可穿戴技术在竞技体育训练负荷监控中的应用演进与效能分析

汪光顺 秦 昊 王 瑞*
呼伦贝尔学院体育学院（冰雪运动学院），内蒙古自治区 海拉尔区 021008

[摘要]可穿戴技术已广泛应用于竞技体育训练负荷监测，现有研究多局限于单一设备或专项运动，缺少对技术演进脉络与综合应用效能的系统性梳理。本研究采用文献综述结合案例分析，梳理上世纪 90 年代以来相关技术发展历程，划分出单一指标监测、多源数据融合、智能精准调控三个发展阶段，并从四方面阐释其实践价值。该技术能够提升负荷评估精度，实现个性化训练调控与损伤早期预警，推动训练模式向数据驱动转型；当下仍存在数据标准不统一、专项模型适配不足等问题，后续需优化数据融合、专项建模与一体化监控体系。

[关键词]可穿戴技术；竞技体育；负荷监控
DOI：10.33142/jscs.v6i5.20686 中图分类号：G804.8 文献标识码：A

The Application Evolution and Efficiency Analysis of Wearable Technology in Monitoring the Training Load of Competitive Sports

WANG Guangshun, QIN Hao, WANG Rui *
Hulunbuir University Sports College (Winter Sports College), Hailar, Inner Mongolia, 021008, China

Abstract: Wearable technology has been widely applied in monitoring the training load of competitive sports. Existing research is mostly limited to single devices or specialized sports, lacking a systematic review of the technological evolution and comprehensive application efficiency. This study adopts a literature review combined with case analysis to sort out the development process of relevant technologies since the 1990s. It is divided into three stages of development: single indicator monitoring, multi-source data fusion, and intelligent precision regulation. The practical value of these stages is explained from four aspects. This technology can improve the accuracy of load assessment, achieve personalized training regulation and early warning of damage, and promote the transformation of training mode to data-driven; At present, there are still problems such as inconsistent data standards and insufficient adaptation of specialized models. In the future, it is necessary to optimize data fusion, specialized modeling, and integrated monitoring systems.

Keywords: wearable technology; competitive sports; load monitoring

引言

科学化训练是现代竞技体育提升运动表现、规避过度训练损伤的核心路径，而训练负荷的精准监测与调控是落实科学化训练的核心关键。现阶段，国内竞技体育训练的传统负荷评估，主要依赖教练员的经验判断、训练日志以及赛后的常规体能测试来开展，存在着数据获取滞后、监测维度单一、量化精度偏低等诸多短板，很难契合高水平运动员高强度、高频率、个性化的专项训练监控需求[1]。

近年来，传感采集、物联网以及人工智能技术的迭代升级，使可穿戴设备成为训练负荷监控的重要技术载体。这类设备能实时采集运动员的生理、运动学、动力学等多维度数据，实现训练负荷的动态评估与即时反馈，推动着竞技体育从传统的经验驱动模式，向精准化的数据驱动模式转变[2]。目前学界相关研究大多集中在设备功能有效性验证、单一运动项目的落地应用，对技术演进脉络、各阶段特征以及实战效能的系统性梳理研究仍较欠缺[3]。

鉴于此，本文运用文献综述与案例分析法，系统梳理可穿戴技术在负荷监控领域的发展历程，深入剖析各阶段的技术特征与实战效能，以期为我国竞技体育科学化训练及智能监控体系建设提供理论参考与实践依据。

1 竞技体育训练负荷监控中可穿戴技术的应用演进

1.1 初步探索阶段：单一数据监测，辅助基础训练管控

20 世纪 90 年代至 21 世纪初，是可穿戴技术进入竞

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

技体育训练负荷监控的初步探索期。这一阶段受限于传感技术与数据处理能力有限，设备集成度低、功能单一，尚未形成系统、专项的负荷监控体系，主要作为传统训练评价手段的辅助补充。

在可穿戴技术普及前，教练员主要依靠训练时长、运动距离及运动员主观疲劳感受评判负荷，主观性强、精度不足，难以准确反映机体内部负荷变化[1]。随着微型传感技术初步应用，简易心率带、计步器等设备开始投入训练，仅能采集心率、时长、频次等少数指标[4]。例如 Polar Sport Tester 于 1990 年代进入专业训练场景；部分耐力项目教练开始尝试使用心率储备法估算训练强度。但阶段设备功能单一，未形成系统化体系。

该阶段实现了从经验判断到简单量化记录的初步转变，减少了人工统计误差。但设备无法同步采集加速度、运动姿态、心率变异性（HRV）等多维信息，难以捕捉高强度、爆发性动作的瞬时生理负荷波动，更无法实现内外负荷耦合分析，仅适用于基础体能与一般性耐力训练的宏观负荷统计。学界研究也多集中于单一指标与疲劳的相关性分析，尚未涉及累积负荷、专项特征识别等深层问题[5,6]。总体而言，该阶段可穿戴技术仅承担基础数据记录功能，数据利用率与专项适配性偏低，为后续发展奠定了实践基础。

1.2 快速发展阶段：多维数据融合，实现负荷量化分析

2010 年后，微型传感、无线通信与低功耗芯片成熟，设备集成度显著提升，GPS、加速度计、陀螺仪、心率变异性（HRV）、肌电（EMG）等多传感器融合应用，使训练负荷监控从单一指标走向多源数据同步采集[3]。代表性设备已广泛应用于足球、篮球等项目，可同步采集三维加速度、变向、冲刺等专项外部指标，实现内外负荷耦合分析，突破早期仅能宏观统计的局限[2]。GPS 与惯性传感结合，可精准量化高强度间歇、冲刺、变向等专项动作负荷；HRV 与心率动态监测能实时评估生理应激与恢复状态。

技术进步推动监控从事后记录转向实时反馈。无线传输与移动端 APP 普及，教练可现场查看负荷数据，及时调整训练强度，避免过度训练；云端同步支持长期累积负荷追踪与趋势分析，为周期训练计划优化提供支撑。学界研究也从单一指标相关性，转向专项负荷特征、累积负荷效应、疲劳与恢复机制等深层议题，方法从描述性分析过渡到实证检验与模型构建[7]。但此阶段仍存在传感器漂移、数据标准化不足等问题，GPS 信号在室内易丢失精度；惯性传感器长时间积分后易产生姿态漂移，不同品牌设备间的算法差异导致指标可比性不足，制约了跨设备的数据整合。

总体而言，快速发展阶段实现了多维数据融合、内外负荷联动、实时监控反馈，显著提升训练负荷评估的精准度与科学性，为后续智能化、个性化监控奠定核心技术与实践基础。

1.3 成熟应用阶段：智能精准监控，支撑专项精细化训练

2019 年以来，可穿戴传感技术、大数据分析与运动科学研究深度融合，标志着可穿戴技术在竞技体育训练负荷监控领域步入成熟应用阶段[8]。人工智能设备能够同步采集运动姿态、加速度、心率变异性、血氧饱和度及肌肉活动等多维度指标，突破了以往单一生理参数监测的局限，为训练负荷的全方位解析提供了硬件支撑[2,9]。

在数据处理层面，依托大数据平台与运动负荷分析模型，可穿戴设备不再局限于即时数据记录，而能够对运动员日常训练的急性负荷与累积负荷进行长期追踪与动态分析，精准刻画不同专项项目的负荷变化规律[10,11]。结合个体身体机能差异，可实现训练强度的分级判定与个性化负荷阈值划定[12]，使训练安排贴合运动员自身承受能力与发展规律。

在实际训练应用中，成熟阶段的可穿戴技术已贯穿日常训练、赛前备赛、赛后恢复与损伤预防全过程。通过实时监测机体疲劳状态与负荷累积程度，可及时甄别超负荷训练行为、预判损伤潜在风险[13]，为训练调整与恢复方案提供客观依据。同时，专项化监测模型不断完善，针对耐力、对抗、冰雪等项目的定制化数据采集与评价体系逐步建立[14]，大幅提升了负荷监控的专项适配性与实践指导价值。

从研究趋势看，现阶段更多聚焦多源数据融合、专项负荷建模以及智能预警机制构建[15]，研究成果反向推动设备迭代与体系完善[4]。但目前存在设备数据标准不统一、复杂竞技场景下监测精度波动、专项算法模型仍需优化等现实问题[15]，长期佩戴舒适性、运动员接受度、数据隐私与安全管理等问题，亦成为影响大规模推广应用的非技术瓶颈。整体来看，该阶段可穿戴技术已深度融入高水平竞技训练体系，实现了从数据采集、负荷分析到训练调控的闭环应用，推动竞技体育训练向精细化、数据化、智能化转型。

2 可穿戴技术在竞技体育训练负荷监控中的实际应用效能分析

2.1 提升训练负荷评估的精准性与客观性

传统评估依赖教练员经验、训练日志以及主观疲劳感知（RPE），存在数据滞后、维度单一、精度不足等问题[16]。难以量化内外负荷及瞬间生理力学变化。可穿戴设备为评

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

估从“经验驱动”向“数据驱动”转变提供了关键的技术支撑。

就精准性来看，现代可穿戴设备通过集成 GPS、加速度计、陀螺仪、心率传感器等，能够同步采集运动员的内外负荷并实现耦合分析。研究表明，基于可穿戴设备的数学模型的优化可显著改善负荷评估的预测能力。Wang 等人借助可穿戴设备采集的数据，对经典的“适应—疲劳”模型进行非线性优化，构建时变衰减函数与特异性系数，经 12 周的骑行训练验证，优化后模型拟合优度与预测能力均显著优于原模型[16]。

在客观性提升方面，可穿戴设备能够消除主观评估中常见的个体差异与回忆偏差。传统 RPE 量表虽简便易行，但易受运动员情绪状态、个性特征及训练场景记忆偏差的影响。相比之下，可穿戴设备采集的生理与运动学数据具有客观、连续、可追溯的特点，提供了不受主观因素干扰的量化依据。但需警惕“数据崇拜”倾向——设备输出的负荷指数（如 PlayerLoad 等专有指标）缺乏统一的力学定义与理论支撑，其构念效度尚未得到充分验证[17]。因此，在实际应用中，应将可穿戴数据视为客观参考而非绝对真理，注重多源数据的交叉验证。

此外，主观整合已成为研究共识。一项针对 20 名国家精英耐力运动员的追踪研究发现，主观自评指标与客观可穿戴数据间存在中等至强相关性，但个体间差异显著，部分运动员呈现非相关性甚至负相关性[18]。表明最优策略应是主客观结合、个体化校准。基于上述分析，可穿戴技术通过多维采集、模型优化及主客观融合提升了精准性与客观性，但传感器精度、指标透明度及跨设备标准仍有待攻关。

2.2 实现训练过程的精细化管控与个性化适配

2.2.1 训练过程的精细化管控

通过可穿戴设备实时采集运动员的心率、心率变异性、加速度负荷等指标，教练可以在训练现场掌握每位运动员的负荷状态，动态调整训练强度或训练量[2,3]。这种“边练边调”的模式，在间歇训练、高强度专项训练等场景中明显优势。以摔跤项目为例，刘雨昕等发现，实时监测心率恢复速度与累积负荷，教练能够准确判断每一组对抗训练后运动员的疲劳程度，从而决定下一组训练的强度设置[10]。这种精细化调控能力，是过去依赖秒表与经验判断难以实现的。

无线传输技术与移动端应用程序的普及，进一步降低了实时反馈的技术门槛。教练无需携带复杂设备，通过平板电脑或智能手机即可查看数据[2]。同时，数据自动上传至云端后，可支持长期负荷趋势追踪与周期训练效果评估[11]。这使得训练调控不仅限于单次训练课内，还可跨周期进行纵向比较与优化。

2.2.2 训练负荷的个性化适配

高水平运动队中运动员体能水平、恢复能力、伤病史等存在显著差异，统一标准难以兼顾个体需求。可穿戴技术的个体化数据采集能力为训练负荷的个性化适配提供了技术前提。

核心在于为每个运动员划定个体化的负荷阈值。宋世伟等基于 Stagno 模型研究发现，相同的训练刺激在不同最大摄氧量人群中的内部负荷反应差异显著，统一阈值容易导致部分运动员训练不足、部分过度训练[12]。童嘉伟等指出，可穿戴训练负荷监控模型能够根据个体历史数据动态调整负荷区间，是实现精准化训练的重要工具[11]。实践中，系统可根据两周的训练负荷数据自动计算当日推荐负荷区间，教练再结合主观疲劳反馈与当日训练目标作出最终决策。左仁政等综述指出，心率变异性（HRV）、晨起心率等指标的持续异常变化可作为个体化调整的预警信号[15]。

综上，可穿戴技术已经初步实现了训练过程的精细化管控与个性化适配，推动训练安排从“经验主导、统一模板”向“数据驱动、个体校准”转变。

2.3 有效降低运动损伤风险，优化训练恢复体系

2.3.1 损伤风险的早期识别与预警

损伤通常遵循“负荷累积-疲劳加深-代偿动作出现-组织损伤”的渐进路径。可穿戴技术能在链条前端发挥作用。通过连续监测心率变异性（HPV）、晨起心率、睡眠质量、加速度负荷等指标，系统可识别出超出个体正常范围的异常波动[13]。当运动员的 HRV 持续低于基线、晨起心率异常升高而负荷未降低时，往往提示过度疲劳，若不及时调整训练计划，损伤风险将显著上升[5]。左仁政等指出，基于可穿戴设备的运动员疲劳状态识别已从单一指标阈值判断发展为多指标融合的综合评估模型[13]。将心率变异性（HRV）、心率恢复速率、主观疲劳评分及训练负荷累积等指标结合使用，能更准确地识别是否处于“非功能性过度训练”的边缘状态，其可靠性显著优于单一指标。窦亮提出通过设定个体化“红黄绿灯”区间，可在负荷累积达到危险阈值前向教练员发出预警[14]。余建章则采用多源传感器与深度学习模型（CNN-LSTM）监测短跑运动状态，结果表明该方法能够有效识别异常运动姿态，为技术动作层面的损伤预防提供了参考[15]。

2.3.2 训练恢复过程的量化监测与优化

训练负荷与机体恢复是竞技体育的两大核心要素，在

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

训练实践当中被放在了同等重要的位置上。传统做法中，教练员评判运动员的恢复效果主要依靠主观感受，缺少标准化、可量化的客观评价指标，难以精准地把控机体的恢复水平。可穿戴技术的落地运用有效地解决了恢复状态难以量化这个行业里的一个痛点，使得运动机体恢复状态变得可观测、可测量，可控制。

心率变异性（HRV）是当前训练领域应用较为成熟的恢复评估指标，能够直接体现自主神经系统对心脏节律的调控水平[2,3]。通常情况下，HRV 数值上升表明机体副交感神经占据主导，运动员整体恢复状态较好；若 HRV 数值持续偏低，则意味着交感神经兴奋性偏高，机体疲劳尚未完全消散，存在恢复不充分的问题。通过每日晨起监测运动员 HRV 数据，教练员可精准判断运动员前次训练后的恢复情况，以此为依据合理制定和调整当日训练强度，规避过度训练风险。

此外，可穿戴设备还可精准校验各类恢复手段的实际干预成效。在实际训练中，可通过对比主动恢复与被动恢复模式下运动员的心率恢复速率，或是探究不同冷热疗干预方案对运动员睡眠阶段 HRV 指标的影响，客观区分不同恢复方式的优劣与适配场景[13]。这些数据为恢复方案的个体化选择，提供了客观的依据，使得恢复不再是一种停留在经验层面上的尝试，而是变成了一个可以量化比较，并且能够持续优化的过程。

总的来看，可穿戴技术可实现训练负荷累积追踪、机体疲劳状态识别与恢复过程量化评估，为运动员损伤风险早期甄别、训练恢复体系的优化完善提供了全新的技术路径，是推动竞技体育科学化训练落地的重要技术支撑。

2.4 助力竞技体育科学化、智能化训练体系构建

可穿戴技术对竞技体育训练体系的变革，不仅局限于优化单一训练环节的实施效果，其核心价值在于推动传统训练范式的根本性转型，促使训练模式由经验主导逐步向数据驱动过渡[2,3]。

在传统的训练场景里，训练方案的制定、调整与优化，高度依赖于教练员个人的从业经验。这类经验带有比较强的个体化特征，很难形成标准化、可传承的训练体系，而且评判标准会随着人员、场景、训练阶段的不同而出现比较大的差异，训练决策的稳定性显得不够充足。可穿戴技术的普及应用，为训练决策提供了量化、可视、可追溯的数据依据。凭借长期积累训练全过程的数据，学界与训练实践人员就可以对比研判不同训练方案的实施效果，让传统上依托主观经验的训练总结，拥有了客观的数据作为支撑[11]。

从智能训练体系的整体架构来看，一套完整的科学化训练体系，主要包含了数据采集、分析建模与决策支持这三大核心模块[8]。在数据采集端，现阶段可穿戴设备可同步获取心率、运动加速度、GPS 运动轨迹、肌电信号等多维度运动与生理数据，实现训练全维度信息采集[9]；在数据分析层面，机器学习算法已逐步应用于训练负荷特征挖掘与运动模式识别，已有研究通过 CNN-LSTM 组合模型完成运动员异常运动姿态的智能识别，有效提升数据挖掘深度[15]；在训练决策层面，现有的研究积极搭建可视化数据预警平台，简化复杂训练数据的解读流程，降低教练员的数据分析门槛，为临场训练调控提供便捷支撑[14]。

整体来看，可穿戴技术有效地驱动了竞技体育训练体系向科学化、智能化的方向迭代升级。但是，从实际应用的现状来看，当前行业整体仍然呈现出“技术应用超前、体系建设滞后”的发展特征，智能训练还没有形成一套标准化、常态化的应用体系。未来，随着传感采集技术、人工智能算法与运动科学理论的深度融合，智能化的训练模式将会逐步趋于完善，最终完成从理论概念、局部试点，走向常态化、规模化的训练实践应用。

3 结论

从可穿戴技术在竞技体育训练负荷监控领域的发展来看，其演进可归纳为三个核心阶段：单一指标监测、多源数据融合与智能精准分析。技术的持续迭代，一定程度上弥补了传统训练评估中主观性强、精度不足的问题，使负荷评价的客观性与准确性得到提升，训练实施也朝着精细化和个性化方向推进。与此同时，该技术在运动损伤预警、运动员恢复优化等实际场景中表现突出，已逐步嵌入竞技体育训练的各个环节，助推传统经验主导的训练模式向数据驱动的科学化范式转变。

不过，当前该领域仍存在明显短板。行业尚未建立统一的数据标准，针对不同专项运动的智能模型也较为缺乏，这在很大程度上限制了技术的实际应用效果。未来研究应围绕多源数据深度融合、专项智能建模与一体化训练体系构建三个方向持续深入，进一步挖掘可穿戴技术在竞技体育科学化训练中的潜力。

基金项目：2024 年度呼伦贝尔学院博士基金项目：新时期边疆地区居民生活质量状况与体育生活化进展研究：基本认知、困境及路径（课题编号：2024BSJJ15）；内蒙古自治区教育科学研究“十四五”规划 2024 年度课题：人工智能时代内蒙古地区高校体育教育数字化转型的实践研究（课题编号：NGJGH2024311）；2025 年度校级研究生教育教学改革项目（常规项目）：体育专业硕士分

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.

类选拔的实践能力评价体系构建研究—基于边疆地方高校的实证（课题编号：2025XJYCG03）；呼伦贝尔学院横向科研课题：滑雪培训机构综合提质的活性化方案研究（课题编号：HHX2024-0003）。

[参考文献]

[1]王雯星,赵元慧,于文朗,等.基于可穿戴设备的个体化运动负荷精准评估数学模型的优化与验证[J].生物医学工程学杂志,2025,42(4):739-747.

[2]苏炳添,李健良,徐慧华,等.科学训练辅助:柔性可穿戴传感器运动监测应用[J].中国科学:信息科学,2022,52(1):54-74.

[3]李海鹏,陈小平,何卫,等.科技助力竞技体育:运动训练中可穿戴设备的应用与发展[J].成都体育学院学报,2020,46(3):19-25.

[4]苏玉莹,李卫,石煜.可穿戴阻力训练的运动表现优化机理、作用机制及应用研究[J].体育科学,2023,43(9):89-97.

[5]Kakhi K,Jagatheesaperumal S K,Khosravi A,et al.Fatigue Monitoring Using Wearables and AI: Trends, Challenges, and Future Opportunities[J].Computers in Biology and Medicine,2025(195).

[6]Lu L , Sedighi-Maman Z , Cavuoto L .A joint modeling framework for time-to-fatigue prediction with a single wearable sensor biomarker[J].Scientific Reports,2026,16(1).

[7]刘忱怡.智能可穿戴设备在竞技体育中的作用和未来发展趋势[C]//国际班迪联合会（FIB）,国际体能协会（ISCA）,中国班迪协会（CBF）.2024 年第二届国际体育科学大会论文集.2024:979-985.

[8]乔玉成.运动智能可穿戴设备的关键技术与应用前沿进展 [J].首都体育学院学报,2025,37(4):364-374.

[9]张丹,石红.基于物联网和可穿戴传感的新监测技术在体育训练中的应用研究[J].文体用品与科技,2023(21):196-198.

[10]刘雨昕,朱金棒,龚佳茜.可穿戴设备在摔跤运动员训练中的运动监测与疲劳预警研究[C]//中国体育科学学会.第十四届全国体育科学大会学术成果汇编——墙报交流(运动训练学分会).2025:539-540.

[11]童嘉伟,蓝逸凡,杨德鹏.可穿戴训练负荷监控模型在周期性耐力训练中的价值探析[C]//中国体育科学学会体能训练分会.第十一届中国体能论坛论集.2025:162-163.

[12]宋世伟,周爱国,魏银成,等.基于 Stagno 模型的特定最大摄氧量水平人群 TRIMP 参数优化的研究[C]//中国体育科学学会.第十四届全国体育科学大会学术成果汇编——论文专题报告(体能训练分会).2025:112-114.

[13]左仁政,王弋丹,王登,等.可穿戴监测设备在运动员疲劳诊断中的研究进展[C]//中国体育科学学会体能训练分会.第十一届中国体能论坛论文集.2025:689-698.

[14]窦亮.基于可穿戴设备的竞技运动训练负荷监控系统构建与实证分析[C]//中国体育科学学会.2025 年全国竞技体育科学论文报告会摘要集——墙报交流.2025:119.

[15]余建章.结合多源传感器和 CNN-LSTM 的可穿戴式短跑运动状态监测方法分析[J].自动化与仪器仪表,2025(12):19-22.

[16]Hong REN,Yuanhui ZHAO,Wenlang YU,et al.Optimization and validation of a mathematical model for precise assessment of personalized exercise load based on wearable devices[J].Sheng Wu Yi Xue Gong Cheng Xue Za Zhi = Journal of Biomedical Engineering,2025,42(4):739.

[17]Staunton CA, Edholm P, Ide BN, Ditroilo M and Wundersitz D.Playerload™ and accelerometer-based metrics: scientific evaluation and implications for athlete monitoring[J].Front. Sports Act. Living,2026(7):1710693.

[18]吴静婕,陈徵萱,孙利鑫.基于多源可穿戴传感器数据的运动负荷评估[C]//中国体育科学学会.第十四届全国体育科学大会学术成果汇编——论文专题报告(运动生物力学分会).2025:8-10.

作者简介：汪光顺（2003—），男，汉族，安徽金寨人，硕士在读，呼伦贝尔学院，研究方向：运动训练学，冰雪训练理论与实践；秦昊（2001—），男，汉族，山东临沂人，硕士在读，呼伦贝尔学院，研究方向：运动训练学、运动心理学；*通讯作者：王瑞（1986—），女，汉族，吉林怀德人，博士，副教授，呼伦贝尔学院，研究方向：运动训练学。

Copyright © 2026 by authors and Viser Technology Pte. Ltd.