

基于 CiteSpace 的国内血流限制性训练的 研究热点和趋势可视化分析

金 欣, 石诗萌

(成都大学, 四川 成都 610106)

摘 要: 本研究采用文献计量法结合 CiteSpace 可视化工具, 对 CNKI 收录的国内血流限制训练 (BFRT) 相关文献进行系统分析, 揭示该领域的研究力量分布、机构合作网络、热点主题聚类及演化路径。结果显示, 近十年国内 BFRT 研究关注度持续攀升, 已成为运动科学与康复医学的重要方向。当前研究聚焦于肌肉与力量适应性机制, 围绕心血管反应、代谢变化及康复干预形成稳定分支, 心血管与代谢系统的长期适应性变化正成为新兴热点。BFRT 低负荷、高效率的特征在肌萎缩改善、术后功能恢复及老年人群运动干预等临床场景中得到广泛验证, 康复应用价值日益凸显。未来需深化 BFRT 生理机制研究, 拓展其在特殊人群中的精准化应用。

关键词: 血流限制性训练; 文献计量分析; Citespace; 研究热点; 运动康复

基金项目: 四川省教育厅高等学校人文社会科学重点研究基地——四川休闲体育产业发展研究中心项目“世界赛事名城建设视域下体育产业与运动康复产业共生发展研究” (项目编号: XXTYCY2023C08)

DOI: doi.org/10.70693/rwsk.v2i7.584

引言

血流限制训练 (Blood Flow Restriction Training, BFRT) 是一种在肢体近端施加外部压力, 部分限制动脉血流、完全阻断静脉回流, 并在低强度负荷下进行运动的训练技术。其核心是通过可控的缺血环境, 模拟高强度训练的生理效应, 同时显著降低关节负荷和损伤风险^[1]。BFRT 训练由日本医学博士佐藤义昭在 1983 年提出, 并在 1990 年代开始在美国和欧洲等地得到关注, BFRT 训练已经成为了康复、肌肉增强和运动表现提升等领域的关注焦点^[2]。本研究依托中国知网 (CNKI) 数据库收录的血流限制训练相关研究文献, 运用科学计量分析方法, 对该领域的文献索引资料进行系统梳理与深入挖掘。通过绘制知识图谱、分析关键词共现与聚类特征, 客观揭示国内血流限制训练研究的发展脉络、热点主题及其演变趋势, 旨在全面把握该领域的研究现状与前沿动态。在此基础上, 进一步凝练研究热点与潜在方向, 以期后续相关研究提供理论参考与方法指引, 推动血流限制训练在我国运动科学领域的发展与实践创新。

1. 研究方法

1.1 数据来源

研究数据依托中国知网学术期刊与学位论文数据库, 采用主题检索, 检索词含血流限制训练、加压训练、BFRT、KAATSU, 检索时限从数据库建库至 2026 年 2 月 1 日, 剔除无效文献后, 最终纳入 250 篇文献开展分析。

1.2 纳入与排除标准

(1) CNKI 收录的期刊论文及硕博学位论文; (2) 发表时间为 CNKI 建库至 2026 年 2 月 1 日; (3) 主题围绕血流限制训练 (含加压训练、BFRT、KAATSU), 研究内容涉及其在运动科学、康复医学、生理机制及临床

作者简介: 金 欣(2001—), 男, 硕士研究生, 研究方向运动训练;

石诗萌(1990—), 女, 博士, 讲师, 研究方向动作控制的本体感觉机制及其在运动损伤与康复中的应用。

通讯作者: 石诗萌

干预中的应用；(4) 中文文献；(5) 题录信息完整，可用于 CiteSpace 分析。排除标准包括：(1) 重复发表文献；(2) 会议论文、报纸、科普、新闻、通知、征稿、书评等非学术或非原创研究文献；(3) 仅提及血流限制 / 加压但非训练干预，或内容与血流限制训练无直接关联的文献；(4) 缺少关键词、摘要、发表年份等必要题录信息的文献；(5) 非中文文献。

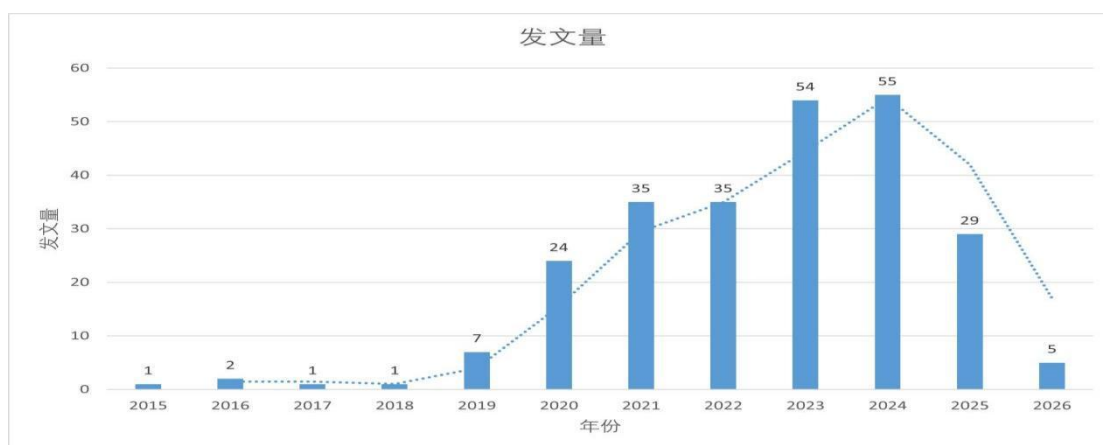
1.3 研究工具

CiteSpace 由美国德雷赛尔大学陈美超教授开发，是文献信息可视化软件，可处理多类文献数据，用图谱直观展现领域研究热点与关联；节点为图谱基本单元，代表知识单元，连线表征单元间共现关系。

本研究以血流限制性训练作为分析节点，节点大小代表对应知识单元的出现频次或被引频次，节点间连线粗细代表共现或共被引关系的强度，连线颜色代表关系首次出现的时间；网络密度反映知识单元间的整体关联紧密程度，数值越接近 1 说明领域研究主题越集中、学科交叉性越强；中心性用于衡量节点在网络中的重要性，其中中介中心性 ≥ 0.1 的节点为领域关键知识枢纽。节点大小与关键词出现频次呈正相关，节点越大，代表该关键词频次越高，为核心研究主题；连线粗细与关键词共现频率呈正相关，连线越粗，代表两个研究主题关联越紧密，耦合度越高；节点颜色对应图左下角时间色阶，暖色调节点代表该主题研究活跃期更趋近年，冷色调节点代表该主题研究起步较早。聚类分析采用对数似然比算法，聚类模块值 $Q > 0.3$ 表明聚类结构显著， $Q > 0.5$ 表明聚类结构非常显著；平均轮廓值 $S > 0.5$ 表明聚类结果合理， $S > 0.7$ 表明聚类结果令人信服。突显分析采用 Kleinberg 算法，突显强度代表知识单元频次增长的剧烈程度，开始与结束时间界定了研究热点的生命周期，持续至当前的凸显主题为领域最新研究前沿。

2. 研究结果与分析

2.1 文献发表量分析



从年度发文量的时间分布来看，该领域的学术演进呈现出清晰且显著的阶段性特征。2015-2018 年为研究的萌芽起步期，此阶段年均发文量不足 2 篇，长期处于低位运行状态，表明该研究主题尚未获得学界的广泛关注，尚未形成稳定的研究范式与学术共识，仅有零星学者开展了初步的探索性研究。

2019-2024 年为爆发式增长期，发文量实现了从个位数到 50 篇以上的量级跨越，并于 2024 年达到历史峰值 55 篇。这一持续攀升的趋势表明，在相关政策引导、关键技术突破或现实社会需求的多重驱动下，该领域进入了快速扩张阶段，研究队伍持续壮大，学术成果加速产出，已逐步发展为学界关注的热点研究方向。

2025 年发文量出现明显回落，这一现象可能与现有研究主题趋于同质化、核心科学问题已得到初步解答、新的研究增长点尚未形成等因素有关。需要特别说明的是，2026 年的文献数据受数据库收录时间窗口的限制，仅收录了截至当前的 5 篇文献，无法完整反映该年度的整体研究态势。

2.2 研究机构和作者合作网络特征分析

机构共现网络包含 158 个节点、67 条连线，网络密度为 0.0054 (图 1)。发文主体以专业体育院校为核心：武汉体育学院与北京体育大学为绝对核心，广州体育学院、首都体育学院、上海体育学院、南京体育学院等构成主力梯队，西南大学等综合院校及国家体育总局体育科学研究所等科研院所为补充。合作网络整体密度偏低，机构间跨区域、跨院校的协同较为匮乏，研究多局限于内部独立开展，核心机构间的资源整合与学术联动仍有较大提升空间。

作者共现网络包含 204 个节点、93 条连线，网络密度为 0.0045（图 2）。研究队伍方面，已形成稳定核心群体：吴钰祥、杨宁、何穗为发文量最高的核心作者，刘嘉俊、张俊杰、卫星、包大鹏等构成主力研究力量。合作特征呈现“小集群紧密集聚、整体网络松散割裂”的格局：仅围绕核心作者形成若干内部合作紧密的小型团队，跨团队、跨机构的学术合作严重不足，多数作者以独立研究或机构内合作为主，尚未建立覆盖全领域的广泛合作网络。

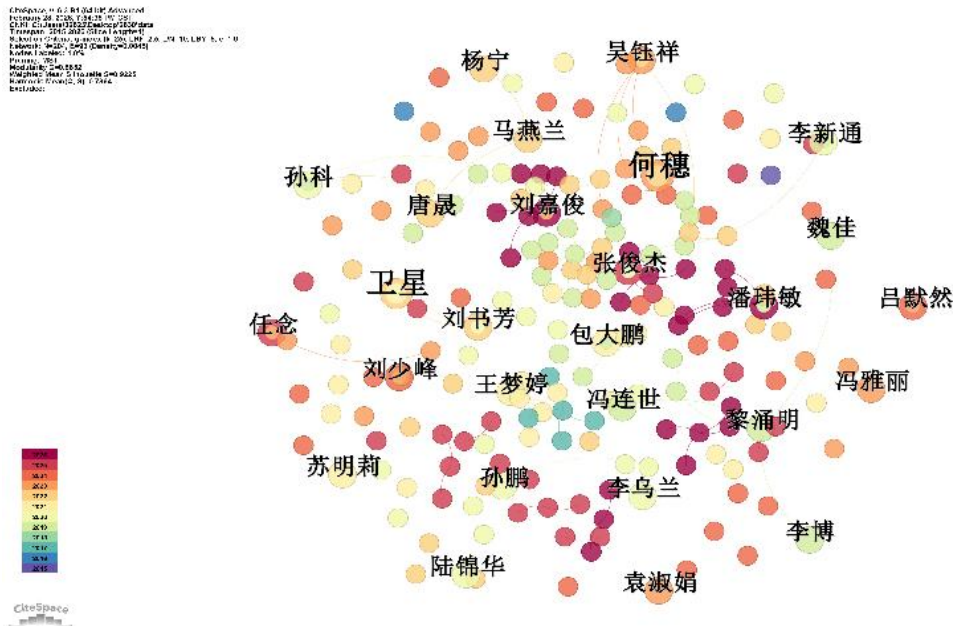


图 1 研究作者可视化

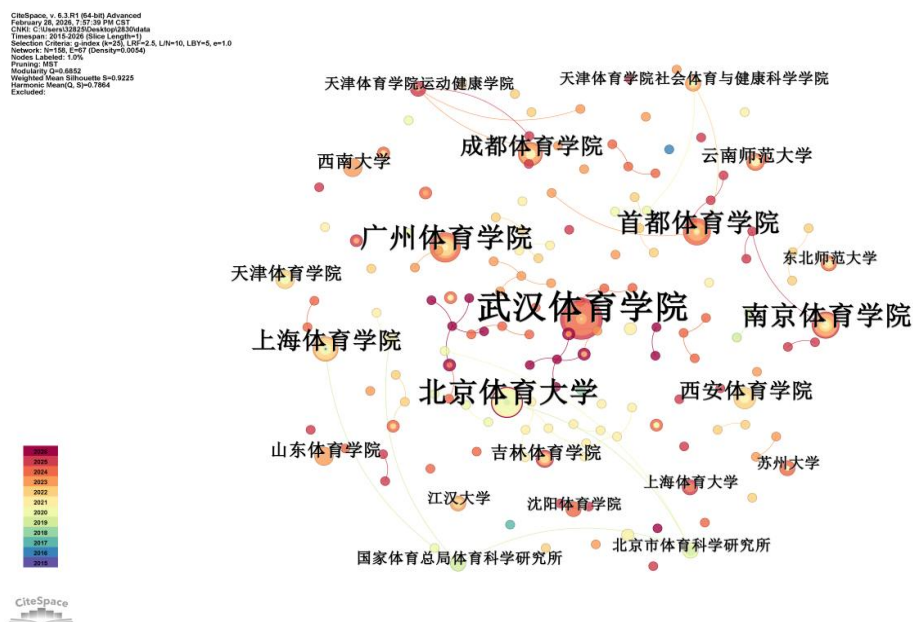


图 2 研究机构可视化

两张图谱的分析结果高度契合，呈现出三大核心特征：一是核心研究力量高度绑定，领域内高产核心作者均集中于武汉体育学院、北京体育大学等头部专业体育院校，形成了“核心机构 - 研究团队 - 高产作者”的完整研究梯队；二是合作短板高度一致，机构间跨域合作的匮乏，直接导致作者跨团队合作的碎片化，合作网络多局限于机构内部，制约了领域内研究资源的整合与成果推广；三是发展趋势高度同步，2024—2026 年新增发文机构与作者数量显著提升，2025 年首个 BFRT 操作规范《老年肌少症患者血流限制训练规范》等政策指南的发布及体卫融合政策的推动跨机构、跨团队的协同研究，进一步完善领域学术合作体系。

2.3 关键词聚类时间线分析

在关键词聚类分析的基础上,进一步绘制了关键词时间线图(见图3),直观呈现国内血流限制性训练领域研究主题的聚类结构及其时间演化脉络。基于2015—2026年CNKI文献数据,经聚类分析共生成19个主要研究聚类(#0至#18),网络节点数为250,连线数为324,网络密度为0.0104。聚类模块值(Modularity Q)为0.6852,平均轮廓值(Weighted Mean Silhouette S)为0.9225,表明聚类结构显著、内部同质性较高,聚类结果具有良好可信度。

从聚类标签看,研究主题涵盖基础概念、训练效应与应用方向。核心聚类#0“血流限制训练”与#2、#3、#10等共同构成稳定的术语体系。训练效应方面,#1“肌肉力量”、#4“代谢指标”、#6“无氧能力”、#12“爆发力”等反映对生理机制与运动表现的关注。应用层面表现为#5与#14两个“康复”聚类,以及#7“力量训练”、#8“有氧运动”等传统训练方式的融合。“运动表现”在多个聚类中高频出现,提示其具有广泛共识。

2015年至今,BFRT主要应用于康复与老年人群,聚焦促进康复、防止肌肉萎缩及提升老年人肌肉功能[6-8]。时间线图显示:早期(2015—2017年)以#0、#1、#2等基础主题为主,属概念引入期;中期(2018—2021年)分化出#4、#5、#6等方向,向生理机制与康复应用延伸;近期(2022—2026年)涌现#12、#13、#9等运动表现指标,并与#7、#8等传统训练方式深度交叉,表明研究已从“方法是否有效”转向“如何优化应用”,与运动表现提升及康复实践深度融合。

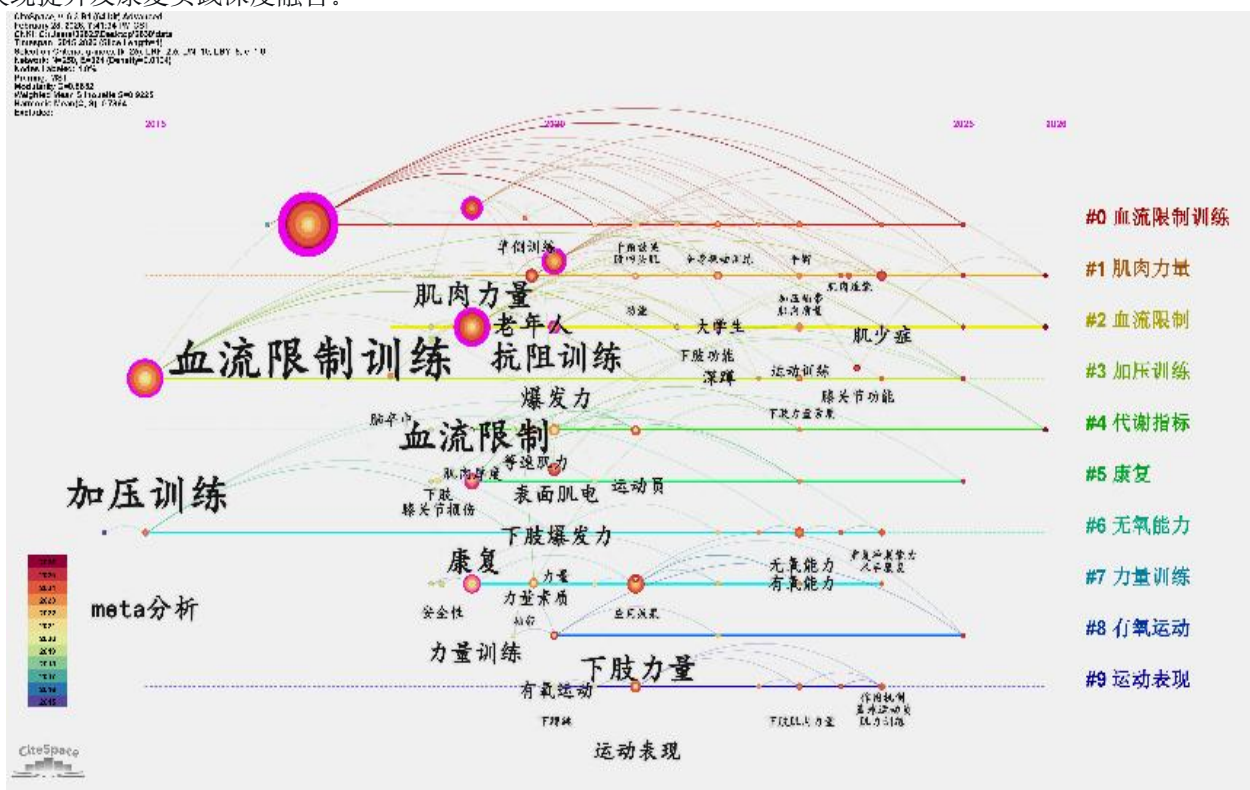


图3 关键词时间线图

2.4 关键词聚类分析

在关键词共现分析基础上进行聚类分析,得到关键词聚类图谱(图4),共获得9个主要聚类(#1至#9)。聚类标签可归纳为三个层次:一是基础概念层面,包括#2“血流限制”与#3“加压训练”,构成该领域的理论基石,表明术语体系已相对稳定。二是训练效应与生理机制层面,涵盖#1“肌肉力量”、#4“代谢指标”、#6“无氧能力”、#9“运动表现”。“肌肉力量”是最早关注的效应指标,“代谢指标”与“无氧能力”体现对深层机制的探索,“运动表现”作为高频聚类,凸显对实际运动能力提升的终极关切。三是应用与交叉融合层面,包括#5“康复”、#7“力量训练”、#8“有氧运动”,显示BFRT已与康复医学及传统训练方式深度融合,其中“康复”聚类的形成尤为值得关注。聚类关联方面,#2与#3作为核心概念聚类,与#1、#9等效应聚类及#5、#7等应用聚类紧密联系,共同构成以BFRT为核心、辐射力量提升、代谢调节、康复实践的研究网络,与时间线图(图1)的热点演变趋势相互印证。

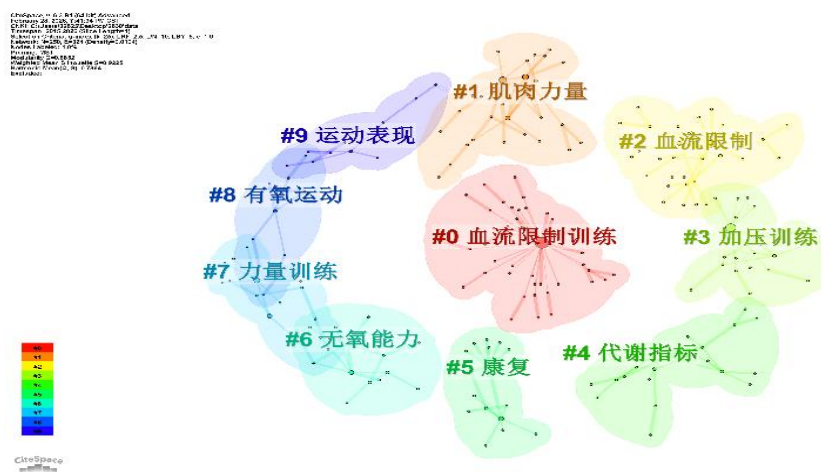


图4 关键词聚类图

2.5 关键词共现

图谱核心参数如图5所示：该网络包含250个关键词节点与324条共现连线，网络密度为0.0104，表明2015—2026年国内血流限制训练领域的研究主题已形成广泛关联网络，不同研究方向间内在联动性较强。模块度Q值为0.6852（高于0.3的阈值），社团结构清晰，主题聚类划分显著；加权平均轮廓值为0.9225（远高于0.7的可信阈值），各聚类主题同质性优异，聚类结果具有极高的可信度与学术说服力。

基于关键词共现网络的聚类特征，国内血流限制训练领域的研究热点可划分为四大核心主题集群，构成“基础效应与干预模式—临床康复与人群应用—竞技体育与表现提升—方法学探索与方案优化”的完整研究体系。1. 基础效应与干预模式研究以“血流限制训练”“加压训练”为核心，与“抗阻训练”“肌肉力量”“爆发力”等强关联。重点验证低负荷BFRT联合抗阻训练对肌肉维度、力量及下肢功能的提升作用，细化不同动作模式下的应用效果，为国内推广奠定理论与实证基础。2. 临床康复与特殊人群应用研究以“康复”为核心，关联“老年人”“肌少症”“脑卒中”“膝关节损伤”等。覆盖老年肌少症干预、运动损伤术后康复、脑卒中后运动恢复三大场景，突出低负荷BFRT在功能受限人群中的优势，弥补传统高负荷康复的局限，为临床转化提供实践支撑。3. 竞技体育与运动表现提升研究以“运动员”“运动表现”为核心，关联“无氧能力”“力量素质”“有氧能力”。聚焦竞技体育，探索BFRT对运动员力量、专项体能及表现的提升效应，以及非赛季体能维持、伤病期训练衔接等应用，为优化竞技训练方案提供新路径。4. 方法学探索与方案优化研究以“Meta分析”“表面肌电”为核心，关联“不同压力”“安全性”。重心从效应验证转向机制探索与方案规范：通过Meta分析整合证据、明确效应量与边界；同时聚焦压力参数优化、长期安全性评价，推动BFRT技术的标准化与规范化应用。



图5 关键词共线图

2.6 关键词突现分析与研究前沿演进

为识别国内血流限制训练领域的研究前沿、主题变迁及发展趋势，运用CiteSpace对纳入文献进行关键词突现检测，得到2015—2026年突现强度排名前25位的关键词突现图谱（图6）。

2019—2021年为早期探索与基础应用阶段。该阶段核心突现关键词包括心肺功能、青年男性、袖带、股四

头肌、热身及膝关节损伤。研究重点聚焦于基础干预工具、核心生理效应以及健康青年人群的应用效果，并逐步向运动损伤防护与局部肌群干预方向延伸。该阶段初步验证了该技术在膝关节损伤人群中的应用价值，为后续康复领域的深入研究奠定了基础。2022—2023 年为研究维度拓展与效应深化阶段。突现关键词呈现干预场景、人群覆盖及效应指标全面拓展的特征，核心主题涵盖肩袖损伤、上肢力量、运动训练、无氧能力、有氧能力、神经肌肉适应、加压抗阻训练及肌肉质量。其中，上肢力量以 1.78 的突现强度成为该阶段的核心热点。研究内容从单一的干预效应验证，逐步向多场景、多维度、多机制的深化探索延伸，推动该领域研究体系逐步完善。2024—2026 年为前沿聚焦与新兴趋势阶段。该阶段是当前及未来核心研究方向的集中爆发期，不仅突现关键词数量最多，且突现强度为全时段最高。其中，肌少症以 2.3 的突现强度位列全图谱首位，成为近年来最受关注的前沿主题。与此同时，下肢爆发力、运动表现、运动员、作用机制、术后康复、篮球运动员及膝关节等关键词集中突现。肌少症与下肢爆发力的突现区间持续至 2026 年，膝关节的突现区间覆盖 2025—2026 年，均延伸至研究时间范围的最新年份，是当前领域最具发展潜力的新兴研究热点。

综合关键词突现图谱分析可见，国内血流限制训练领域的研究演进逻辑清晰：研究重心从早期健康青年人群的基础效应验证，向临床康复、老年健康、竞技体育等多场景拓展；研究内容从单一干预效果验证，向机制阐释、方案优化及专项化应用深化。总体而言，该领域研究前沿高度契合健康中国战略与体育事业发展需求。老年肌少症干预、运动损伤术后康复及竞技体育专项表现提升，是当前及未来该领域的三大核心发展方向。

Top 25 Keywords with the Strongest Citation Bursts



图 6 关键词突现图

图注：Strength 值为突现强度，数值越高表示该时段内研究热度提升越显著；Begin 与 End 分别为突现起止年份，右侧红色色块标注各关键词的突现时间区间。

3. 结语与展望

本研究以 CNKI 数据库 2015—2026 年国内血流限制训练 (BFRT) 领域相关文献为对象，运用 CiteSpace 进行可视化计量分析，系统梳理了该领域的研究格局、热点脉络与发展趋势，得出以下结论：第一，研究热度持续攀升，主题不断深化。2015 年至今，国内 BFRT 研究发文量与作者规模稳步增长，研究主题从早期概念引入与基础效应验证，逐步向多场景应用、机制深度阐释及训练方案规范化延伸，已成为运动康复与体能训练领域的重要研究方向。第二，形成四大核心主题集群，构建完整研究体系。一是基础效应与干预模式研究，明确低负荷 BFRT 联合抗阻训练的核心生理效应，构成领域根基；二是临床康复与特殊人群应用研究，覆盖老年肌少症干预、运动损伤术后康复、脑卒中后功能恢复三大核心场景，是领域的主要应用方向；三是竞技体育与运动表现提升研究，聚焦运动员体能与专项能力提升，形成特色分支；四是方法学探索与方案优化研究，推动从效应验证向机制阐释、循证整合及方案标准化发展，体现深化趋势。第三，演进规律清晰，前沿热点契合国家战略需求。研究呈现三阶段演进：2015—2017 年为基础探索期，聚焦核心概念与基础效应验证；2018—2021 年为拓展深化期，向

临床康复、生理机制等维度延伸;2022—2026年为精细化发展期,研究焦点从“效应验证”转向“应用优化”,与专项运动、临床康复融合持续加深。其中,老年肌少症干预、运动损伤术后康复、竞技体育专项表现提升是当前及未来的核心前沿方向;作用机制阐释、加压参数优化、长期应用安全性评价是后续研究的核心突破点。第四,研究主体格局以专业体育院校为核心,但合作网络松散。武汉体育学院、北京体育大学为核心发文机构,吴钰祥、杨宁、何穗等为高产核心作者,形成完整研究梯队。然而,整体合作网络较为松散,跨机构、跨区域的深度协同不足,作者合作呈现“小集群集聚、整体网络割裂”的特征,制约了研究资源整合与成果转化。

参考文献:

- [1] 魏佳,李博,杨威等.血流限制训练的应用效果与作用机制[J].体育科学,2019,39(04):71-80.
- [2] Sato Y.The history and future of KAATSU Training[J].International Journal of Kaatsu Training Research, 2005(1): 1-5
- [3] 李新通,潘玮敏,覃华生等.血流限制训练:加速肌肉骨骼康复的新方法[J].中国组织工程研究,2019,23(15):2415-2420.
- [4] Chen C.CiteSpace II: Detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature[J],2006, 57(3): 359-377.
- [5] 陈巍,李娟,陈庆合等.抗阻训练中运动肌血流限制对肥胖者体成分及胰岛素敏感度的影响[J].中国运动医学杂志,2010,29(06):646-649.
- [6] 章丽莉,杨玉珊,郑洁皎.慢性踝关节不稳姿势稳定性的研究进展[J].中国康复理论与实践,
- [7] 2019, 25(08): 908-912.
- [8] 张阳,袁金凤,张秋霞,等.单侧功能性踝关节不稳者单腿下落过程的生物力学研究[J].北京体育大学学报, 2014, 37(8): 87-91.
- [9] 王梦婷,古艳萍,任文博,等.运动干预功能障碍人群血流限制训练的文献热点可视化分析[J].中国组织工程研究, 2021, 25(8)
- [10] 赵红波,荣湘江,刘华,马婷婷,何艳,张琦.血流限制性阻力训练对膝关节伤病者疼痛和肌肉功能影响的meta分析[J].中国康复医学杂志,2023,38(04):510-515.
- [11] 陈蓉,曾庆,巩泽等.不同模式下血流限制治疗老年性肌肉减少症的效果与安全因素[J].中国组织工程研究,2021,25(32):5215-5221.
- [12] 雷森林,张明辉,马春莲等.加压抗阻训练的肌肉效应、量效关系及生理机制[J].中国组织工程研究,2023,27(26):4254-4264.
- [13] Whiteley R. Blood flow restriction training in rehabilitation: a useful adjunct or Lucy's latest trick?[J].JOrthop Sports Phys Ther,2019,49(5):294—298.

Research hotspots and trend visualization analysis of domestic blood flow restriction training based on CiteSpace

Jin Xin¹, Shi Shimeng¹

(1. Chengdu University, Chengdu 610106, Sichuan)

Abstract: This study used bibliometric methods combined with CiteSpace visualization tools to systematically analyze the domestic literature on blood flow restriction training (BFRT) included in CNKI, revealing the distribution of research forces, institutional cooperation networks, hot topic clustering, and evolutionary paths in this field. The results show that in the past decade, the attention to BFRT research in China has continued to rise and has become an important direction in sports science and rehabilitation medicine. The current research focuses on the adaptive mechanisms of muscles and strength, forming stable branches around cardiovascular responses, metabolic changes, and rehabilitation interventions. Long term adaptive changes in the cardiovascular and metabolic systems are becoming an emerging hotspot. The low load and high efficiency characteristics of BFRT have been widely validated in clinical scenarios such as muscle atrophy improvement, postoperative functional recovery, and exercise intervention in the elderly population, and its rehabilitation application value is increasingly prominent. In the future, it is necessary to deepen the research on the physiological mechanism of BFRT and expand its precise application in special populations.

Keywords: blood flow restriction training; Bibliometric analysis; Citespace; Research hotspots; sports rehabilitation