

# 我国精英女子运动员下肢损伤风险筛查新方法的综合论述

张霖汐 符竞文

国家体育总局训练局 北京 100061

**摘要:** 在女子运动员中, 下肢损伤是一种普遍现象, 严重影响运动员的竞技表现及健康, 因此, 早期的筛查和干预显得尤为重要。近年来, 随着运动科学技术的进步, 各类新兴技术不断被引入到损伤风险评估中, 然而具体的应用效果与适用性仍需进一步验证。本文旨在探讨我国精英女子运动员下肢损伤风险筛查的新方法, 主要分析肌肉张力监测 (TMG)、着陆错误评分 (LESS) 及基于可穿戴惯性传感器的动作捕捉测试等技术的应用。通过对这些方法的综合评估, 本文将揭示其在运动损伤预防中的潜力及适用性, 并为未来的研究方向提供建议, 希望为运动员损伤防护作出贡献。

**关键词:** 精英女子运动员; 运动防护; 损伤风险筛查; TMG; LESS; 可穿戴惯性传感器

## 1 前言

随着女子运动员在竞技体育中的地位不断提升, 下肢损伤的发生率也逐渐引起研究者和教练员的关注。尤其是在女子运动员中, 下肢损伤不仅会妨碍运动员的竞技表现, 还可能导致长期的健康问题。研究表明, 青少年女性运动员在竞技体育中面临较高的运动相关伤害发生率, 尤其是下肢损伤<sup>[1]</sup>。因此, 有效的风险筛查方法显得尤为重要。

近年来, 肌肉张力监测 (TMG)、着陆错误评分 (LESS) 和基于可穿戴惯性传感器的动作捕捉测试等技术为运动员状态评估提供了更为精准的手段。相关研究表明, TMG能够有效监测运动员的肌肉疲劳程度与损伤风险, 帮助教练员制定个性化的训练方案<sup>[2]</sup>。着陆错误评分 (LESS) 被广泛应用于评估运动员在跳跃和转向过程中的运动模式, 特别是在前交叉韧带 (ACL) 损伤风险的评估中。研究结果显示, 利用LESS进行筛查可识别出高风险的ACL损伤运动员, 从而为制定相应的预防措施提供依据。然而, 当前关于LESS在青少年运动员中有效性和可靠性的研究数据仍显不足, 这表明需要进一步的研究以验证其在不同年龄段及性别运动员中的应用效果。

基于可穿戴惯性传感器的动作捕捉测试技术则提供了一种更加动态和实时的运动分析方法。研究指出, 通过佩戴传感器, 运动员的运动轨迹、速度及加速度等数据能够被实时捕捉和分析, 这对于运动损伤的预测和预防具有重要意义<sup>[3]</sup>。这种技术不仅能够帮助教练员及时调整训练计划, 还能在实际比赛中监测运动员的状态, 以有效降低运动损伤的风险。

## 2 主体

### 2.1 肌肉张力监测 (TMG) 技术概述

肌肉张力监测 (TMG) 是一种用于评估肌肉生理状态的技术, 借助电生理方法能够有效测量肌肉的张力与疲劳程度。TMG还能帮助教练制定个性化训练方案, 针对性地提升运动员的肌肉功能, 降低损伤风险。通过定期监测运动员的肌肉状态, 教练能够及时调整训练负荷, 确保运动员在最佳状态下参赛。

#### 2.1.1 TMG的原理与应用

TMG的基本原理是通过电刺激诱导肌肉收缩, 并利用传感器测量肌肉的反应。这项技术可评估肌肉的紧张度、疲劳程度、反应时间及功能状态。应用于运动员时, TMG能够检测训练或比赛后肌肉的疲劳程度, 并为运动员的恢复与训练计划提供科学依据。此外, TMG还可用于运动损伤的预防, 通过监测肌肉的生理状态, 及时发现潜在风险, 从而降低损伤发生率<sup>[3]</sup>。一些研究中, TMG被用于评估女性运动员的下肢肌肉紧张度, 以识别可能引发膝前交叉韧带 (ACL) 损伤的风险因素。这表明TMG不仅可用于运动表现评估, 更可作为运动损伤风险筛查的重要工具。

#### 2.1.2 TMG在下肢损伤风险评估中的有效性

TMG在下肢损伤风险评估中的有效性正逐渐引起更多关注。研究发现, TMG能够有效识别肌肉不平衡与疲劳, 而这两者都是导致运动损伤的重要因素。例如, 一些研究通过TMG监测运动员下肢肌肉的紧张度, 发现高强度训练后, 特定肌肉群的疲劳程度显著上升, 这与运动员的运动表现下降及损伤风险增加密切相关。

## 2.2 着陆错误评分 (LESS) 方法

### 2.2.1 LESS的评估标准

着陆错误评分系统 (Landing Error Scoring System, LESS) 是一种专门用于评估运动员在进行跳跃后着陆时的运动模式的工具, 重点关注可能导致下肢损伤的生物力学错误。该系统通过录像运动员从特定高度跳下后的着陆表现, 评估其在着陆过程中多个指标的表现, 包括膝关节的内外翻情况、身体重心的控制以及脚跟着地的方式等。LESS的评分标准基于17个具体的评分项, 运动员在每个评分项上可获得0至3的分数, 最终的LESS总分为所有评分项分数之和, 分数越高则表明运动员在着陆过程中出现的错误越多, 从而受伤风险也随之增加。

### 2.2.2 LESS在女子运动员中的应用实例

在女性运动员群体中, LESS的应用实例越来越普遍。举例而言, 一项针对女子篮球运动员的研究显示, LESS评分结果能够有效预测前交叉韧带 (ACL) 受伤的风险。在该研究中, 对39名女性篮球运动员的着陆表现进行了评估, 结果表明LESS分数与运动员在比赛中的受伤发生率之间存在显著的相关性。具体而言, LESS分数较高的运动员在后续比赛中更有可能遭遇ACL损伤。此外, 另一项研究也指出, LESS不仅能识别高风险运动员, 还能为教练制定针对性的训练计划提供数据支持, 从而减少运动员受伤的概率。这些应用实例展示了LESS作为伤害风险筛查工具在女子运动员中的有效性, 并为其在其他运动项目中的推广奠定了良好的基础。

### 2.2.3 LESS的局限性与改进方向

尽管LESS在评估运动员下肢损伤风险方面显示出一定的有效性, 但仍存在一些局限性。首先, LESS评分的主观性较强, 评分的准确性高度依赖于评估者的经验与能力, 这可能导致评分一致性和可靠性的问题。其次, LESS评分主要集中于着陆动作的生物力学特征, 而未考虑运动员的其他生理和心理因素, 如疲劳状态、情绪及心理健康等, 这些都是影响受伤风险的重要因素。因此, 未来可以考虑将LESS与其他评估工具结合使用, 例如功能性运动筛查 (Functional Movement Screen, FMS), 以便更全面地评估运动员的受伤风险。此外, 随着技术的发展, 利用可穿戴惯性传感器等新兴技术分析LESS评分数据, 或许能提高评分的客观性与准确性, 从而进一步增强其在运动损伤预防中的效果。

可穿戴惯性传感器是一种能够实时监测运动员动态数据的设备, 通常集成加速度计、陀螺仪及磁力计等组件。这些传感器通过捕捉运动员在运动过程中的加速度和角速度, 能够精准计算出运动员的姿态、移动轨迹

及动作模式。具体来说, 加速度计用于测量运动员在三个维度上的加速度变化, 陀螺仪则用于判断运动员的旋转角度, 而磁力计可以提供运动方向的信息。这些数据经过相关软件的实时分析, 能够揭示运动员在训练或比赛中的运动表现及潜在的运动损伤风险。例如, 有研究显示, 采用15个可穿戴传感器对运动员全身运动进行捕捉, 可以识别出与前交叉韧带 (ACL) 损伤相关的多项生物力学风险因素<sup>[3]</sup>。利用可穿戴惯性传感器进行的动作捕捉测试在下肢损伤风险筛查中具有诸多优势。首先, 这种测试能够提供高精度的运动数据, 帮助识别运动员在动态运动中的潜在风险。例如, 研究表明, 运动员在进行高动态动作时, 可能会显示出不安全的生物力学特征, 如下肢屈曲受限和膝关节内翻等, 这些均为ACL损伤的预警信号<sup>[3]</sup>。

## 2.3 未来研究方向与临床

### 2.3.1 新技术的整合与创新

在运动医学领域, 新技术的整合和创新是降低运动员损伤风险的重要手段。目前, 许多研究开始关注如何通过生物力学评估和运动表现测试来识别运动员的损伤风险。例如, 有研究探讨了女性青少年运动员在多项运动测试中的表现, 结果显示, 特定的生物力学特征与下肢受伤风险存在关联<sup>[1]</sup>。这种通过综合测试识别运动员弱点的方法, 能够帮助教练和医疗团队为运动员制定个性化的训练方案。此外, 随着可穿戴技术的进步, 运动员的实时数据监测变得愈加可行。例如, 某项研究利用可穿戴传感器收集运动员在高动态动作中的全身运动学数据, 识别出与前交叉韧带 (ACL) 损伤相关的生物力学风险特征, 为预防策略的制定提供了数据支持<sup>[3]</sup>。

### 2.3.2 大数据与人工智能在风险筛查中的应用

在运动医学领域, 大数据与人工智能 (AI) 展示了显著的应用潜力, 尤其是在运动员的风险筛查方面。通过整合并分析大量运动员的生物力学数据、训练负荷、运动历史及其他相关信息, AI能够有效识别潜在的受伤风险模式。例如, 分类与回归树 (CART) 分析被应用于研究女性足球运动员的前交叉韧带 (ACL) 重伤风险, 研究发现, 通过对运动员多项临床风险因素的分析, 可以高效识别高风险个体。此外, 利用机器学习算法, 研究者能够开发出更为精准的风险预测模型, 这些模型将有助于教练及医务人员在运动员恢复及重返运动时做出更加科学的决策。

### 2.3.3 政策与教育对运动员健康管理的影响

运动员的健康管理不仅依赖于科学技术的进步, 还受到政策与教育的影响。国家及地方体育组织需要制定

相关政策,以推动运动员健康管理的标准化。研究表明,运动员参与健康管理教育能够提升他们对自身身体状况的认知,从而促使其积极参与伤害预防措施。此外,教育工作者和教练应加强对运动员的健康知识培训,以提升他们对运动损伤的防范意识。通过政策引导和教育普及,能够有效改善运动员的整体健康管理水平,进而降低运动损伤的发生率。

### 结论语

综上所述,针对我国精英女子运动员下肢损伤风险的筛查,结合肌肉张力监测、着陆错误评分及基于可穿戴惯性传感器的动作捕捉测试等方法将有助于提升运动员的健康与安全性。这些新兴技术提供了全面的损伤风险评估,不仅能够提升运动员的竞技表现,还为运动员的长期健康管理提供支持。未来,随着技术的不断进步与研究的深入,这些方法在我国精英女子运动员中的应用前景将更加广泛。

首先, TMG作为一种非侵入性的肌肉功能评估工具,优势在于其便捷性与高效性,使教练和运动员能够及时调整训练方案,从而降低下肢损伤的发生。然而,现有研究在TMG的标准化及数据解读上存在差异,这要求我们在实践中综合考虑不同研究结果,以制定适合我国运动员特点的评估标准。

其次, LESS作为一种运动表现评估工具,通过观察运动员在动态环境下的表现,有效识别潜在的损伤风险。其重要性在于从运动机制的角度揭示运动员在比赛或训练中的技术缺陷。此外, LESS的评分标准尚未统一,导致不同机构在实施时可能出现理解偏差。

最后, 基于可穿戴惯性传感器的动作捕捉测试,以其高精度和实时性为运动员提供了更为全面的运动数

据。这项技术不仅能够监测运动员的动作模式,还能通过数据分析预测潜在的损伤风险。目前,技术的普及与应用仍面临诸多挑战,如数据处理与解读能力,以及设备的可及性。

综合来看,以上三种新方法的结合在提高女子运动员下肢损伤风险筛查的有效性方面各具优势与局限。为了实现更为科学和有效的健康管理方案,未来研究需在技术整合与创新方面深入探讨。例如,如何将TMG与LESS的评估结果结合,或通过可穿戴传感器获取的运动数据优化TMG和LESS的应用,都是值得深入研究的方向。同时,增强跨学科的合作与交流,将运动医学、数据科学与运动生物力学等领域的研究成果结合起来,能够为运动员健康管理提供更为全面的支持。

### 参考文献

- [1]Franklin E, et. Between-Session Reliability of Athletic Performance and Injury Mitigation Measures in Female Adolescent Athletes in the United States. *Life (Basel)*. 2024 Jul 18;14(7):892.
- [2]Kember LS,et. Effects of Fatigue on Lower Limb Biomechanics and Kinetic Stabilization During the Tuck-Jump Assessment. *J Athl Train*. 2024 Jul 1;59(7):705-712.
- [3]Di Paolo S,et. Do healthy athletes exhibit at-risk biomechanics for anterior cruciate ligament injury during pivoting movements? *Sports Biomech*. 2024 Dec;23(12):2995-3008.
- [4]Johnson D, et. Movement Assessments as Predictors for Initial Anterior Cruciate Ligament Injury: A Critically Appraised Topic. *J Sport Rehabil*. 2025 Apr 11:1-6.