

基于知识图谱的中外运动损伤生物力学研究 热点可视化分析

呼浩东, 马张静

天津师范大学体育科学学院, 天津

收稿日期: 2023年7月13日; 录用日期: 2023年8月14日; 发布日期: 2023年8月23日

摘要

目的: 探讨运动损伤生物力学研究的内容, 刨析研究的热点。方法: 以Web of Since数据库和CNKI数据库为数据源, 检索2014年至2023年运动损伤生物力学研究相关文献, 采用CiteSpace软件对国家/地区、机构、作者和关键词进行科学计量和可视化分析, 并总结近10年该领域研究热点内容。结果: 近年来国际运动损伤生物力学研究数量稳步增长; 发文量最多的国家为美国; 国内外研究机构主要由高校构成; 国内外高产作者间均有一定的合作; 国内外研究热点均集中于运动损伤的风险和康复。结论: 运用生物力学的先进方法能够探寻运动损伤的发生机制, 从而有效减少运动损伤。运动损伤生物学研究的发展充分说明了学科交叉与融合将越来越明显, 继续加强国际间合作, 对我国体育科学发展至关重要。

关键词

运动损伤, 生物力学, 知识图谱, CiteSpace

Hotspot of Biomechanics of Sports Injury in China and Abroad: A Visualization Analysis Based on Knowledge Graph

Haodong Hu, Zhangjing Ma

College of Sports Science, Tianjin Normal University, Tianjin

Received: Jul. 13th, 2023; accepted: Aug. 14th, 2023; published: Aug. 23rd, 2023

Abstract

Objective: To explore the contents and hotspot of biomechanics of sports injury. **Methods:** Using Web of Since and CNKI database as data sources, literature related to biomechanics of sports in-

文章引用: 呼浩东, 马张静. 基于知识图谱的中外运动损伤生物力学研究热点可视化分析[J]. 体育科学进展, 2023, 11(3): 500-512. DOI: [10.12677/aps.2023.113074](https://doi.org/10.12677/aps.2023.113074)

jury research from 2014 to 2023 was retrieved. CiteSpace software is used for science-based and visual analysis of countries or regions, institutions, authors and keywords, and the research hotspots in this field in recent 10 years are summarized. Results: In recent years, the number of international research on biomechanics of sports injury increased steadily; the country with the largest number of articles is the United States; research institutions at home and abroad are mainly composed of universities; there is some cooperation between the high-yield authors at home and abroad. The research focus at home and abroad is on the risk and rehabilitation of sports injury. Conclusion: Using the advanced method of biomechanics can explore the mechanism of sports injury, so as to effectively reduce sports injury. The development of sports injury biology research fully shows that the interdisciplinary and fusion will become more obvious, and it is very important to strengthen international cooperation for the development of sports science in China.

Keywords

Sports Injury, Biomechanics, Knowledge Graph, CiteSpace

Copyright © 2023 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

自人类社会形成以来，人类就从未停止过强身健体的活动。经常参与体育运动不仅能强健体魄、增强自信心、缓解焦虑、宣泄不良情绪，它还能增强我们的社会适应能力。尽管体育运动的益处非常多，但它也时刻伴随着损伤的风险。随着竞技体育竞争压力的日益激烈，几乎所有专业和业余运动员都承受着运动损伤的痛苦。运动损伤的机制可以分为接触性损伤机制和非接触性损伤机制，接触性损伤一般来自运动中的意外接触和碰撞，非接触性损伤则主要是由一系列内部和外部损伤风险因素导致^{[1] [2]}。而生物力学研究是确定运动损伤风险因素和损伤机制的关键。

运动损伤会严重影响运动员的比赛成绩，降低运动员的生活质量，也会给他们带来心理上的负担，甚至提前结束他们的职业生涯。对运动损伤的生物力学研究，有助于减少运动员运动损伤的发生，保障运动员的训练与生活，从而提高竞技水平。本文以中国知网(CNKI)数据库和 Web of Science (WoS)数据库中收录的相关文献为研究对象，使用 CiteSpace (版本号 6.2.R3)知识图谱分析软件，分析近 10 年国内外运动损伤生物力学研究的思路与热点，以期为后续研究提供理论依据。

2. 资料与方法

2.1. 数据来源

本研究以 Web of Science Core Collection (WoS 核心合集)为数据源进行检索。在主题词一栏输入 TS = sports injury OR exercise injury OR athletic injury，得到 50395 条记录，记录为#1；在主题词一栏输入 TS = biomechanics，得到 65991 条记录，记录为#2；最后组配#1 和#2，检索式选择#1 AND #2，设置出版日期为 2014 年至 2023 年，设置文献语言为“English”，文献类型为“Article”，最终得到 1049 篇文献作为外刊基础数据。国内方面，以中国知网(CNKI)为数据源进行检索，应用“高级检索”功能，以“运动损伤”为主题，检索同时间范围内的所有学术期刊，且限定来源为“SCI、EI、北大核心、CSSCI 和 CSCD”，

选取应用生物力学方法研究运动损伤的文献 120 篇；以“生物力学”为主题，按相同条件进行检索，选取涉及运动损伤机制、风险等方面的文献 73 篇。经逐一检查文本内容后，最终锁定 193 篇文献作为中文基础数据。所有文献的检索与下载日期为 2023 年 6 月 1 日。

2.2. 方法与工具

本研究采用知识图谱(knowledge graph)进行文献分析，知识图谱可形象地展示某一研究领域的知识结构和前沿热点等重要信息[3]。使用 CiteSpace (版本号 6.2.R3)作为研究工具，分别以作者、国家/地区、机构和关键词为节点，时间阈值为 2014 年至 2023 年，时间切片为 1 年，节点筛选方式选择“TOP N”，阈值设定为 50，运行软件并绘制图谱，对高频关键词和高产国家/地区、机构和作者进行深入分析，总结近 10 年运动损伤生物力学研究的热点内容。

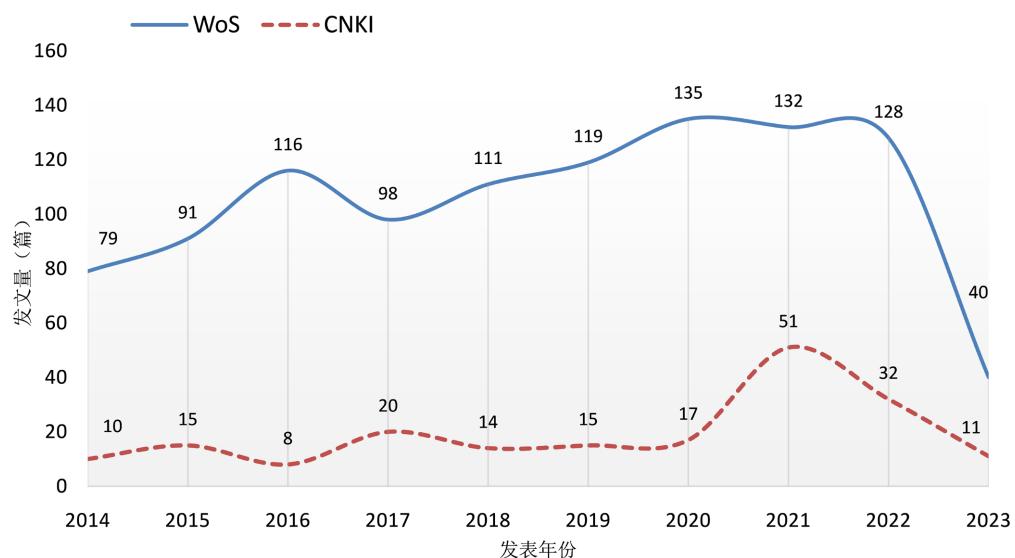
3. 结果

3.1. 文献分布

3.1.1. 发文量分析

2014 年至 2023 年国内外运动损伤生物力学研究的发文量趋势如图 1 所示。国际方面，近十年发文量整体上呈平稳上升趋势。国内相关研究的高水平期刊相对较少，2014 年至 2020 年发文量平稳，2021 年出现激增，2022 年又呈现下降趋势，但相较于 2014 年发文量明显增多。

运动损伤严重威胁着运动员的生活以及竞技水平，我们通过生物力学研究可以有效预防运动损伤的发生[4]，因此，运动损伤的生物力学研究越来越受到研究人员的重视，无论是国际还是国内，研究成果数量都有所增长。



注：文献检索与下载日期为 2023 年 6 月 1 日，因此 2023 年发文量只包含上半年。

Figure 1. The number of related research publications from 2014 to 2023

图 1. 2014 年至 2023 年相关研究发文量

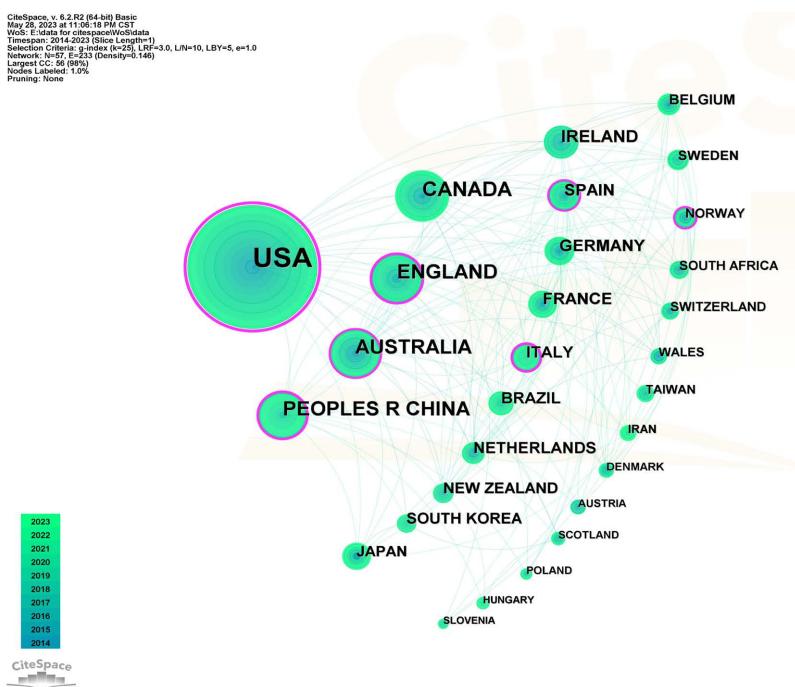
3.1.2. 国家/地区分析

对 WoS 数据库中选取的文献进行可视化分析发现，有 57 个国家/地区发表过涉及运动损伤生物力学研究的文献，其中高产国家/地区见图 2。

发文量最多的国家为美国(520 篇), 占整体的 49.57%; 紧随其后的分别是加拿大(97 篇)、英国(89 篇)、澳大利亚(88 篇)、中国(79 篇); 爱尔兰、西班牙、德国、法国和意大利分别列第 5 至 10 位。

从文献的中心性来看, 美国最高(0.61), 中国紧随其后(0.31), 意大利排名第三位(0.21)。挪威虽发文量没有进入前十位, 但其中心性为 0.10, 位于第七位。

运动损伤生物力学研究具有世界多个国家/地区密切合作的趋势。无论是发文量还是中心性, 运动损伤生物力学研究都以欧美发达国家/地区为主。我国虽发文量位于第五位, 但中心性仅次于美国, 这与近年来我国在体育科学领域不断加强国际间合作与交流有关, 这说明不断加强国际合作, 对我国体育科学发展至关重要。



注: 图谱中节点的大小与发文量成正比。具有高中心性(centrality)的节点是连接沟通其他节点的关键枢纽[5], 重要的节点(中心性 > 0.1)会被加上一层紫色外圈。

Figure 2. Distribution of high-production countries/regions with relevant publications from 2014 to 2023
图 2. 2014 年至 2023 年发表相关文献的高产国家/地区分布

3.1.3. 高产机构分析

国际方面, 北卡罗来纳大学发文量(62 篇)位列第一, 俄亥俄州立大学发文量(44 篇)位列第二, 发文量并列第三的是英国研究图书馆和北卡罗来纳大学教堂山分校(39 篇)。发文量前 10 的机构包括 7 所高校, 说明高校是运动损伤生物力学研究的主要机构。发文量前 10 的机构有 8 所在美国, 体现出了美国在该研究方向上的领先地位。见图 3。

国内方面, 发文量前三的单位分别是北京体育大学运动人体科学学院(17 篇)、北京体育大学(16 篇)、上海体育学院运动健身科技省部共建教育部重点实验室(15 篇)。发文量前 10 的机构有 9 所来自高校, 说明在我国, 高校同样是该研究的主要机构。从图谱可以看出, 与欧美国家相比, 我国各个机构节点之间连线较少, 说明我国在该领域各机构之间合作相对不足, 今后可加强国内机构之间合作研究。见图 4。

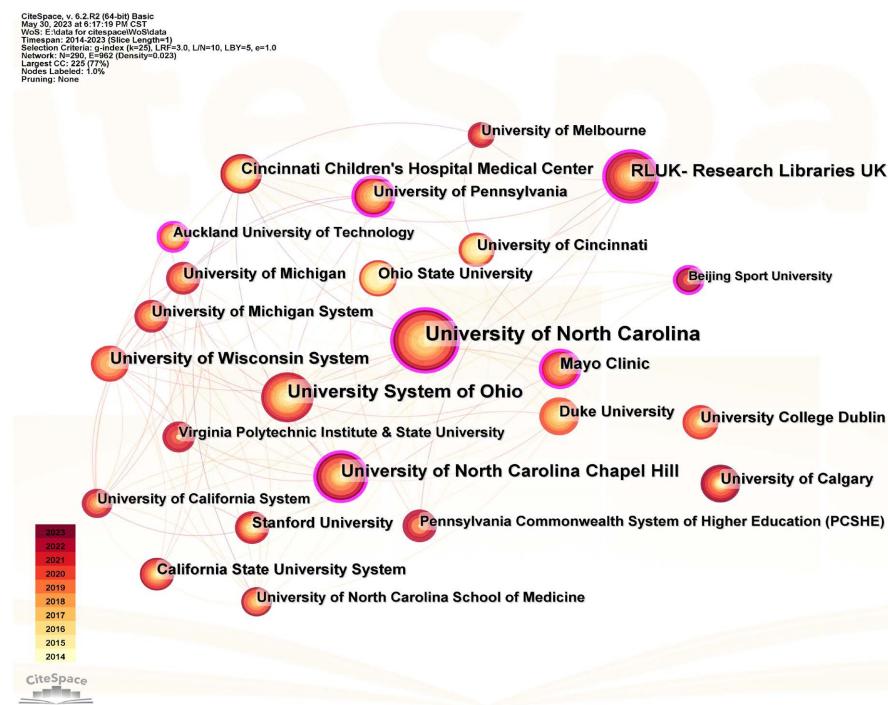


Figure 3. The distribution of high-yielding institutions publishing relevant literature in the WoS database from 2014 to 2023
图 3. WoS 数据库 2014 年至 2023 年发表相关文献的高产机构分布

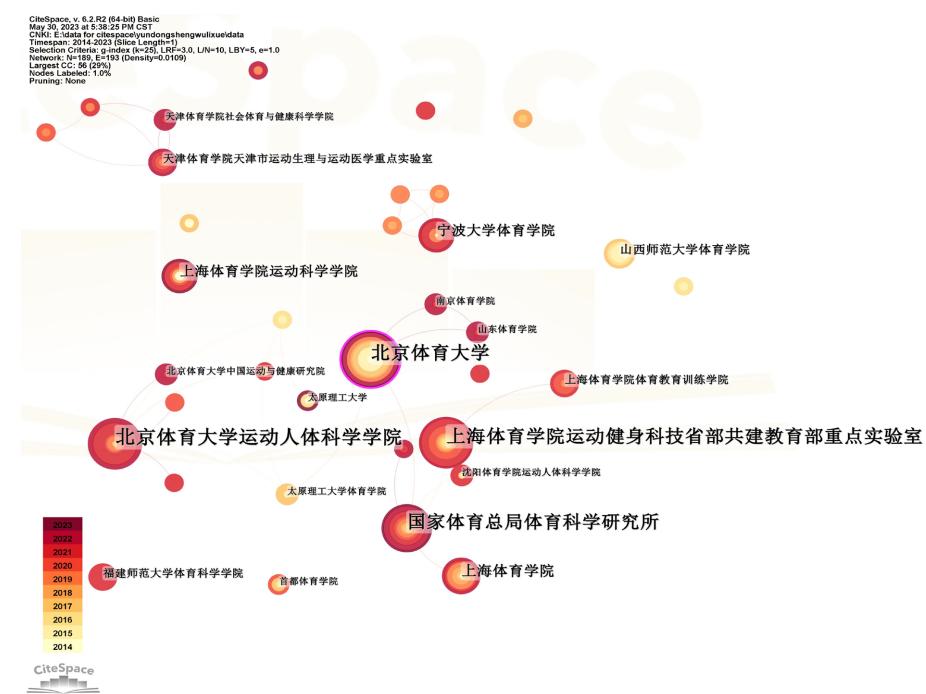


Figure 4. CNKI database from 2014 to 2023, the distribution of high-yielding institutions that published relevant literature
图 4. CNKI 数据库 2014 年至 2023 年发表相关文献的高产机构分布

3.1.4. 高产作者分析

本研究运用文献计量学中的普莱斯定律进行高产作者分析。该定律可以判断学者是否在某一领域做

出了重要贡献, 通过公式 $m = 0.749\sqrt{n_{\max}}$ 进行计算[6]。其中, n_{\max} 为某个领域中发文量最多的学者所发表的论文总数, m 则被认为是该领域被认可为杰出学者(高产作者)的最低发文量, 本实验 WoS 数据库和 CNKI 数据库高产作者的最低发文量均为 3 篇。根据计算结果制作图谱, 运动损伤生物力学研究的国内外高产作者分布见图 5、图 6。WoS 数据库和 CNKI 数据库前 5 位高产作者见表 1、表 2。

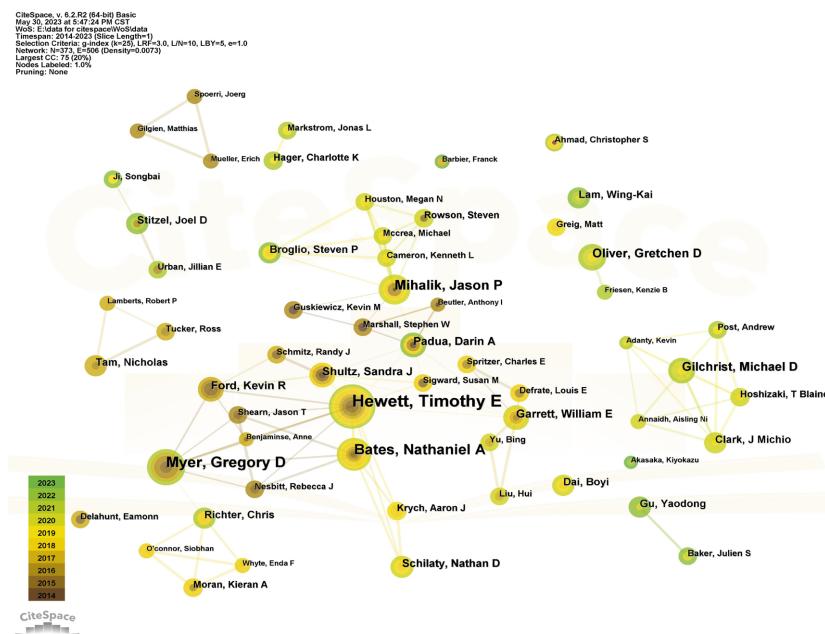


Figure 5. The distribution of high-yield authors who published relevant literature in the WoS database from 2014 to 2023
图 5. WoS 数据库 2014 年至 2023 年发表相关文献的高产作者分布

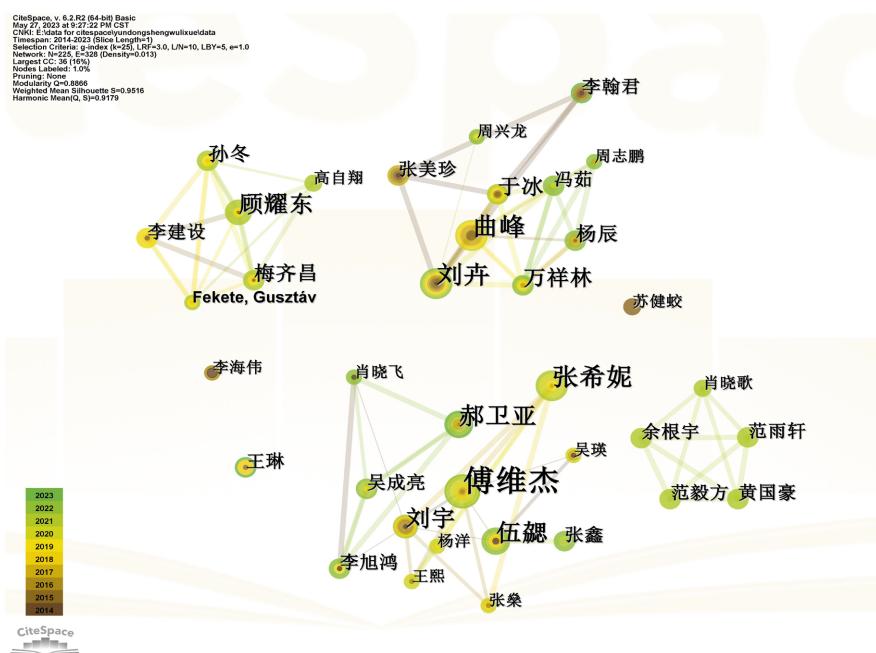


Figure 6. The distribution of high-yield authors publishing relevant literature in the CNKI database from 2014 to 2023
图 6. CNKI 数据库 2014 年至 2023 年发表相关文献的高产作者分布

在作者合作上，WoS 数据库和 CNKI 数据库中发文量靠前的作者均有一定的合作关系。国际方面，Heweet, TE、Myer, GD、Ford, KR 等学者在相关领域研究合作最为密切，该团队主要进行前交叉韧带损伤的生物力学研究，其最新的合作研究了进入青春期对高中女性运动员侧切动作生物力学特征的影响[7]以及利用膝关节外翻角度和外翻力矩预测 ACL 损伤的可行性分析[8]。

国内方面，上海体育学院以傅维杰为主的团队在相关领域主要围绕跑步损伤、运动疲劳以运动装备，在该领域其最新研究分析了即刻转换触地方式对着鞋跑步时内侧纵弓在体运动学的影响[9]。北京体育大学以曲峰、刘卉等为主的团队在相关领域的研究主要围绕下肢运动损伤，在该领域其最新研究分析了髌股关节痛患者在跑步等活动中的生物力学特征[10][11]。

Table 1. The top five authors of relevant literature published in the WoS database from 2014 to 2023

表 1. WoS 数据库 2014 年至 2023 年相关文献发文量前五作者

作者	发文量(篇)	现所属机构
Heweet, Timothy E	25	耶鲁大学
Myer, Gregory D	23	埃默里大学
Bates, Nathaniel A	16	俄亥俄州立大学韦克斯纳医学中心
Mihalik, Jason P	16	北卡罗来纳大学教堂山分校
Ford, Kevin R	11	高点大学

Table 2. CNKI database from 2014 to 2023, the top five authors of related literature

表 2. CNKI 数据库 2014 年至 2023 年相关文献发文量前五作者

作者	发文量(篇)	现所属机构
傅维杰	15	上海体育学院
曲峰	11	北京体育大学
刘卉	10	北京体育大学
张希妮	10	上海体育学院
郝卫亚	10	国家体育总局体育科学研究所

3.2. 研究热点

WoS 数据库和 CNKI 数据库相关研究高频关键词见图 7、图 8，经分析，可将高频关键词分为 3 类，分别为损伤部位/类型、研究主题/方向以及研究手段，见表 3。

无论是 WoS 数据库和 CNKI 数据库，运动损伤生物力学研究的损伤部位/类型都集中于下肢损伤，尤其是膝关节损伤。膝关节是人体最大、最复杂的关节，起到承担体重、传递负荷、参与运动等功能，因为其承受的力和力矩较大，又处于人体最长的两个杠杆臂之间，所以很容易受到损伤[12]。在膝关节损伤中，前交叉韧带损伤的出现频率最高，说明前交叉韧带损伤是膝关节损伤中最常见的运动损伤，前交叉韧带损伤与其所承受的负荷超过自身所承载的极限有关[13]，因此运动损伤生物力学研究多聚焦于前交叉韧带损伤。

在研究主题/方向方面，国内外相关研究都集中于探究运动损伤风险和运动损伤的康复手段。相比之下，国内在该领域对于运动损伤的预防和运动员损伤后重返赛场的研究表现出不足。

在研究手段上，国内外运动损伤生物力学研究均借用生物力学中动力学和运动学等先进的分析和测量手段。

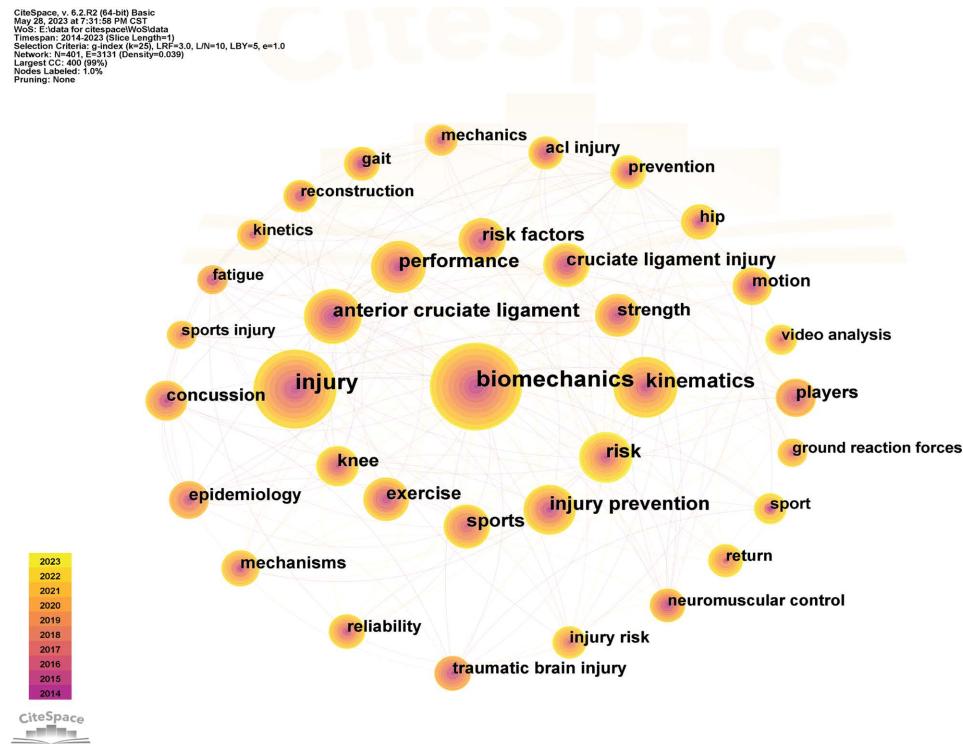


Figure 7. Keyword co-occurrence map of relevant documents published in the WoS database from 2014 to 2023
图 7. WoS 数据库 2014 年至 2023 年发表相关文献的关键词共现图

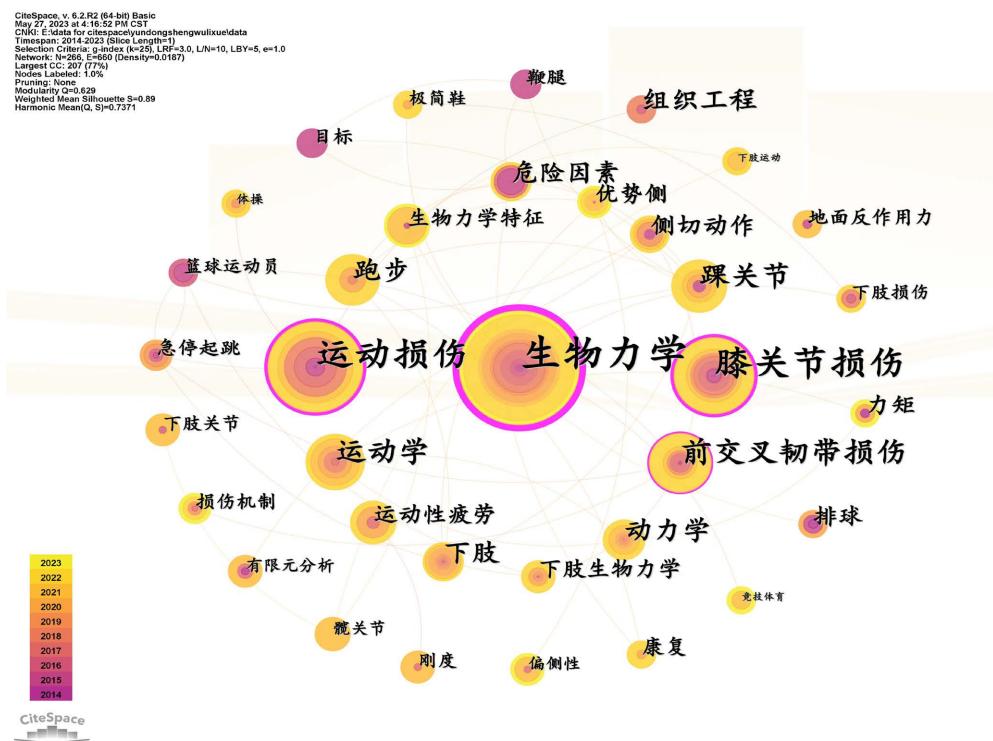


Figure 8. Keyword co-occurrence map of related documents published in the CNKI database from 2014 to 2023
图 8. CNKI 数据库 2014 年至 2023 年发表相关文献的关键词共现图

Table 3. Classification of high-frequency keywords in sports injury biomechanics research from 2014 to 2023
表 3. 2014 年至 2023 年运动损伤生物力学研究高频关键词分类

分类		关键词
损伤部位/类型	WoS	acl injury/anterior cruciate ligament (前交叉韧带); cruciate ligament injury (交叉韧带); knee (膝); traumatic brain injury (脑外伤); hip (髋); concussion (脑震荡)
	CNKI	膝关节损伤、前交叉韧带损伤、踝关节、下肢、髋关节
研究主题/方向	WoS	injury/sports injury (运动损伤); strength (力量); performance (表现); risk factors/risk/injury risk (损伤风险); exercise/sports/sport/motion (运动); injury prevention/prevention (损伤预防); neuromuscular control (神经肌肉控制); return (重返赛场); ground reaction force (地面反作用力); gait (步态); reconstruction (修复); fatigue (疲劳); reliability (稳定性); mechanisms (生物学机制)
	CNKI	运动损伤、侧切动作、危险因素、运动性疲劳、生物力学特征、跑步、优势侧偏侧性、刚度、康复、损伤机制、地面反作用力、力矩、竞技体育、急停起跳、排球、篮球、体操、目标、鞭腿、极简鞋
研究手段	WoS	Biomechanics (生物力学); kinematics (运动学); kinetics (动力学); video analysis (视频分析); mechanics (力学); epidemiology (流行病学)
	CNKI	生物力学、运动学、动力学、有限元分析

4. 运动损伤生物力学研究现状

4.1. 运动损伤的分布

运动损伤是指人体在体育运动过程中所发生的以软组织损伤为主的各种伤害[14]。常见的运动损伤有肌肉韧带的损伤及断裂，挫伤，四肢、颅骨、脊椎骨折，关节脱位，脑震荡，内脏破裂等[14]。运动损伤较多发生在人体的四肢关节、头部、颈部和脊柱等部位，其中人体下肢损伤的风险要高于上肢，而下肢损伤中最常见的是膝关节损伤[14] [15]。Lambert 等[16]对 7809 名来自不同项目的运动员进行了一项回顾性研究，结果显示在发生损伤的运动员中损伤最多部位分别是膝关节(28%)和肩关节(14%)，最容易发生损伤的项目分别是团体性球类项目(64%)、格斗(54%)和持球拍类(51%)项目。我国学者陈培航[17]等分析了 36404 名参加奥运会或青奥会的运动员在比赛中的损伤情况，研究发现运动损伤总发生率为 11.1%，常见的损伤部位依次是膝关节(12.2%)、大腿(11.0%)、踝关节(9.1%)，发生损伤最多的项目分别是小轮车、跆拳道、足球、七人制橄榄球。Gimigliano 等[18]总结分析了大量东京奥运会项目的运动损伤领域文献，发现射箭和棒球是上肢损伤风险最高的项目，而足球、篮球、排球、体操等项目的下肢损伤风险高于 50%，说明在分析运动损伤部位时要充分考虑专项的特点。Bernstorff 等[19]分析了 7279 例运动损伤，发现不同的项目，患者的年龄区间具有显著的特点，如体操项目出现损伤的患者年龄集中在 13~19 岁，而自行车项目出现损伤的患者集中在 40~55 岁；且在不同项目中，男性和女性损伤的风险也不同，如足球项目中男性损伤的风险更大，而马术项目女性损伤的风险更大。

综上所述，从整体上看下肢损伤是最常见的运动损伤，但运动损伤的分布也表现出了鲜明的专项性、年龄性以及性别差异性的特点。

相较于国外，我国近年来对于运动损伤的流行病学研究较少，今后可以结合我国当代运动员训练和比赛的发展，有针对性的分析我国当代运动员发生运动损伤的特点。

4.2. 运动损伤的生物力学原理

在分析运动损伤分布特点的基础上，我们还需要进一步探讨运动损伤产生的原因和过程，以便我们了解导致损伤的风险因素，进而采取相应的措施预防损伤。

无论是在运动还是日常生活中，人体各个组织和器官都会承受着一定的力学负荷，正常范围内的力学负荷不仅不会造成损伤，而且是有机体维持正常生命活动所必须的，可一旦在运动过程中组织和器官承受的力学负荷超过了正常范围就会导致运动损伤[20]。人体的骨骼、肌肉和关节等组织都具有一定的弹性，可以产生一定的形变[21]，运动损伤按时间因素和形变速率来划分又可以分为急性损伤和慢性损伤。急性损伤就是瞬间一次或几次力学负荷超过阈值导致(如关节、肌肉拉伤等)，而慢性损伤就是指长时间重复的过力学负荷产生了一些微小的损伤，但机体没有足够的时间对重复性负荷产生的损伤进行修复，这时慢性损伤或过劳性损伤就会出现(如慢性腱鞘炎、髂胫束综合症等) [14] [20]。Ritzer 等[22]使用美国高中运动损伤监测系统 RIOTM 预计全美在 13 年间发生了 17434646 例高中运动员运动损伤，其中急性损伤占 92%，慢性或过劳性损伤占 8%，且很多慢性损伤都是由急性损伤未痊愈而重复发作导致。这说明绝大多数运动损伤都是在极短的时间内甚至是一瞬间导致的，我们只有利用生物力学的先进技术才能对其进行研究。

4.3. 运动损伤的生物力学研究方法

运动损伤的发生机制一直是运动损伤生物力学的研究热点。在传统的运动生物力学实验中，一般通过实验对象完成特定运动动作，测量动作过程中的运动学、动力学和肌电图学等指标，并结合人体特定组织或器官的生理学和解剖学特点，从而分析诱发损伤的因素。但如上所述，运动损伤表现出了鲜明的专项性，不同项目的运动员在相同动作中都会表现出完全不同的生物力学特征[23]，故运动损伤机制的研究要针对具体的专项和动作而展开。

对于前交叉韧带损伤(ACL 损伤)的研究可能是迄今为止最多的运动损伤生物力学研究[20]。在相关领域发文量位居榜首的 Hewett, TE 和其团队近年来一直致力于前交叉韧带损伤机制的研究，该团队分析了篮球、排球和足球三个项目的青少年运动员侧切动作的生物力学特征随年龄增长产生的变化，发现三个项目的运动员随着年龄趋向成熟，侧切动作都变得更加直立，可能会产生更大的膝关节负荷[24]。除人体实验外，该团队还开发了一种 ACL 损伤模拟装置，能够通过气动执行器将膝关节外展力矩、向前剪切力和胫骨内旋载荷施加到标本上[25]，并通过这种装置模拟了男女在跳跃着地时前交叉韧带的负荷，发现女性在着地时膝关节处表现出了更大的力和力矩，说明这可能是女性更容易产生 ACL 损伤的原因[26]。除了对损伤机制的探讨，该团队也关注着运动员 ACL 损伤术后的恢复，并进一步证明了神经肌肉训练(Neuromuscular Training, NMT)能够有效改善运动员术后的生物力学缺陷[27] [28]。

与复杂的团体性项目相比，跑步和行走看起来是人类最简单的活动，但它们也会引起运动损伤。国內在相关领域研究较多的傅维杰和其团队在近几年始终关注着跑步损伤风险的生物力学研究，该团队研究发现着鞋跑步会影响人体足部的活动度，相较于裸足跑步可能具有更大的损伤风险[29] [30]。裸足跑还可以使跑步时垂直冲击力峰值减小或者消失，并同时减小垂直负载率，极简鞋就是在提供保护作用的同时尽可能使足部接近裸足状态[31]。该团队分析了着极简跑鞋和传统跑鞋跑步时的生物力学特征差异，研究发现习惯着传统跑鞋并采用后跟着地的跑者在穿着极简鞋后显著增加了跟腱的负荷特征，而足触地角显著降低，建议跑者可以循序渐进地过渡至极简鞋[32]。该团队还研究了疲劳对跑步的生物力学特征影响，研究发现在跑步至疲劳的过程中人体是通过增加髋/膝关节活动度、减小下肢刚度、降低重心等策略来保持冲击和下肢姿态的稳定[33]；另外，在跑步疲劳后，高缓冲鞋能够有效地衰减冲击，进而降低疲劳后损伤的风险[34]。

运动损伤生物力学研究的主要研究对象是人体，但受到伦理、技术难度和资金等方面的限制，因而除实验法外，计算机仿真和统计模拟法也是运动损伤生物力学研究的主要方法。计算机仿真法需要对人体的实际运动进行捕捉，根据人体骨骼、肌肉等组织的生理、解剖和力学特征建立数学模型，再根据逆

动力学或正动力学运算，获得人体关节的力、力矩、功率和功等力学指标[35]。高曦等[36]采用建模仿真法，通过对不同坡度地面落地动作进行研究，发现与水平落地相比斜坡落地对膝关节压力更大，且随着斜坡坡度的增大，膝关节损伤风险提高。统计模拟法即蒙特卡罗(Monte Carlo)模拟法，是把概率现象作为研究对象的数值模拟方法。运动损伤的产生是内、外多种因素共同导致的，传统实验或计算机仿真并不能考虑到所有相关影响因素的随机变化对损伤产生的影响，因此蒙特卡罗模拟法可以分析损伤与损伤风险因素的关系[20]。张美珍等[37]建立了前交叉韧带负荷的生物力学模型，通过蒙特卡罗方法获得了模拟的 ACL 损伤试跳数据，经分析发现运动水平和性别都会影响 ACL 损伤风险因素，且性别对危险因素的影响受运动水平的影响。

5. 结语

近 10 年来，国内外运动损伤生物力学研究发文量整体上均有所上涨，但国际研究热度要高于国内；美国等欧美发达国家是该领域研究的中坚力量，我国在该领域虽起步较晚，但与其他国家有着密切的合作关系，发展潜力巨大；无论国内还是国外，该领域研究的最主要机构都来自高校；国内外的高产作者之间都有广泛的合作关系，为该领域的发展打下了坚实基础，为运动损伤的生物力学研究做出了重要贡献。

国内外运动损伤生物力学研究紧紧围绕损伤风险、康复和损伤机制的探究。近年来，学者们不断通过生物力学的先进研究方法，分析损伤的各种风险因素，探究不同损伤的发生机制，揭示各种因素作用下产生损伤的规律，并在此基础上制订相应的预防措施帮助运动员减少运动损伤。运动损伤虽不会彻底消失，但随着运动损伤生物力学研究的不断深化，我们会越来越了解运动损伤，对损伤的预防也必将更加有效。

参考文献

- [1] 张津沁, 崔建, 高晓麟, 等. 足球运动落地错误评分系统测试非接触性损伤风险标准评估[J/OL]. 中国组织工程研究: 1-6. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/21.1581.R.20230523.1723.027.html>, 2023-06-11.
- [2] Bahr, R. and Krosshaug, T. (2005) Understanding Injury Mechanisms: A Key Component of Preventing Injuries in Sport. *British Journal of Sports Medicine*, **39**, 324-329. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2005.018341>
- [3] 周春雷, 张猛. 知识图谱软件学术影响力研究[J]. 信息资源管理学报, 2019, 9(1): 85-93.
- [4] Hewett, T.E. and Bates, N.A. (2017) Preventive Biomechanics: A Paradigm Shift with a Translational Approach to Injury Prevention. *The American Journal of Sports Medicine*, **45**, 347-353. <https://doi.org/10.1177/0363546516686080>
- [5] Chen, C. (2014) CiteSpace II: Detecting and Visualizing Emerging Trends and Transient Patterns in Scientific Literature. *The Journal of the Association for Information Science and Technology*, **57**, 359-377. <https://doi.org/10.1002/asi.20317>
- [6] Francisco, L., Eduard, V., Gabriel, R., et al. (2006) Bipolar Disorder as an Emerging Pathology in the Scientific Literature: A Bibliometric Approach. *Journal of Affective Disorders*, **92**, 161-170. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2006.02.006>
- [7] Chia, L., Myer, G.D., Hewett, T.E., et al. (2021) When Puberty Strikes: Longitudinal Changes in Cutting Kinematics in 172 High-School Female Athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, **24**, 1290-1295. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2021.07.011>
- [8] Bates, N.A., Myer, G.D., Hale, R.F., et al. (2020) Prospective Frontal Plane Angles Used to Predict ACL Strain and Identify Those at High Risk for Sports-Related ACL Injury. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, **8**, 1-10. <https://doi.org/10.1177/2325967120957646>
- [9] 孙晓乐, 苏婉妍, 叶东强, 等. 即刻改变触地方式对着鞋跑时内侧纵弓在体运动学的影响[J/OL]. 医用生物力学: 1-10. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1624.r.20221101.1726.002.html>, 2023-06-11.
- [10] 杨辰, 万祥林, 冯茹, 等. 膝痛对髌股关节痛业余跑者跑步和落地起跳缓冲期膝关节生物力学特征的影响[J]. 中国体育科技, 2022, 58(2): 62-68.

- [11] 范婷, 张美珍, 张力文, 等. 不同认知任务跑步时髌股关节痛患者下肢运动学和动力学特征[J]. 体育学刊, 2023(3): 136-144.
- [12] Nordin, M., Frankel, V. 肌肉骨骼系统基础生物力学[M]. 邝适存, 郭霞, 等, 主译. 北京: 人民卫生出版社, 2008: 1-128.
- [13] 周志鹏. 神经肌肉功能与前交叉韧带损伤生物力学危险因素的相关性研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 北京体育大学, 2018.
- [14] 赵斌, 张均, 刘晓莉. 体育保健学[M]. 第6版. 北京: 高等教育出版社, 2018: 190-194.
- [15] McBain, K., Shrier, I., Shultz, R., et al. (2012) Prevention of Sports Injury I: A Systematic Review of Applied Biomechanics and Physiology Outcomes Research. *British Journal of Sports Medicine*, **46**, 169-173. <https://doi.org/10.1136/bjsm.2010.080929>
- [16] Lambert, C. and Ritzmann, R. (2022) Epidemiology of Injuries in Olympic Sports. *International Journal of Sports Medicine*, **43**, 473-481. <https://doi.org/10.1055/a-1641-0068>
- [17] 陈培航, 毕擎, 项海青, 等. 近15年来历届夏季奥运会运动损伤特点分析[J]. 中国运动医学杂志, 2022, 41(2): 89-94.
- [18] Gimigliano, F., Resmini, G., Moretti, A., et al. (2021) Epidemiology of Musculoskeletal Injuries in Adult Athletes: A Scoping Review. *Medicina*, **57**, Article No. 1118. <https://doi.org/10.3390/medicina57101118>
- [19] Bernstorff, M.A., Schlombs, J., Schumann, N., et al. (2022) An Evaluation of 7279 Sports Injuries from a Level 1 Trauma Center with a Focus on Gender Differences. *Journal of Clinical Medicine*, **11**, Article No. 1708. <https://doi.org/10.3390/jcm11061708>
- [20] 郝卫亚. 运动损伤生物力学研究[J]. 医用生物力学, 2017, 32(4): 299-306.
- [21] 徐国栋, 袁琼嘉. 运动解剖学[M]. 第5版. 北京: 人民体育出版社, 2012: 1-345.
- [22] Ritzer, E.E., Yang, J., Kistamgari, S., Collins, C.L., et al. (2021) An Epidemiologic Comparison of Acute and Overuse Injuries in High School Sports. *Injury Epidemiology*, **8**, Article No. 51. <https://doi.org/10.1186/s40621-021-00344-8>
- [23] Harato, K., Morishige, Y., Kobayashi, S., et al. (2022) Biomechanical Features of Drop Vertical Jump Are Different among Various Sporting Activities. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **23**, Article No. 331. <https://doi.org/10.1186/s40621-021-00344-8>
- [24] Chia, L., Myer, G.D., Hewett, T.E., et al. (2022) Do Cutting Kinematics Change as Boys Mature? A Longitudinal Cohort Study of High-School Athletes. *Clinical Journal of Sport Medicine*, **33**, 8-13. <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000001095>
- [25] Nathaniel, A.B., Nathan, D.S., Christopher, V.N., et al. (2017) Novel Mechanical Impact Simulator Designed to Generate Clinically Relevant Anterior Cruciate Ligament Ruptures. *Clinical Biomechanics*, **44**, 36-44. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2017.03.005>
- [26] Nathan, D.S., Nathaniel, A.B., Christopher, N., et al. (2018) Sex-Based Differences in Knee Kinetics with Anterior Cruciate Ligament Strain on Cadaveric Impact Simulations. *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, **6**, 1-7. <https://doi.org/10.1177/2325967118761037>
- [27] Nagelli, C.V., Di, S.S., Wordeman, S.C., et al. (2021) Knee Biomechanical Deficits during a Single-Leg Landing Task Are Addressed with Neuromuscular Training in Anterior Cruciate Ligament-Reconstructed Athletes. *Clinical Journal of Sport Medicine: Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, **31**, 347-353. <https://doi.org/10.1097/JSM.0000000000000792>
- [28] Nagelli, C.V., Wordeman, S.C., Di, S.S., et al. (2021) Neuromuscular Training Improves Biomechanical Deficits at the Knee in Anterior Cruciate Ligament-Reconstructed Athletes. *Clinical Journal of Sport Medicine: Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, **31**, 113-119.
- [29] 张发宁, 叶东强, 孙晓乐, 等. 着鞋与裸足对跑步时第1跖趾关节的在体运动学影响[J]. 中国运动医学杂志, 2022, 41(8): 617-624.
- [30] 叶东强, 孙晓乐, 肖松林, 等. 基于高速荧光透视成像探究裸足与着鞋对跑步时距上和距下关节在体运动学的影响[J]. 体育科学, 2022, 42(1): 59-67.
- [31] 肖松林, 孙晓乐, 杨洋, 等. 跑鞋与触地模式的生物力学及其与损伤关系研究进展[J]. 应用力学学报, 2022, 39(2): 201-208.
- [32] 张希妮, 邓力勤, 肖松林, 等. 不同鞋条件对后跟着地跑者跟腱负荷特征的影响[J]. 医用生物力学, 2021, 36(5): 797-804.
- [33] 罗震, 王俊清, 张希妮, 等. 跑步疲劳进程中下肢生物力学模式的非线性变化研究[J]. 中国体育科技, 2021, 57(3): 29-36.

- [34] 王熙, 杨洋, 孙晓乐, 等. 神经肌肉疲劳前后运动鞋对下肢落地冲击的生物力学影响[J]. 医用生物力学, 2020, 35(3): 356-363.
- [35] 郝卫亚. 人体运动的生物力学建模与计算机仿真进展[J]. 医用生物力学, 2011, 26(2): 97-104.
- [36] 高曦, 周兴龙. 基于仿真模型对不同坡度地面落地时膝关节生物力学差异的研究[J]. 医用生物力学, 2021, 36(S1): 142.
- [37] 张美珍, 刘卉, 刘万将, 等. 随机生物力学模型分析篮球运动员和普通大学生 ACL 损伤危险因素的差异[J]. 体育科学, 2016, 36(10): 40-47.