

近 20 年低强度脉冲超声相关研究的国际趋势和热点分析

张鑫, 刘凡, 孙明立

(沈阳体育学院运动健康学院, 辽宁 沈阳 110102)

摘要:目的 分析低强度脉冲超声近 20 年的研究现状、热点及发展趋势, 为后续相关研究提供参考。方法 以 Web of Science 中 SCI-EXPANDED 索引为文献来源, 检索 2003-2022 年低强度脉冲相关研究, 采用 CiteSpace 进行国家、机构、作者的合作网络分析; 对被引文献绘制共现图谱; 对关键词进行共现分析、聚类分析和突现分析。结果 共纳入文献 1762 篇。高产国家为中国、美国、日本; 高产机构为重庆医科大学、阿尔伯塔大学; 高产作者以 TAREKEL-BIALY、FENGYI YANG、KWOKSUI LEUNG 为代表。研究热点为骨折愈合、细胞增殖、成骨分化等。预测探索低强度脉冲超声作用于骨与软骨愈合微观分子机制、探索低强度脉冲超声在新场景的应用成为未来一段时间内的研究趋势。结论 低强度脉冲超声这一研究领域在近 20 年发展稳步上升, 但仍处于初级阶段, 未来具有良好的发展前景。

关键词:低强度脉冲超声; Web of Science; CiteSpace; 可视化分析

中图分类号: R318.5

文献标识码: A

DOI: 10.3969/j.issn.1006-1959.2024.16.004

文章编号: 1006-1959(2024)16-0018-05

International Trends and Hotspots of Low-intensity Pulsed Ultrasound Related Research in the Past 20 Years

ZHANG Xin, LIU Fan, SUN Ming-li

(College of Kinesiology, Shenyang Sport University, Shenyang 110102, Liaoning, China)

Abstract: Objective To analyze the research status, hotspots and development trends of low-intensity pulsed ultrasound in the past 20 years, and to provide reference for subsequent related research. Methods The SCI-EXPANDED index in Web of Science was used as the literature source to search for studies related to low-intensity pulsed ultrasound from 2003 to 2022, and CiteSpace was used to analyze the cooperation network of countries, institutions and authors. Draw a co-occurrence map of the cited literature; the keywords were analyzed by co-occurrence analysis, cluster analysis and Burst analysis. Results A total of 1762 articles were included. High-yield countries were China, the United States, Japan; the high-yield institutions were Chongqing Medical University and University of Alberta. TAREKEL-BIALY, FENGYI YANG and KWOKSUI LEUNG were the representatives of high-yield authors. The research hotspots were fracture healing, cell proliferation, osteogenic differentiation and so on. It was predicted that exploring the micro-molecular mechanism of low-intensity pulsed ultrasound on bone and cartilage healing and exploring the application of low-intensity pulsed ultrasound in new scenarios might become a research trend in the future. Conclusion The research field of low-intensity pulsed ultrasound has developed steadily in the past 20 years, but it is still in its infancy and has good development prospects in the future.

Key words: Low-intensity pulsed ultrasound; Web of Science; CiteSpace; Visual analysis

低强度脉冲超声 (low-intensity pulsed ultrasound, LIPUS) 属于超声波的一种形式, 是指采用脉冲波的形式以小于 0.1 W/cm^2 强度作用于人体病变部位, 调节体内微环境的物理治疗手段, 其特点是低成本且无创安全^[1]。低强度脉冲超声的作用机制主要通过空化效应、机械效应和热效应发挥作用, 目前已经广泛应用于骨科、软组织等疾病, 备受相关研究人员的关注^[2]。CiteSpace 是陈超美博士基于引文分

析理论开发的一款呈现科学知识图谱的可视化软件, 能对某一学科领域文献进行多角度的文献计量分析, 并据此绘制可视化图谱, 以展现此领域的知识基础和研究热点, 并探索学科发展前沿^[3]。低强度脉冲超声作为一种有效的物理治疗手段, 近年来发文量逐渐上升, 但尚未有清晰的文献计量总结。鉴于此, 本研究应用 CiteSpace 软件对该领域的研究概况和热点进行可视化分析, 并预测前沿趋势, 为相关研究的进一步发展提供参考。

1 资料与方法

1.1 数据来源 计算机检索 Web of Science 核心合集数据库, 索引为“SCI-EXPANDED”。检索式选取“TS=(Low intensity pulse ultrasound)OR TS=(LIPUS)”进行主题检索, 文献检索时间范围为 2003 年 1 月 1 日至 2022 年 12 月 31 日。本研究中纳

基金项目: 辽宁省社会科学规划基金项目 (编号: L21ATY005)

作者简介: 张鑫 (1996.11-), 男, 山东青岛人, 硕士研究生, 主要从事运动损伤的预防与康复研究

通讯作者: 孙明立 (1980.2-), 男, 辽宁丹东人, 博士, 教授, 主要从事运动 / 营养干预慢性病策略及生物学机制

入文献类型选择“Article”“Review”,语种选择“English”,排除新闻、会议论文和撤稿通知的文献。最终纳入 1762 篇相关文献。

1.2 方法 将所得文献以纯文本的形式导出到 Input 文件夹中,以“download_*.txt”的格式命名,采用 CiteSpaceV.5.7.R5 软件进行文献计量和可视化分析。可视化参数设置中,将时间跨度设置为 2003-2022 年,时间切片设置为 2,主题词术语来源为默认值,阈值项选择“g-index, K=25”;关联强度选择 cosine;聚类方法选择对数似然比(Log-likelihood ratio, LLR)算法;根据不同的节点需要,选择不同的阈值和剪裁方式达到简化网络结构、图片美观的目的;节点类型分别选择国家、机构、作者、文献和关键词 5 个方面进行分析,绘制可视化图谱。

2 结果

2.1 文献年度分布 基于 WOS 核心合集数据库,2003 年 1 月-2022 年 12 月关于低强度脉冲超声文献共有 1762 篇文献。自 2003 年以来,年平均发文

量为 88 篇,最高年发文量为 2021 年的 162 篇,除 2004-2005 年、2008-2009 年、2014-2015 年、2021-2022 年稍有回落外,总体呈现逐年增加的趋势;此外,年累计发文量逐年上升,且趋势拟合线相关系数为 $R^2=0.949$,吻合度较高,说明受学者关注程度高,有较大的发展前景,见图 1。

2.2 国家合作分析 以“country”为节点,进行国家合作网络共现分析,发文量前 3 的国家分别为中国(464 篇)、美国(450 篇)、日本(201 篇),中心度排名前 3 的国家是美国(0.46)、中国(0.42)、日本(0.34),见图 2。

2.3 研究机构合作分析 以“Institution”为节点,进行机构合作网络共现分析,结果显示截止 2022 年 12 月,共有 382 个机构参与了低强度脉冲超声领域的研究。以发文量进行排名,前 3 的机构分别为重庆医科大学(56 篇)、阿尔伯塔大学(46 篇)、中国科学院(44 篇)。图中连线成小规模聚集形式,表明以区域性合作为主,见图 3。

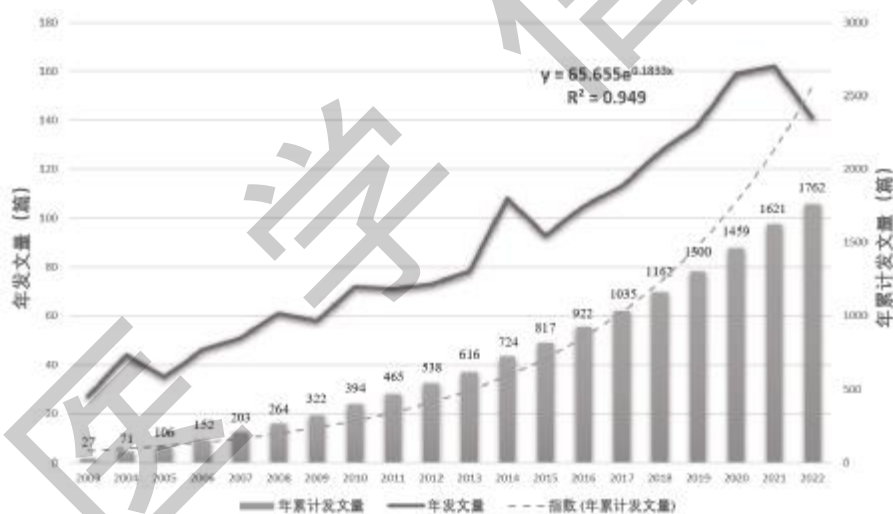


图 1 文献发文量年度变化图

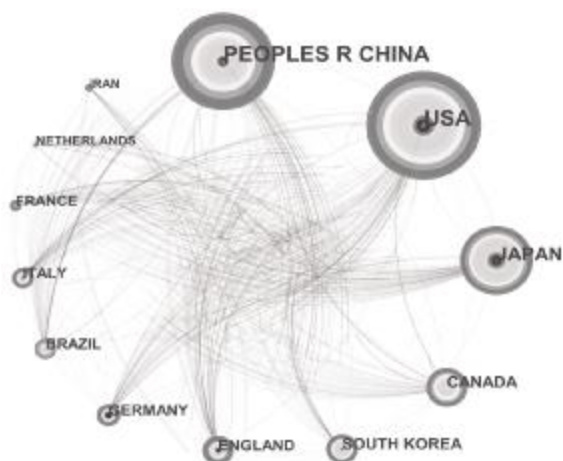


图 2 国家合作网络共现图



图 3 机构合作网络共现图

2.4 作者合作分析 以“Author”为节点,进行作者合作网络共现分析,结果显示 TAREK ELBIALY 发文量最高,为 22 篇;FENGYI YANG、KWOKSUI LEUNG、LING QIN、YAN WANG 发文量为并列第 2,为 17 篇。根据普莱斯定律,计算公式为 $m=0.749 \times \sqrt{N_{\max}}$, N_{\max} 为文献发表量最多的作者论文数量, m 为核心作者最低发文量^[4]。将数据代入公式, $m=0.749 \times 4.7=3.5$, 计算得出低强度脉冲超声领域发表论文 4 篇以上的为核心作者,共 127 人,共计发表论文 836 篇,占发文总量的 48.05%, 接近普莱斯定律的半数标准,说明低强度超声领域作者尚未形成稳定和合作群体,但有很大的发展潜力,见图 4。

2.5 关键词共现分析和聚类分析 以“Keyword”为节点,进行关键词共现分析和聚类分析,结果显示出现频次前 5 的关键词为“gene expression”(329 次)、“in vitro”(226 次)、“stimulation”(217 次)、“differentiation”(156 次)、“cell”(151 次),见图 5。进行关键词聚类分析,得到 Q 值为 0.7883, S 值为 0.9042 的关键词聚类图,代表聚类效果良好,见图 6。模块

值 Q 和轮廓值 S 是衡量聚类结构合理性的两个主要参数, Q 值 >0.3 表示聚类结构显著, S 值 >0.5 表示结果同质性较高^[9]。聚类图所得低强度脉冲超声研究共有 10 个聚类标签: drug delivery (药物输送)、pain(疼痛)、histotripsy(组织撕裂术)、bone formation (骨形成)、microbubble(微泡)、chondrocyte(软骨细胞)、aged(老化的)、sonoporation(声孔效应)、integrin(整合素)、neuromodulation(神经调控)。图中各聚类交错重叠,表明相关研究联系紧密。

2.6 关键词突现分析 选择“Burstness”选项,对低强度脉冲超声文献进行关键词突现分析,结果显示 acceleration(加速)突现强度最强,强度值为 10.44,说明在 2003-2008 年,低强度脉冲超声加速组织再生的功能研究热度高,是当时的研究热点;而 aggrecan gene expression (聚集蛋白聚糖基因表达)、fracture model(骨折模型)突现时间长,说明对于关节软骨和骨折模型的研究一直保持较高的研究热度,见图 7。



图 4 作者合作网络共现图

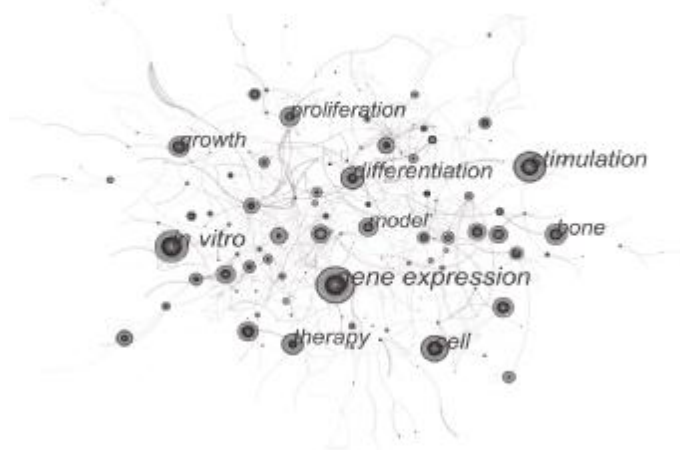


图 5 关键词共现图



图 6 关键词聚类图

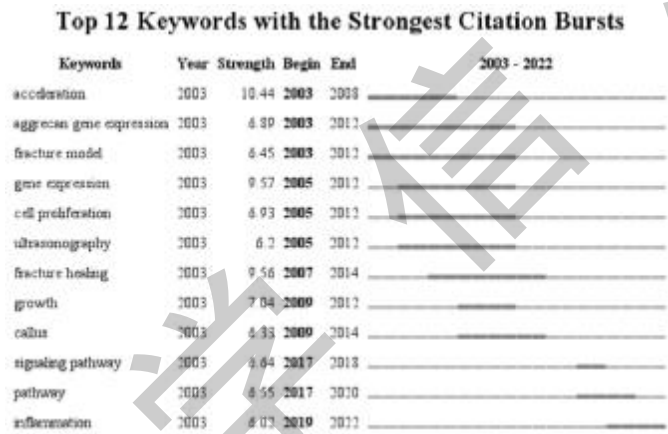


图 7 关键词突现图

3 讨论

3.1 低强度脉冲超声领域研究现状 通过文献年度发文量统计,可以宏观把握低强度脉冲超声领域的研究现状。自 2003 年起到 2022 年,低强度脉冲超声相关研究文献年发文量相对较少,个别年份略有回落,但总体处于稳步上升趋势,由此可知低强度脉冲超声在近 20 年逐渐得到了研究人员的关注,但仍处于初级发展阶段,表现出很大的发展潜力。通过国家、机构及作者合作网络分析可知,我国凭借发文量和影响力优势在该领域具有举足轻重的地位,各国之间主要以大学机构的形式进行合作。高产作者中,TAREKEL-BIALY 为代表的加拿大阿尔伯塔大学团队,研究内容是低强度脉冲超声对牙根吸收和下颌骨生长的作用^[6,7],其次为国立阳明大学的 FENGYIYANG,研究内容为超声在神经科学领域的应用^[8];再次为 KWOKSUI LEUNG 为代表的香港中

文大学与中科院团队,研究内容为低强度脉冲超声促进骨折愈合的疗效和相关机制^[9,10],尤以上述团队内部合作密切。从整体看,大部分作者和机构之间缺乏联系,尚未形成密集的合作网络,国际合作有待加强。

3.2 低强度脉冲超声领域研究热点和未来趋势 近年来低强度脉冲超声领域的研究逐渐热门,通过共被引文献和关键词共现、聚类可视化分析可知,低强度脉冲超声研究主要围绕骨再生、骨折、骨关节炎、疼痛等运动系统相关疾病的治疗与恢复^[11,12],以及潜在的组织形态学、细胞生物学和分子生物学的机制展开^[13-15]。同时,对低强度脉冲超声的研究不局限于单独应用,在药物输送场景也有一定的研究^[16]。以上结果说明,低强度脉冲超声在临床应用价值较高,其作用机制研究是一个重要方向。通过关键词突现图分析可得,从前期以加速愈合、骨折模型、细胞增

殖等关键词为关注点,到近 5 年更加关注信号通路、炎症、氧化应激、自噬等主题^[8,17,18],研究方向逐渐由宏观的器官功能水平的研究向微观的信号通路、分子表达等机制方向转变,可推测未来几年的研究趋势将围绕微观机制展开。目前低强度脉冲超声研究中,仍以运动系统疾病研究为主,但研究人员也在探求不同场景的应用,已有研究证明低强度脉冲超声在神经调节^[19]、新型冠状病毒感染^[20]、心肌炎^[21]中也具有治疗效果。随着医学的发展和诊疗观念的进步,微创乃至无创治疗技术在患者群体认可度越来越高,也越来越受到医学领域的重视。因此,拓展低强度脉冲超声的应用场景显得尤为重要。

综上所述,低强度脉冲超声研究处于发展上升阶段,国内研究与国外研究差距较小,且国内相关研究基础扎实,但跨团体间合作不够密切。应充分发挥现有的先发优势,以高校研究团体为桥梁,积极寻求国内、国外合作,以期取得更高质量的研究成果,持续推进我国低强度脉冲超声领域的发展。

参考文献:

- [1]滕飞,路凡,何良志,等.低强度脉冲超声对骨细胞及骨折愈合作用[J].中国矫形外科杂志,2020,28(18):1673-1676.
- [2]杨光,徐子涵,李声灿,等.低强度脉冲超声促进腱骨界面愈合的机制[J].中华实验外科杂志,2022,39(11):2077-2080.
- [3]冯媛媛,鲍勇.基于 Citespace 的中国康复医联体的前沿与热点分析[J].中国康复医学杂志,2022,37(1):139-143.
- [4]宗淑萍.基于普赖斯定律和综合指数法的核心著者测评——以《中国科技期刊研究》为例[J].中国科技期刊研究,2016,27(12):1310-1314.
- [5]梁红,李浩宇.基于 CiteSpace 的国内术语翻译研究可视化分析(2001—2020)[J].中国科技术语,2022,24(1):87-96.
- [6]Al-Dboush R,Rossi A,El-Bialy T.Impact of low intensity pulsed ultrasound on volumetric root resorption of maxillary incisors in patients treated with clear aligner therapy: A retrospective study[J].Dental Press J Orthod,2023,28(2):e2321252.
- [7]Hadaegh Y,El-Bialy TH.Mandibular condyle tissue reaction to low intensity pulsed ultrasound in young adult rats: Micro computed tomographic and histomorphometric datasets[J].Data in Brief,2022,42:108185.
- [8]Hsu CH,Pan YJ,Zheng YT,et al.Ultrasound reduces inflammation by modulating M1/M2 polarization of microglia through STAT1/STAT6/PPAR γ signaling pathways [J]. CNS Neurosci Ther,2023,29(12):4113-4123.
- [9]Zhang N,Chow SK,Leung KS,et al.Ultrasound as a stimulus for musculoskeletal disorders[J].J Orthop Translat,2017,9:52-59.
- [10]TRUST Investigators Writing Group,Busse JW,Bhandari M,et al.Re-evaluation of low intensity pulsed ultrasound in treatment of tibial fractures (TRUST): randomized clinical trial[J].BMJ,2016,355:i5351.
- [11]Xia P,Wang Q,Song J,et al.Low - Intensity Pulsed Ultrasound Enhances the Efficacy of Bone Marrow - Derived MSCs in Osteoarthritis Cartilage Repair by Regulating Autophagy - Mediated Exosome Release [J].Cartilage,2022,13(2):19476035221093060.
- [12]Zhou J,Zhu Y,Ai D,et al.Low - intensity pulsed ultrasound regulates osteoblast - osteoclast crosstalk via EphrinB2/EphB4 signaling for orthodontic alveolar bone remodeling[J].Frontiers in Bioengineering and Biotechnology,2023,11:1192720.
- [13]Sekino J,Nagao M,Kato S,et al.Low - intensity pulsed ultrasound induces cartilage matrix synthesis and reduced MMP13 expression in chondrocytes[J].Biochemical and Biophysical Research Communications,2018,506(1):290-297.
- [14]Ouyang ZQ,Shao LS,Wang WP,et al.Low intensity pulsed ultrasound ameliorates Adriamycin - induced chronic renal injury by inhibiting ferroptosis[J].Redox Rep,2023,28(1):2251237.
- [15]Yan S,Wang D,Zhang L,et al.LIPUS - S/B@NPs regulates the release of SDF - 1 and BMP - 2 to promote stem cell recruitment - osteogenesis for periodontal bone regeneration[J].Frontiers in Bioengineering and Biotechnology,2023,11:1226426.
- [16]Librizzi L,Uva L,Raspagliesi L,et al.Ultrasounds induce blood - brain barrier opening across a sonolucent polyolefin plate in an in vitro isolated brain preparation [J].Scientific Reports,2022,12(1):2906.
- [17]Tramontin NDS,Silveira PCL,Tietbohl LTW,et al.Effects of Low - Intensity Transcranial Pulsed Ultrasound Treatment in a Model of Alzheimer's Disease [J].Ultrasound in Medicine & Biology,2021,47(9):2646-2656.
- [18]Jian Z,Li Y,Zhang C,et al.Low - Intensity Pulsed Ultrasound Attenuates Periodontal Ligament Cells Apoptosis by Activating Yes - Associated Protein - Regulated Autophagy [J].Ultrasound in Medicine & Biology,2023,49(5):1227-1237.
- [19]Yoo S,Mittelstein DR,Hurt RC,et al.Focused ultrasound excites cortical neurons via mechanosensitive calcium accumulation and ion channel amplification [J].Nature Communications,2022,13(1):493.
- [20]Li W,Li X,Kong Z,et al.Efficacy of low - intensity pulsed ultrasound in the treatment of COVID - 19 pneumonia[J].Ultraschall Med,2023,44(6):e274-e283.
- [21]Liu T,Fu Y,Shi J,et al.Noninvasive ultrasound stimulation to treat myocarditis through splenic neuro - immune regulation[J].Journal of Neuroinflammation,2023,20(1):94.

收稿日期:2023-08-12;修回日期:2023-09-14

编辑/杜帆