

# Research on the Mechanism and Prevention and Control System of Swimming Shoulder Injury

Chen Lu Jian Shen

Zhejiang Sports Vocational and Technical College, Hangzhou, Zhejiang, 311231, China

## Abstract

This study aims to comprehensively analyze the complex injury mechanisms of "Swimmer's Shoulder" in competitive swimming and propose strategies for establishing and optimizing a medical support system. Through a systematic review of the current applications of multidisciplinary knowledge (including sports medicine, rehabilitation science, and biomechanics) in injury prevention, diagnosis, treatment, and rehabilitation for swimmers, we conduct a comparative analysis of medical support systems in competitive swimming across different countries. Additionally, we explore advancements in intelligent technologies for early injury warning and precision medicine interventions. The objectives are to: establish causal relationships for injury risk, optimize biomechanical analysis of swimming techniques, enhance intelligent health management, and refine a multidisciplinary collaborative support system. Ultimately, this research seeks to effectively prevent and treat sports injuries, safeguard athletes' occupational health, and promote the sustainable development of competitive swimming.

## Keywords

Swimmer's Shoulder; Injury Mechanism; Prevention and Control System

## “游泳肩”损伤机制与防控体系研究

陆琛 沈坚

浙江体育职业技术学院, 中国·浙江 杭州 311231

## 摘要

本研究旨在深入剖析竞技游泳运动中“游泳肩”(Swimmer's Shoulder)的复杂损伤机制,并基于此提出竞技游泳医疗保障体系的构建与优化策略。通过系统梳理运动医学、康复学、生物力学等多学科在游泳损伤预防、诊断、治疗及康复中的应用现状,对比分析国内外竞技游泳医疗保障体系的差异,并探讨智能化技术在损伤早期预警与精准医疗干预中的研究进展。研究目标为:建立损伤风险的因果关系模型、优化运动技术生物力学分析、提升智能健康管理水平、完善多学科协同保障体系,从而有效预防与治疗运动损伤,保障运动员职业健康,推动竞技游泳运动的可持续发展。

## 关键词

游泳肩; 损伤机制; 防控体系

## 1 引言

### 1.1 研究背景与意义

随着竞技游泳运动水平的不断提升,高强度训练与高频次赛事使运动员身体承受的负荷显著增加,运动损伤已成为制约其竞技表现与职业可持续发展的关键因素。流行病学研究表明,游泳运动员肩部、腰部及膝关节的损伤发生率呈上升趋势<sup>[1]</sup>。其中,因慢性撞击综合征导致的肩部疼痛(俗称“游泳肩”)尤为突出,其终生患病率高达91%<sup>[2]</sup>,且首

次出现症状的中位年龄可低至12岁<sup>[3]</sup>。值得注意的是,约72%的高中生游泳运动员依赖非甾体抗炎药缓解疼痛,其中47%报告需定期用药;更有68%的运动员将相关症状误认为是“训练的必然反应”,掩盖了潜在的生物力学失衡与负荷管理不当问题<sup>[4]</sup>。这种应对方式不仅可能加速组织损伤进程,还可能导致运动员过早终止职业生涯,并显著增加医疗系统的长期负担<sup>[5]</sup>。本研究旨在深入解析“游泳肩”的多维致病机制(包括肩关节动态稳定性不足、肩峰下结构慢性撞击及训练负荷超载),构建一套融合生物力学量化监控、负荷精细化调控与早期预警的创新医疗保障框架。该框架旨在系统性地降低“游泳肩”的发生率与复发率,从而延长运动员的职业寿命、保障其健康权益,最终推动竞技游泳运动可持续发展,并为其他高负荷运动项目的损伤防控提供理论与实践参考。

【基金项目】国家队科技助力青年项目(项目编号:23QN001)。

【通讯作者】沈坚(1984-),男,中国江苏盐城人,副主任中医师,从事运动损伤防治研究。

## 1.2 研究目的与方法

本研究旨在整合多学科知识，分析国内外竞技游泳医疗保障体系的现状与发展趋势，结合智能化技术应用前景，提出构建与优化该体系的有效策略。

研究方法主要包括：

①文献研究法：系统检索、筛选与分析国内外关于竞技游泳运动损伤（尤其是“游泳肩”）的学术文献（包括系统性综述、前瞻性队列研究、横断面研究等），全面梳理其流行病学特征、损伤机制核心要素及关键风险因素。在文献评阅过程中，特别关注了研究设计、测量方法及研究范围等方面可能存在的局限性，为后续研究方向提供依据。

②案例分析法：选取国际（如美国、澳大利亚）以及国内的竞技游泳医疗保障体系典型案例进行深入剖析，重点考察其在医疗团队构成、训练监控机制、应急响应流程等方面的具体实践模式。

③对比分析法：基于案例研究结果，系统对比分析国内外体系差异，明确我国在多学科专业人员整合、先进监控技术应用及应急响应时效性等方面的差距与不足，为本土化体系优化提供针对性依据。

## 1.3 国内外研究现状

国际竞技游泳领域的运动损伤防控与医疗保障研究已形成较为完善的多学科协同体系。欧美国家在跨学科协作模式构建及量化评估技术方面处于领先地位：美国游泳协会（USA Swimming）整合运动医学、物理治疗、运动生物力学及运动营养学等多领域专家，建立了基于风险分层的运动员损伤管理体系，其相关预防方案显著降低了肩关节损伤发生率<sup>[6]</sup>。澳大利亚联邦科学与工业研究组织（CSIRO）开发的可穿戴生物力学传感器系统，可实时捕捉运动员划水动作的三维运动学参数，结合机器学习算法实现损伤风险的动态预警，并持续优化预警准确率<sup>[7]</sup>。相较之下，我国竞技游泳的医疗保障研究在系统性方面仍存在明显不足。现有文献多聚焦于单一损伤部位的生物力学特征描述或局部康复技术优化，对医疗保障体系全周期构建及系统性优化的探讨相对薄弱<sup>[8]</sup>。具体表现在以下三个方面：（1）多学科协同效能不足：国内运动队医疗团队中运动医学与生物力学专家的配置比例显著低于国际通行水平，跨学科协作深度有限。（2）数据驱动的监控机制欠缺：仅少数国内队伍引入可穿戴设备进行生物力学指标的量化监测，且普遍缺乏构建和动态迭代损伤风险预测模型的能力。（3）应急响应与康复衔接不畅：损伤后的康复方案中，针对运动控制模式进行个体化调整的比例较低，与国际普遍实践存在差距，导致应急响应与后续康复之间存在断层。

## 2 竞技游泳运动损伤与“游泳肩”概述

### 2.1 竞技游泳运动损伤的普遍性与影响

竞技游泳作为对身体素质要求极高的运动项目，其训

练强度和比赛频率的持续提高，使得运动损伤的发生日益普遍且影响显著。流行病学数据显示，肩部、腰部和膝关节是游泳运动员最易发生损伤的部位<sup>[1]</sup>。这些损伤不仅严重影响运动员的竞技表现，更对其职业生涯构成重大威胁。其中，肩部损伤（尤其是“游泳肩”）在竞技游泳运动员中极为常见，患病率甚至可高达91%<sup>[2]</sup>。“游泳肩”的症状常在青少年时期（8-11岁）即开始显现<sup>[9]</sup>，高中生运动员群体为此类损伤的高发人群。值得注意的是，许多运动员常将肩部疼痛误认为是训练的常态反应，倾向于忍受而非寻求有效治疗。这种普遍存在的疼痛不仅可能导致运动员提前终止运动生涯，其导致的功能障碍评分（反映损伤严重程度）与其他高损伤风险运动项目的运动员相似<sup>[10]</sup>。

“游泳肩”并非单一病理诊断，而是一个涵盖多种肩部病理状态与生物力学功能障碍的广泛术语，通常特指由肩袖结构在肩峰下间隙反复撞击引发的肩前侧疼痛综合征。其发生机制复杂，涉及内在因素（如肌肉失衡、技术缺陷）与外在因素（如训练负荷特征、环境因素）之间的多重交互作用<sup>[11]</sup>。对于精英游泳运动员，其每日训练需完成1500至4000个划水动作周期，年均划水循环可高达约100万个<sup>[12]</sup>。这种累积性高负荷使肩部软组织结构承受巨大压力，极易诱发疼痛，症状可出现在休息时、日常活动中以及游泳训练过程中。

### 2.2 “游泳肩”的关键机制与风险因素

#### 2.2.1 肌肉骨骼功能障碍

肌肉骨骼功能障碍在“游泳肩”发病机制中扮演核心角色，病理机制呈现多维度异常：

撞击机制：传统理论关注肩峰下撞击，即冈上肌腱在肩关节外展/前屈时受压于肩峰与喙肩弓之间<sup>[13]</sup>。近年研究则更强调内撞击（如前上内侧撞击，Anterosuperior Internal Impingement, ASII）的临床意义。该机制表现为在最大肩外展-外旋位时，冈上肌腱或冈下肌腱与肩胛盂后上缘或盂唇发生撞击<sup>[14]</sup>。内撞击可能累及肱二头肌长头腱与小圆肌，其病理生理过程与传统肩峰下撞击存在显著差异。

肌肉功能异常：

力量与耐力失衡：肩关节外旋肌群与内旋肌群力量比值（ER/IR ratio）降低，以及外展肌群、核心肌群等的耐力缺陷，与肩痛显著相关。然而，这些失衡是因（原发损伤诱因）还是果（疼痛导致的继发性抑制或废用）尚存争议<sup>[14]</sup>。

关节活动度（ROM）异常：肩关节内旋受限或外旋角度呈现极端变异（过大或过小）均被视为风险因素<sup>[15]</sup>。游泳运动员普遍存在的肩关节内旋受限现象，其临床意义以及与棒球等投掷类项目运动员的差异仍需进一步明确。

关节稳定性问题：盂肱关节过度松弛，若无法通过肩袖肌群等动力性稳定结构充分代偿，可能导致病理性不稳并引发疼痛。但盂肱关节松弛究竟是先天解剖学变异还是长期训练导致的适应性改变，其因果关系尚未完全阐明<sup>[16]</sup>。

肩胛骨运动障碍 (Scapular Dyskinesia)：肩胛骨异常姿态 (如前倾) 或运动学异常 (如动态上旋不足) 与肩痛存在显著关联。然而，肩胛骨运动障碍作为“游泳肩”独立致病因素的相关证据等级目前尚不高，结论需更多高质量研究予以支持<sup>[17]</sup>。

### 2.2.2 训练相关因素

“游泳肩”的发生与训练负荷特征及运动技术缺陷密切相关：

训练负荷：

负荷量：精英游泳运动员典型训练量通常为日均游泳9~12公里 (每周训练6~7天)，或周总距离60,000~80,000米，单臂划水动作峰值可达30,000次/周。如此高负荷量导致青少年游泳运动员肩痛发生率高达91.3%<sup>[18]</sup>。

负荷-损伤关系：肩痛强度与肩关节负荷量学参数 (如冈上肌腱厚度变化) 呈显著正相关，并与周训练总量、运动员竞技年限之间存在剂量-反应关系 (即负荷越大、年限越长，风险越高)。

负荷监测指标：急性慢性工作负荷比 (Acute: Chronic Workload Ratio, ACWR) ——即当前一周负荷与过去四周平均负荷的比值——被证实是预测游泳肩损伤风险的重要指标。然而，目前缺乏具有普遍适用性的ACWR临界阈值标准<sup>[9]</sup>。

运动技术缺陷：不良技术进一步加剧发病风险：

划水阶段“肘部下沉”：导致盂肱关节承受异常的非对称剪切力。

过度伸展与过度内旋：显著升高肩峰下间隙压力，增加前上内侧撞击综合征风险。

入水技术偏差：如拇指先入水、手臂过度侧移 (crossing over) 或越过身体中线 (reach across the midline) 入水。这些偏差会增加肩胛骨前倾角并削弱其上旋能力，破坏力偶平衡 (force couple)<sup>[19]</sup>。

标准化技术的益处与局限：遵循标准化技术要求 (如手指尖垂直入水、手臂轨迹保持在额状面中线前侧) 有助于降低肩关节负荷。然而，目前文献仍需更多循证研究来优化基于生物力学的训练决策和具体技术干预策略的有效性。

## 3 结论与未来展望

### 3.1 研究成果总结

本研究系统梳理了竞技游泳运动损伤 (尤以“游泳肩”为典型代表) 的复杂性及多因素驱动机制。结果表明，“游泳肩”的发生与多种肌肉骨骼功能障碍 (包括肩关节撞击机制、肩袖肌群力量/耐力失衡、关节活动度异常、肩胛骨运动障碍及关节松弛) 以及训练相关因素 (如训练负荷特征、划水技术偏差、急性慢性负荷比例失调等) 密切相关。然而，现有研究在明确因果关系、实施长期前瞻性研究设计以及测量方法标准化等方面仍存在显著局限，制约了研究结果的普

适性及其向临床实践的转化。

同时，本研究指出，人工智能 (AI)、可穿戴设备与运动影像分析等新兴技术为运动损伤的预防、诊断和康复管理提供了新机遇。然而，这些技术在水下环境数据采集的可靠性与精度、设备佩戴的长期舒适性与依从性、海量数据的实时处理与分析效率以及复杂游泳动作的精确生物力学解析等方面仍面临严峻的技术挑战。

此外，研究强调，非训练相关因素 (如久坐行为、屏幕暴露时间等生活方式因素) 对青少年游泳运动员肌肉骨骼健康及损伤风险的潜在影响亟待深入探索。这提示未来需从多维度综合视角 (整合生物力学、训练科学、智能技术应用及健康行为干预)，系统性构建竞技游泳运动损伤的科学防控体系。

### 3.2 研究局限与未来方向

本研究在数据收集的广度 (样本量) 及案例分析深度方面存在一定局限性。未来研究需扩大样本规模并深化对不同泳姿、不同竞技水平游泳运动员损伤特征异质性的研究。基于本研究的发现，未来应优先关注以下方向：

机制与预测研究：开展大规模前瞻性纵向研究，深入阐明肌肉骨骼功能障碍与“游泳肩”损伤间的时序因果关系；结合人工智能技术 (如机器学习、深度学习)，开发基于多模态数据的高精度损伤风险预测模型。

技术监控与优化：运用计算机视觉 (Computer Vision) 和惯性测量单元 (IMU) 等先进技术，精准量化游泳技术动作模式 (如划水轨迹、关节角度变化) 与肩关节组织负荷间的动态关系；建立实时生物力学反馈系统，指导运动员优化技术动作，降低损伤风险。

智能诊疗与康复：探索人工智能在“游泳肩”医学影像 (如超声、MRI) 智能诊断中的价值；研发可根据个体康复进程动态调整的自适应个性化康复方案。

综合干预策略构建：整合训练负荷监控、生理心理恢复状态评估及生活方式干预等多维度数据，制定循证导向的综合性损伤预防策略。

体系优化与协同：系统优化运动医学、生物力学、康复治疗、体能训练等多学科专业人员在医疗团队中的协作模式与流程；构建基于云平台的多维度运动员健康数据共享中心，提升损伤预防、早期预警、精准诊断与高效康复全链条管理的协同效能，推动竞技游泳医疗保障向精准化、智能化方向发展。

总之，未来研究亟需强化方法学严谨性 (特别是长期、高质量的前瞻性队列研究)，并大力促进跨学科、跨领域深度合作。这种合作不仅应涵盖运动医学内部的细分专业 (如骨科、康复医学、运动生物力学、运动生理学)，还需积极融入计算机科学 (数据科学、人工智能)、工程学 (传感器技术)、公共卫生学 (流行病学、健康行为干预) 及心理学等领域的前沿知识与技术。唯有通过这种系统性、整合性的

研究范式,才能有效应对竞技游泳运动损伤的复杂挑战,在提升运动员竞技表现的同时,最大限度地保障其运动生涯健康,最终实现竞技游泳运动的可持续发展。

### 参考文献

- [1] 陶嵘.游泳运动员常见运动损伤综述[J].南京体育学院学报:自然科学版,2014,13(3),39-41.
- [2] Beatriz Arrillaga, Albert Pérez-Bellmunt, Iker et al., García Swimmer's Shoulder: Ultrasound Anatomical Description of Shoulder Tendons in Elite Swimmers and Water Polo Players[J]. Healthcare, 2021, 13, 1-17.
- [3] 刘新宇,张鹏.游泳肩的研究进展[J].体育科研,2017,38(1),85-88.
- [4] Pollard H, Croker D. Shoulder pain in elite swimmers. Australas Chiropr Osteopathy 1999; 8:91-5.
- [5] McMaster W. C., Troup J.A., Survey of interfering shoulder pain in United States competitive swimmers[J]. American Journal of Sports Medicine, 1993, 21(1): 67-70.
- [6] 王章明,李建设,顾耀东等.美国竞技游泳长盛不衰的原因和启示[J].体育学刊,2019,26(3):33-37.
- [7] 但林飞,曹蔚明,刘鑫等.澳大利亚竞技游泳强势崛起的经验与启示[J].体育科学,2023,43(12):27-33.
- [8] 张乐伟.中国竞技体育医疗保障模式现实困境、实践经验与创新策略[J].中国体育教练员, 2024, 32(4): 13-15.
- [9] Tate A, Turner GN, Knab SE, et al. Risk factors associated with shoulder pain and disability across the lifespan of competitive swimmers. J Athl Train 2012; 47:149-58.
- [10] Azza Mohammed Abdelmohsen1, Salam Mohamed Elhafez1, Bassam Ahmed Nabil. Core stability in adolescent swimmers with swimmer's shoulder syndrome[J]. Physiotherapy Quarterly, 2021, 29(4), 33-41.
- [11] Lee Hill, Malcolm Collins & Michael Posthumus. Risk factors for shoulder pain and injury in swimmers: A critical systematic review[J]. The Physician and Sportsmedicine, 2015, 8, 1-9.
- [12] Borsa PA, Laudner KG, Sauers EL. Mobility and stability adaptations in the shoulder of the overhead athlete: a theoretical and evidence-based perspective. Sports Med. 2008; 38(1): 17-36.
- [13] Kennedy JC, Hawkins RJ. Swimmers Shoulder. Phys Sport 1974; 2: 34-8.
- [14] Filip Struyf, Angela Tate, Kevin Kuppens, et al. Stef Feijen, 1 LMusculoskeletal dysfunctions associated with swimmers' shoulder[J]. Sports Med, 2017, 11, 1-6.
- [15] Walker H, Gabbe B, Wajswelner H, et al. Shoulder pain in swimmers: a 12-month prospective cohort study of incidence and risk factors. Phys Ther Sport 2012; 13: 243-9.
- [16] Zemek MJ, Magee DJ. Comparison of glenohumeral joint laxity in elite and recreational swimmers. Clin J Sport Med 1996; 6: 40-7.
- [17] McKenna L, Straker L, Smith A. Can scapular and humeral head position predict shoulder pain in adolescent swimmers and non-swimmers? J Sports Sci 2012; 30: 1767-76.
- [18] Wanivenhaus F, Fox AJ, Chaudhury S, et al. Epidemiology of injuries and prevention strategies in competitive swimmers. Sports Health 2012; 4: 246-51.
- [19] Krüger PE, Dressler A, Botha M. Incidence of shoulder injuries and related risk factors among master swimmers in South Africa. African J Phys Heal Educ Recreat Danc 2012(Suppl): 57-76.