visualization analysis of global research hotspots on exosomes in ophthalmology using CiteSpace and VOSviewer

Gao Ying¹, Luo Xiangxia², Zhang Huazhi¹, Zhang Lei¹, Ling Juan¹, Zhuang Jiayuan¹

Foundation item: Natural Science Foundation of Gansu Province (No.24JRRA566)

¹Gansu University of Chinese Medicine, Lanzhou 730000, Gansu Province, China; ²Department of Ophthalmology, Gansu Provincial Hospital of Traditional Chinese Medicine, Lanzhou 730050, Gansu Province, China

Correspondence to: Luo Xiangxia. Department of Ophthalmology, Gansu Provincial Hospital of Traditional Chinese Medicine, Lanzhou 730050, Gansu Province, China. jessica_lxx@163.com

Received:2024-11-01 Accepted:2025-02-21

Abstract

• **AIM:** To investigate the global research status, hotspots, and trends of exosome studies in ophthalmology, providing a theoretical foundation and constructive references for future research, and promoting in-depth development in this field.

• **METHODS:** Relevant literature on exosomes in ophthalmology published up to May 20, 2024, was retrieved from the China National Knowledge Infrastructure (CNKI), Web of Science Core Collection, and PubMed databases. Visual analyses of publication countries, institutions, authors, high-frequency keywords, burst keywords, and timelines were performed using CiteSpace 6.3.R1 and VOSviewer software.

• **RESULTS:** A total of 37 Chinese articles and 548 English articles were included. The top five countries in terms of publication volume were the United States (130 articles), China (80 articles), South Korea (24 articles), the United Kingdom (20 articles), and Japan (19 articles). The leading foreign institutions were the University of California System, Duke University, and Harvard University, while the top domestic institutions were Qingdao University, the Department of Ophthalmology at the First Affiliated Hospital of Jinan University, and the School of Physical Education and Sports Science at Beijing Normal University. Analysis of Chinese and English high-frequency and burst keywords indicated that global research hotspots on exosomes in ophthalmology primarily focus on dry eye, extracellular vesicles, mesenchymal stem cells and their derived exosomes,

ocular surface diseases, ocular surface inflammation, biomarkers, retinal protection, immune eye diseases, uveitis, degenerative eye diseases, macular degeneration, diabetic retinopathy, neovascularization, thyroid-associated ophthalmopathy, and glaucoma, while English high-frequency words mainly were dry eye, dry eye disease, delivery, regenerative medicine, uveal melanoma, protein, and transplantation. Research has evolved from initial basic biological studies to exploring the pathogenesis of ocular diseases and advancing toward novel diagnostic and therapeutic approaches.

• **CONCLUSION:** Over the past 5 a, research on exosomes in ophthalmology has grown rapidly. Exosomes, as novel biomarkers and potential therapeutic targets, have become central to studies on the pathogenesis and clinical applications of ophthalmic diseases. Their roles in the diagnosis, treatment, and prevention of these diseases represent promising directions for future research.

• **KEYWORDS:** exosomes; ophthalmology; research hotspots; visualization; CiteSpace; VOSviewer

Citation: Gao Y, Luo XX, Zhang HZ, et al. Visualization analysis of global research hotspots on exosomes in ophthalmology using CiteSpace and VOSviewer. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)*, 2025, 25(4):565-572.

0 引言

外泌体是由细胞分泌的微小囊泡,直径通常在 30-150 nm 之间,内含丰富的 RNA、蛋白质和脂质等生物分子,不仅参与细胞间的通讯,还在疾病的发生、发展和治疗中扮演着重要角色^[1-2],近年来在科研领域引起了广泛的关注。

外泌体的研究历史可追溯至 20 世纪 60 年代,最初科研人员在鼠和绵羊的网织红细胞中观察到了这些微小的囊泡,它们与未降解的转铁蛋白受体相互作用,显示出独特的生物学特性^[3]。1987 年,Johnstone 等^[4]正式将这些小囊泡命名为“外泌体”,从此开启了外泌体研究的新纪元。外泌体主要来源于细胞内溶酶体微粒内陷形成的多囊泡体,经过与细胞膜的融合后释放到胞外基质中^[1]。因此,外泌体天然存在于各种体液中,如血液、唾液、尿液、脑脊液和乳汁,这使得外泌体成为疾病诊断和预后分析的重要生物标记物^[5-6]。外泌体的成分丰富多样,包括蛋白质、核酸和脂质等,其中,一些蛋白质如膜转运蛋白、热休克蛋白及跨膜蛋白超家族等,在外泌体的生物功能中发挥着关键作用^[7]。

作为细胞间通讯的重要媒介,外泌体在生物学和医学领域具有广泛的应用前景^[8],在眼科领域,外泌体具有多种功能,包括细胞间通讯、免疫调节、病毒感染、组织再生以及肿瘤的发生、发展和转移。由于眼科疾病患者血清和房水中外泌体特异性含量的相对稳定性和特异性,这些分子有望成为新的生物标志物^[9]。因此近 5 a 来,有关外泌体在眼科的研究热度越来越高,但截至目前,国内外尚无基于全球大数据针对外泌体在眼科的研究现状、热点及未来研究发展趋势的相关研究发表。本研究基于文献计量学及可视化分析的研究方法,对目前国内外已发表的相关

文献进行可视化分析,以深入了解外泌体在眼科领域的研究现状、研究热点以及未来的发展趋势,为相关研究提供理论依据和思路,同时为眼科疾病的早期诊断和有效治疗提供新的视角和策略,推动眼科医学的进步,促进相关学科的知识交流与技术融合,为相关领域的研究和发展做出贡献。

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,以“外泌体”“外囊泡”“多囊泡体”“外吐小体”“外分泌体”“胞外体”等为主题词进行检索,剔除会议类、资讯类文献后获取相关文献 37 篇。外文数据来源于 Web of Science 核心合集数据库以及 PubMed 数据库,以“exosome”“extracellular vesicle”“microvesicle”“eye”“ophthalmics”及“ophthalmology”为主题词检索文献并通过文献类型(article or review)和语种(English)精炼文献记录,剔除新闻报道及资讯类文献后,获取相关文献共 548 篇,其中 Web of Science 英文文献 330 篇,PubMed 英文文献 218 篇,用全记录与引用的参考文献形式以纯文本格式导出,文献检索时间均为建库截至 2024-05-20。

1.2 方法 采用 CiteSpace6.3.R1 及 VOSviewer 软件对中英文数据库检索获取的文献记录进行数据格式转换。运用 VOSviewer 软件绘制作者合作网络知识图谱时,节点类型选择相应的聚类目标如 Keywords 及 Authors 等,计算方法选择“Full counting”。进行发文作者的可视化聚类分析时,当中英文文献为同一作者和标题的重复文献进行去重处理,剔除第一作者为中国的重复英文文献,以避免数据重复。依次以国家/发文机构、研究作者、高频关键词及爆点关键词等为分析节点对文献进行可视化分析。阈值设置为 Top, g-index 为 5,使用 Pathfinding、Pruning、sliced networks 剪裁方式简化整体图谱。高频关键词的统计密度(数量)代表研究热点,图谱中节点大小表示出现的次数,节点越大,该关键词或主题出现的总次数越多;各节点之间的连线粗细代表每个关键词或主题的联系程度。使用 VOSviewer 软件运行数据时,数据库的文献数据以 Refworks 格式导出并导入到 EndnoteX9 软件中,将其转化为 Ris 格式,再将数据放入 VOSviewer 软件进行分析和绘图。Web of Science 数据库中所得数据则直接进行可视化分析,无需进行格式转化,分别以 Co-authorship、Bibliographic coupling、Co-occurrence、Keywords、Organizations 等进行分析。

2 结果

2.1 外泌体在眼科中的研究相关文献发文量分析 外泌体在眼科中的相关文献研究发文量情况见图 1。研究结果显示,英文文献整体呈波动上升趋势,从 2020 年开始发文量剧增(44 篇),2023 年达到顶峰(69 篇)。中文文献从 2019 年开始发表,整体呈波动上升的趋势,从 2021 年发文量开始增多(8 篇),2023 年发文量达到顶峰(16 篇)。

2.2 国家/发文机构研究图谱分析 国家/发文机构图谱分析结果显示,外泌体在眼科中相关研究发文量位于前 5 位的国家分别为美国(130 篇)、中国(80 篇)、韩国(24 篇)、英国(20 篇)、日本(19 篇)见图 2,各个国家之间形成了分别以美国、中国、韩国、日本等为中心的聚类团体。国外研究机构发文量位于前 3 位的研究机构分别为 University of California System、Duke University(杜克大学)、Harvard University;国内研究机构发文量位于前 3 位的研

研究机构分别为青岛大学、暨南大学附属第一医院眼科、北京师范大学体育与运动学院,见表1。通过对国家研究图谱的深入分析及探究,发现全球外泌体在眼科领域的研究与应用正逐渐展现其巨大的潜力,且不同国家在此领域的研究方向和重点也各有特色,如美国在此类研究中处于领先地位,注重探索外泌体在眼科疾病的治疗潜力,尤其利用先进的生物技术和基因编辑技术,对外泌体进行改造和优化,以提高其治疗效率和安全性。除此,研究者不仅关

注外泌体在调控眼内炎症反应、抑制异常血管生成以及保护视神经损伤等方面的作用,还积极探索外泌体作为新型药物载体的可能性。在国内,科研人员更加关注外泌体的基础研究和临床应用,深入探索干细胞外泌体在眼科疾病中的多重治疗机制,包括促进组织修复与再生、抗炎作用、减少纤维化与疤痕形成以及精准靶向递送等,涵盖了视网膜退行性变、青光眼、干眼等多种眼科疾病,如石燕红教授团队^[10]在外泌体治疗眼底病方面取得了显著成果,发现外泌体具有免疫原性低、生物安全性好、靶向性强等特点,在糖尿病视网膜病变、年龄相关性黄斑变性等眼病的治疗中展现出巨大潜力。此外,中国的研究者们还致力于优化外泌体的分离、纯化和鉴定技术,以及开发更高效的外泌体递送系统,以提高疗效。欧洲的研究则更加注重外泌体的生物特性和功能研究,以及其在眼科疾病诊断中的应用,同时积极展开跨学科合作和国际交流。日本则更加注重开发基于外泌体的精准医疗技术,以实现对外科疾病的早期诊断和有效治疗,同时侧重于外泌体在眼科再生医学中的应用,以开发新型的组织修复和再生疗法。但是,国内外在此领域的研究合作极少,建议加强国内、外科研人员的交流与合作,做到与国际前沿接轨,提高科研水平。

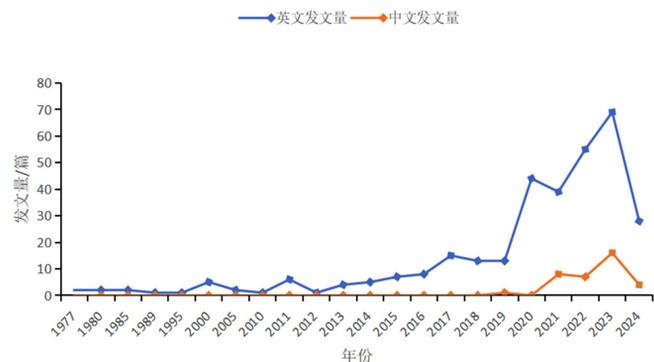


图1 外泌体在眼科中的相关文献研究发文量。

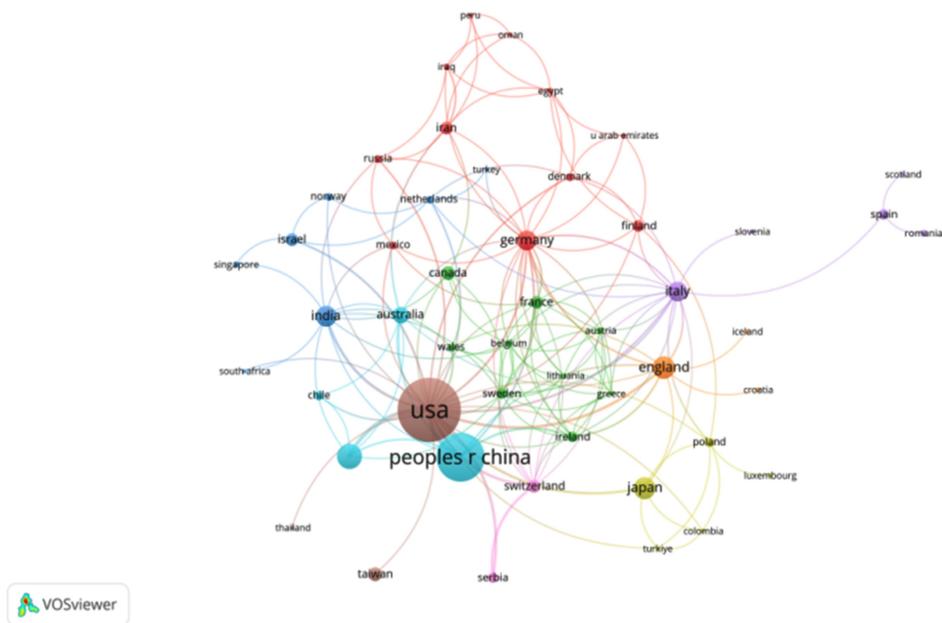


图2 外泌体在眼科中相关研究国家聚类知识图谱。

表1 国内外发文量居前10位的发文机构

排名	国内发文机构	发文量(篇)	国外发文机构	发文量(篇)
1	青岛大学	4	University of California System	10
2	暨南大学附属第一医院眼科	3	Duke University	9
3	北京师范大学体育与运动学院	2	Harvard University	8
4	中国医科大学	1	University of Texas System	8
5	右江民族医学院附属医院眼科	1	L. V. Prasad Eye Institute	8
6	湖南中医药大学第一附属医院眼科	1	Tianjin Medical University	7
7	昆明医科大学	1	Chinese Academy of Sciences	7
8	山东中医药大学附属眼科医院 山东省中西医结合眼病防治重点实验室 山东省眼病防治研究院	1	National Institutes of Health (NIH) - USA	7
9	天津医科大学	1	Harvard Medical School	6
10	娄底市中心医院内分泌科	1	Capital Medical University	6

2.3 研究作者合作网络分析 国外外泌体在眼科领域相关研究作者共形成3个作者聚类团体,分别是以Klingeborn Mikael为主的第一聚类团体、以Ashley-Koch Allison为主的第二聚类团体以及以Liu Yutao为主的第三聚类团体,根据结果分析,各聚类团体内部研究合作频繁,但团体与团体间的相互科研合作较少,外文文献发表的作者各机构之间的合作很少,见图3、4。

2.4 关键词共现分析

2.4.1 国内研究关键词共现分析 使用VOSviewer软件对中文文献数据进行高频关键词分析,节点类型Keywords,计算方法“Full counting”。关键词的最低文献阈值数量设置

置为“1”共获得116个节点,见图5。结果显示,主要的高频共现关键词有干眼、细胞外囊泡、间充质干细胞、间充质干细胞来源外泌体、眼表疾病、眼表炎症、生物标志物、视网膜保护、免疫性眼病、葡萄膜炎、退行性眼病、黄斑变性、糖尿病视网膜病变、新生血管、甲状腺相关眼病、青光眼等。

2.4.2 国外研究关键词共现分析 使用VOSviewer软件对外文文献数据进行高频关键词分析,节点类型Keywords,计算方法“Full counting”,关键词的最低文献阈值数量设置为“6”共获得87个节点,见图6。研究结果显示高频外文关键词共形成5大聚类主题。

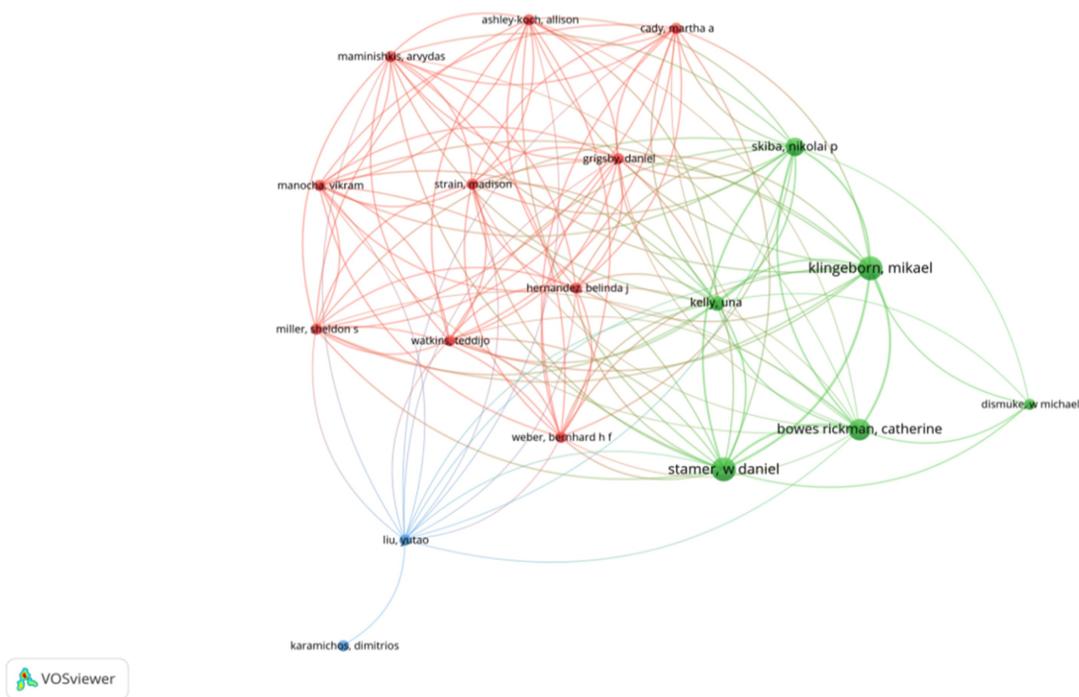


图3 国外研究发文作者合作图谱。

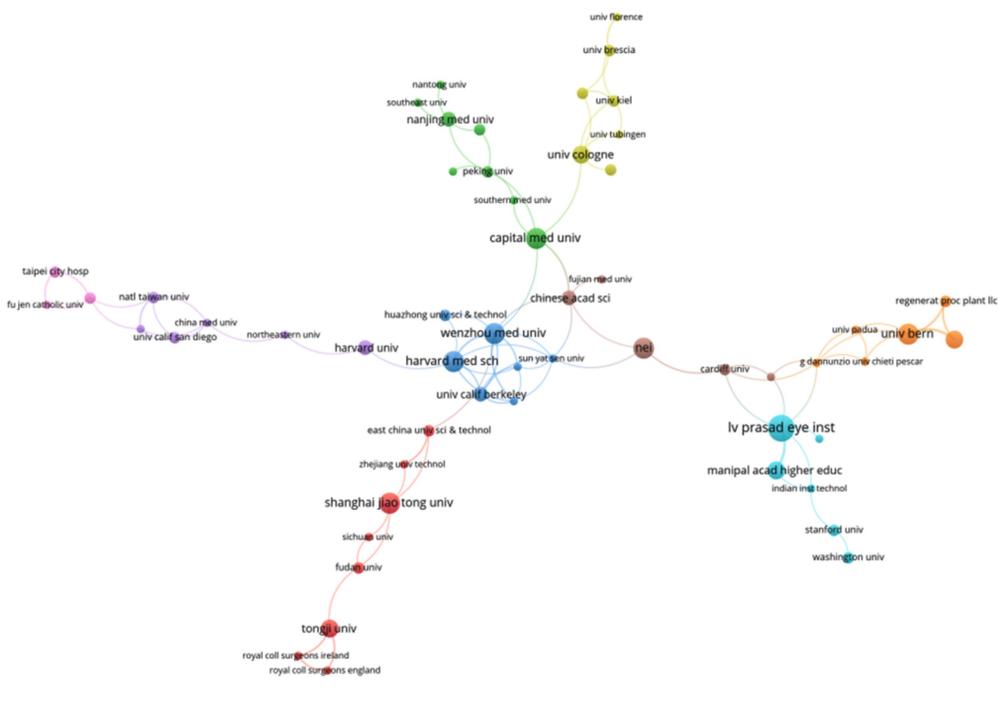


图4 国外发文机构合作图谱。

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与衰落时间(图7)。研究结果显示,英文高频关键词近年来主要集中在“complications”“dry eye”“dry eye disease”“delivery”“regenerative medicine”“uveal melanoma”“protein”及“transplantation”等。强度值位于前5的高频关键词有“microvesicles(2.24)”“drug delivery(2.24)”“transplantation(2.22)”“cell(2.05)”“regenerative medicine(2.05)”,由此可见,外泌体在眼科研究中的关注度持续上升,近年来的研究热度达到了高峰。“drug delivery”即药物递送、药物载体,是外泌体在眼科研究中的一个重要研究方向,将外泌体作为药物载体,可以实现药物的精准定位和有效释放,从而提高治疗效果,其关键词也呈现出上升趋势。外泌体在细胞移植和组织修复中,尤其是在角膜和视网膜等组织修复中具有潜在研究价值,此方向的关注度也持续上升。不同来源的干细胞在眼科疾病治疗中的作用机制被广泛探讨,与外泌体共同构成了研究的重要方向。再生医学相关研究热点,具有较高的研究价值和潜在的应用前景。本研究还发现,目前关于眼科疾病方面研究主要以“干眼(dry eye)”“眼部并发症(complications)”“再生

医学(regenerative medicine)”“葡萄膜黑色素瘤(uveal melanoma)”“移植(transplantation)”“药物递送(drug delivery)”等较多,尤其是干眼相关研究关键词持续成为研究热点。

2.6 高被引论文分析 被引频次最多的是发表在 *Stem Cells Translational Medicine* 期刊上的“Bone marrow-derived mesenchymal stem cells-derived exosomes promote survival of retinal ganglion cells through miRNA-dependent mechanisms”(图8)^[11],被引用量为284次,该文章主要研究了骨髓源性间充质干细胞(BMSC)分泌的外泌体如何通过miRNA依赖的机制促进视网膜节细胞(RGC)的存活。研究结果显示,BMSC外泌体能够显著提高RGC的存活率,促进轴突再生,并保护视网膜功能,表明外泌体可能作为一种细胞自由疗法,用于治疗创伤性和退行性眼部疾病。此外,实验还发现BMSC外泌体表面表达的CD分子存在差异,其中CD11和CD63在外泌体上的表达比在BMSC中更高,而CD29和CD81在成纤维细胞外泌体上更丰富。在体外和体内实验中,3×10⁹个BMSC外泌体(去除微囊泡)展示了最佳的神经保护和神经发生效果^[11-12]。虽然研究结果表明BMSC外泌体在视网膜神经保护方面展具有巨大的潜力,但其在临床转化方面仍面临诸多挑

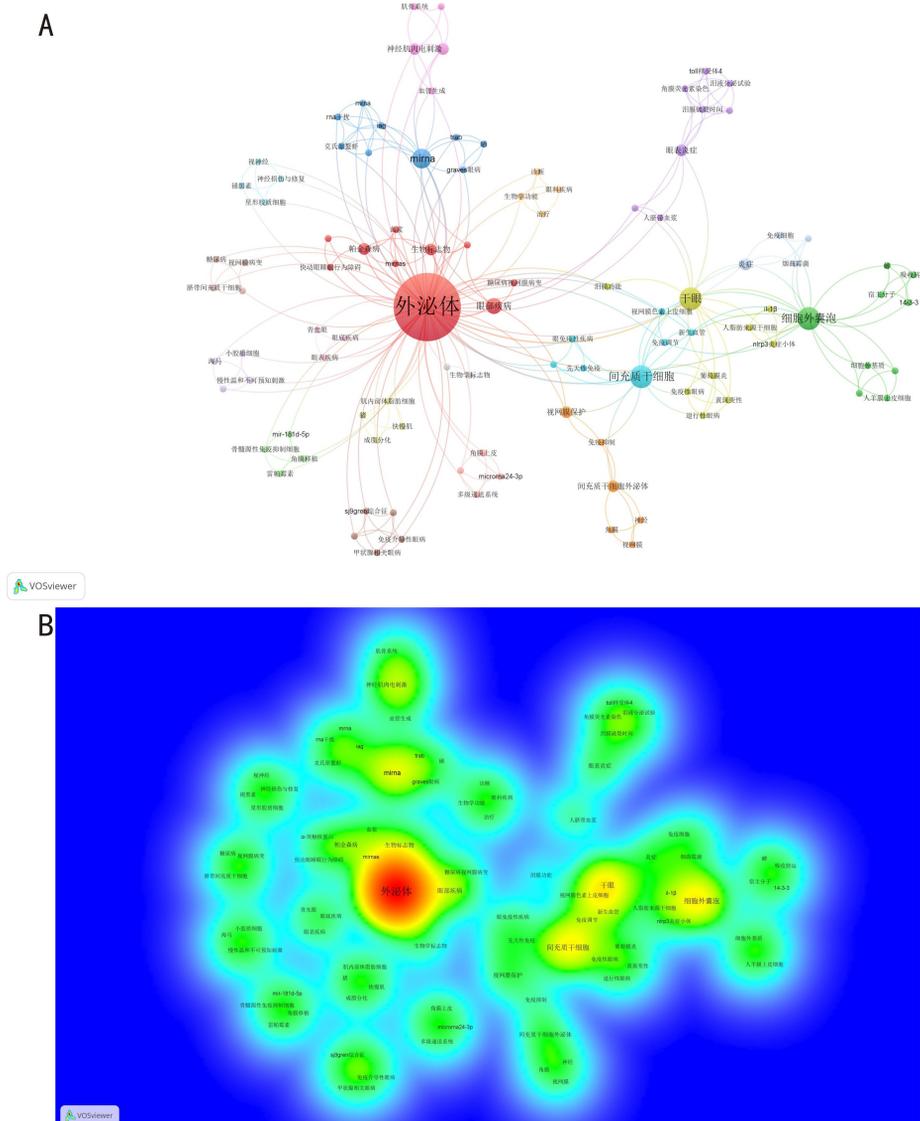


图5 国内研究关键词共现分析 A:中文高频关键词共现分析图谱;B:中文高频关键词贡献密度图谱。

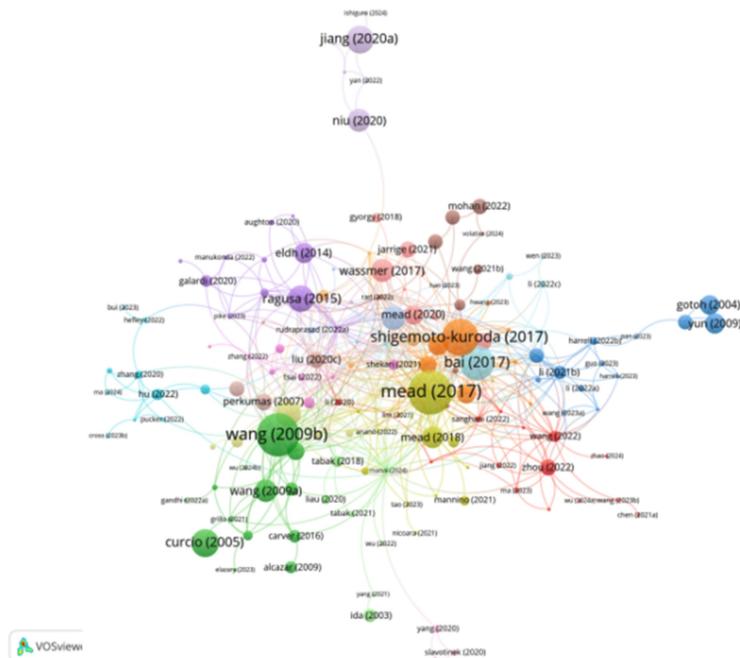


图8 高被引论文分析图谱。

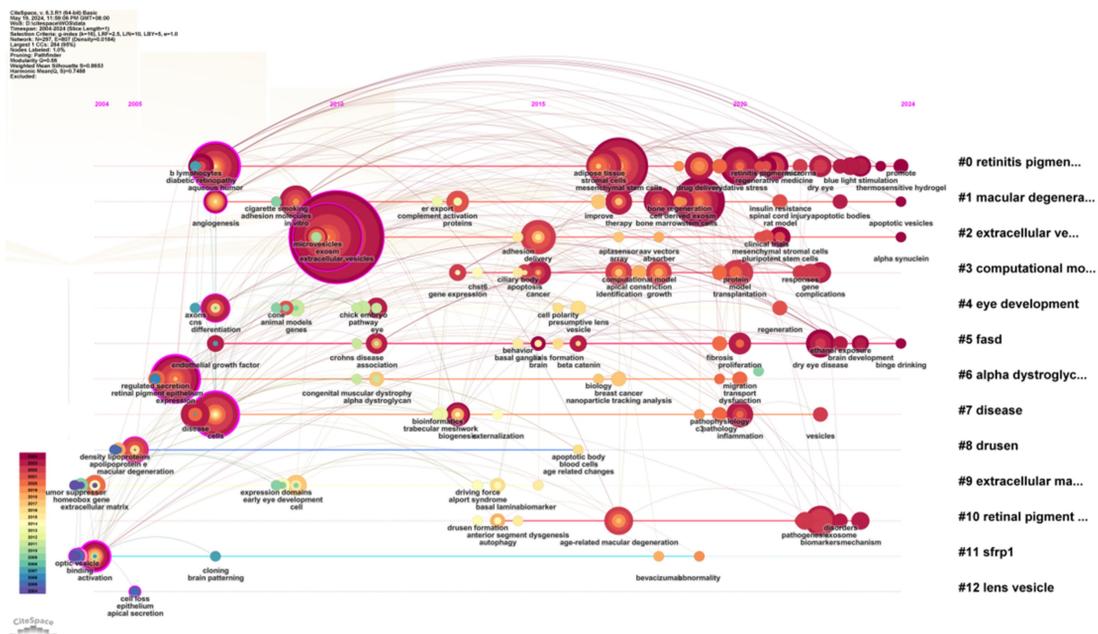


图9 英文文献关键词时间线图。

来外泌体在眼科疾病的诊断、治疗和预防方面的研究逐渐成为热点。我们的研究结果与其他相关研究一致。You等^[2]指出,外泌体在多种眼科疾病中发挥重要作用,例如糖尿病视网膜病变、年龄相关性黄斑变性和眼表疾病等。他们强调了外泌体作为细胞间通讯媒介和潜在生物标志物的价值,这与我们通过文献计量学分析发现的研究热点高度契合。全球分析中青光眼未被识别为高频关键词或主流研究热点,这一差异可能源于国内研究更关注青光眼与外泌体的关联,而国际研究热点集中于糖尿病视网膜病变、眼表疾病等领域。例如 Aires等^[14]的研究,他们专注于探讨外泌体在青光眼中的作用,该研究深入揭示了微胶质细胞外泌体在青光眼中的角色,强调了其在炎症和神经退行性变中的重要性,发现外泌体在高压条件下具有自分泌功能,能够传播炎症信号并在青光眼条件下促进了炎症反应,增强了神经退行性变化,对视网膜的健康产生了负面影响,为理解青光眼的病理生理机制提供了新的视角,

并为开发基于外泌体的治疗策略奠定了基础。但此类专题研究在整体文献中占比有限,尚未形成广泛的研究趋势。我们的研究采用文献计量学方法,从宏观层面分析全球外泌体在眼科领域的研究趋势,侧重于揭示总体研究热点。而 Aires等^[14]的研究则属于深入的专题研究,聚焦于外泌体在特定疾病中的功能和机制。这种差异反映了外泌体研究在不同眼科疾病领域的发展不均衡。尽管青光眼是全球主要的致盲性眼病之一,但关于外泌体在青光眼中的研究可能尚处于起步阶段,相关研究数量相对较少,尚未在文献计量学分析中凸显。我们的研究揭示了当前研究热点主要集中在糖尿病视网膜病变和眼表疾病等领域,为未来深入探索外泌体在青光眼等其他眼科疾病中的作用机制和临床应用提供了方向。尽管目前相关研究已有诸多进展,但该领域仍存在许多潜在的研究方向,未来可能集中在新型诊断工具的开发、药物递送系统的优化、病理机制的深入探讨、长期疗效与安全性评估、跨学科合

作与技术创新、免疫调节机制等,通过这些新领域的研究,有望进一步揭示外泌体在眼科领域的潜在价值,并为其临床应用提供新的思路和策略。

本研究通过对全球外泌体在眼科领域的文献计量学分析,客观揭示了当前的研究热点和发展趋势,具有重要的临床意义。相比先前的研究,我们的工作不仅涵盖了更广泛的时间范围和地域,采用了先进的可视化工具(如CiteSpace和VOSviewer),更系统地分析了研究热点和趋势,为临床医生和研究者提供了宝贵的参考。这些结果有助于临床实践中更好地理解外泌体在眼科疾病中的作用,促进其在疾病诊断、治疗和预防中的应用。此外,本研究也为相关政策制定者提供了科学依据,支持他们加大对外泌体研究的投入和支持。然而,本研究仍存在一些局限性:(1)我们的数据来源仅限于几个数据库,可能遗漏了其他数据库中发表的相关文献,导致分析结果可能不够全面。(2)文献计量学方法主要基于文献的数量和被引频次,无法充分反映研究的深度和质量,也可能忽略了一些具有重要价值但引用频次较低的研究。(3)外泌体研究领域发展迅速,新的成果不断涌现,而我们的研究截止到特定日期,可能未能反映最新的研究动态。未来,建议进一步扩大数据来源,结合多种分析方法,纳入更多语言的文献,以获得更全面和精确的研究结果。同时,应深入探讨外泌体在具体眼科疾病中的作用机制,开展多中心、大样本的临床研究,推动外泌体相关诊疗技术的临床转化和应用。

利益冲突声明:本文不存在利益冲突。

作者贡献声明:高英论文选题与修改,数据分析及初稿撰写;高英、令娟、庄家园文献检索,数据分析;张花治、张磊负责文章审阅;罗向霞选题指导,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] Colombo M, Raposo G, Théry C. Biogenesis, secretion, and intercellular interactions of exosomes and other extracellular vesicles. *Annu Rev Cell Dev Biol*, 2014,30:255-289.

[2] You JX, Qi SN, Fu JL, et al. Circulating exosomes in ophthalmic disease: novel carriers of biological information circulating exosomes in ophthalmic disease. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*, 2021, 25 (5): 2172-2181.

[3] Wolf P. The nature and significance of platelet products in human plasma. *Br J Haematol*, 1967,13(3):269-288.

[4] Johnstone RM, Adam M, Pan BT. The fate of the transferrin receptor during maturation of sheep reticulocytes *in vitro*. *Can J Biochem Cell Biol*, 1984,62(11):1246-1254.

[5] Yu D, Li YX, Wang MY, et al. Exosomes as a new frontier of cancer liquid biopsy. *Mol Cancer*, 2022,21(1):56.

[6] Xu HW, Hao ZB, Wang YJ, et al. Liquid tumor microenvironment enhances WNT signaling pathway of peritoneal metastasis of gastric cancer. *Sci Rep*, 2023,13(1):11125.

[7] Alipoor SD, Mortaz E, Garssen J, et al. Exosomes and exosomal miRNA in respiratory diseases. *Mediators Inflamm*, 2016,2016:5628404.

[8] Pluchino S, Smith JA. Explicating exosomes: reclassifying the rising stars of intercellular communication. *Cell*, 2019,177(2):225-227.

[9] Tkach M, Théry C. Communication by extracellular vesicles: where we are and where we need to go. *Cell*, 2016,164(6):1226-1232.

[10] 石燕红,陶勇. 外泌体在眼科的研究进展. *中华眼科医学杂志(电子版)*, 2021,11(3):183-187.

[11] Mead B, Tomarev S. Bone marrow - derived mesenchymal stem cells-derived exosomes promote survival of retinal ganglion cells through miRNA-dependent mechanisms. *Stem Cells Transl Med*, 2017,6(4):1273-1285.

[12] Mead B, Logan A, Berry M, et al. Paracrine - mediated neuroprotection and neuritogenesis of axotomised retinal ganglion cells by human dental pulp stem cells: comparison with human bone marrow and adipose - derived mesenchymal stem cells. *PLoS One*, 2014, 9 (10):e109305.

[13] Liu J, Jiang F, Jiang Y, et al. Roles of exosomes in ocular diseases. *Int J Nanomed*, 2020,15:10519-10538.

[14] Aires ID, Ribeiro-Rodrigues T, Boia R, et al. Exosomes derived from microglia exposed to elevated pressure amplify the neuroinflammatory response in retinal cells. *Glia*, 2020, 68 (12): 2705-2724.