



肌力不足/肌力失衡诱导高山滑雪运动员 ACL损伤及预防措施研究进展

Research Progress of ACL Injury Induced by Muscle Insufficient/Muscle Asymmetry and Prevention in Alpine Skiers

李彦锦,周越*

LI Yanjin, ZHOU Yue*

摘要:前交叉韧带撕裂(anterior cruciate ligament, ACL)是高山滑雪运动员最常见的损伤,运动员通常受损程度严重无法继续比赛。通过文献资料调研,总结高山滑雪损伤特点、评估和预防。肌力不足/肌力失衡是高山滑雪运动员ACL损伤的关键危险因素,可通过肢体对称指数和功能性测试等进行评估。力量训练和神经肌肉控制训练等可以有效帮助高山滑雪运动员预防损伤。

关键词:高山滑雪;前交叉韧带撕裂;预防损伤;肌力不足;肌力失衡

Abstract: Anterior cruciate ligament (ACL) is the most common injury in alpine skiing. Athletes generally suffer from serious injuries and withdraw from the competition. This study aims to summarize the characteristics, assessment and prevention of alpine skiing injury through literature research. Muscle insufficient/muscle asymmetry is a key risk factor for ACL injury in alpine skiers, it can be assessed by limb symmetry index and functional tests. Resistance and neuromuscular training can effectively help alpine skiers prevent injuries.

Keywords: alpine skiing; ACL; injury prevention; muscle insufficient; muscle asymmetry

中图分类号:G863.11 **文献标识码:**A

高山滑雪是冬奥会项目中速度最快的运动之一(滑降比赛中精英运动员最快可以达到160 km/h),同时也是损伤率最高的运动之一。运动员需要在低温低氧的环境下以最快的速度连续转向、变速并保持平衡(Emeterio et al., 2010; Gorski et al., 2014; Polat, 2016; Szmedra et al., 2001; Turnbull et al., 2009),因此产生的高速滑行导致运动员易出现损伤,速率越快损伤率越高(Florenes et al., 2009)。根据国际滑雪联合会(International Ski Federation, FIS)的损伤监控系统(injury surveillance system, ISS)报道,一个赛季中每100名参加世界杯的运动员中约有36人受伤(Florenes et al., 2009)。由于高山滑雪对运动员的下肢运动能力要求极高,因此大部分损伤出现在下肢(Haaland et al., 2016),其中以膝关节的前交叉韧带撕裂(anterior cruciate ligament, ACL)最为常见,并且通常损伤程度严重,需要进行长时间的治疗和康复,使得运动员提前结束赛季甚至影响职业生涯(Westin et al., 2018)。据报道,约有1/3的运动员因ACL损伤缺席至少一个赛季(Pujol et al., 2007);在2006—2015年的世界杯比赛中ACL损伤发生率居高不下,并且没有明显变化(Haaland et al., 2016)。有研究发现,高山滑雪运动员膝关节运动损伤发生率高达87.76%(周洪超, 2010)。

目前鲜见国内对高山滑雪运动员ACL损伤的研究,对损伤特点和预防手段研究明显不足。因此,本文通过文献资料调研,研究ACL损伤特点和机制,总结各国学者对损伤预防的研究及建议及项目特点,在训练过程中及时对运动员的机能状态进行评估并

基金项目:

国家重点研发计划“科技冬奥”重点专项(2018YFF0300801)

第一作者简介:

李彦锦(1996-),女,在读硕士研究生,主要研究方向为运动生理学, E-mail: Yanjin111726@163.com。

*通信作者简介:

周越(1966-),男,教授,博士,博士研究生导师,主要研究方向为运动员机能评定与训练监控, E-mail: chowuyue@163.com。

作者单位:

北京体育大学,北京 100084
Beijing Sport University, Beijing
100084, China.

做到有效预防 ACL 损伤的发生。

1 高山滑雪损伤特点

高山滑雪通常由于雪质不好、坡面不平整、装备损坏、恶劣天气、运动员自身技术失误和高速引发的失控等众多原因导致损伤 (Bere et al., 2011; Sporri et al., 2017)。高山滑雪运动员在滑行过程中重复完成滑降和回转动作, 膝关节反复进行屈、伸和扭转导致膝关节承受负荷过大, 因此膝关节是运动员下肢最容易受损的部位, 通常受损严重 (王嘉琪, 2017; Florenes et al., 2009; Westin et al.,

2012, 2018)。ACL 是膝关节损伤中比例最高的 (Christian et al., 2012; Florenes et al., 2009, 2012; Sulheim et al., 2011)。有学者回顾了 1985—2018 年发表的论文, 发现膝关节损伤在所有损伤类型中占比 27%~41% (Davey et al., 2019)。

目前关于高山滑雪 ACL 损伤特点研究的文献和方法较多 (表 1), 国外学者通过不同的方法对其进行研究, 发现高山滑雪运动员 ACL 损伤发生率整体偏高, 但是损伤中的性别差异一直存在争议, 同时还发现, ACL 损伤与年龄、项目、运动经验等因素相关 (张美珍等, 2016)。

表 1 高山滑雪运动员 ACL 损伤特点
Table1 Summary of ACL Injury Characteristics in Alpine Skiers

研究文献	研究方法	ACL 损伤特点		
		损伤发生率	性别差异	其他
Florenes 等 (2009)	回顾性研究	在 2009 年长达 4~5 个月的赛季观察到 191 名运动员的损伤病例, ACL 损伤占比 44%	男性的绝对损伤率高于女性, 但 ACL 的绝对损伤率性别之间没有差异	—
Pujol 等 (2007)	描述性研究	1980—2005 年 379 名法国国家队队员中, 每个赛季 ACL 损伤发生率约为 8.5%	没有性别差异	世界排名前 30 的运动员更容易发生 ACL 损伤
Christian 等 (2012)	纵向研究	1996—2006 年 370 名年轻运动员中, ACL 损伤占比 15%	女性更容易出现 ACL 损伤, 年轻女性受伤概率是年轻男性的两倍 (Stevenson et al., 1998)	由于老队员参加滑降和超级大回转等损伤率高的项目较多, 相较于年轻队员损伤率高
Bere 等 (2014)	视频分析	69 例视频分析中, 出现 16 例 ACL 损伤, 占比约为 23%	—	—
Westin 等 (2012)	队列研究	193 名年轻运动员中, 膝关节损伤约为 41%, 其中 ACL 占比 69%	男性和女性运动员中都存在左腿下肢易损伤的情况	—
Westin 等 (2018)	病例对照	在 25 例首次 ACL 损伤中, 大部分损伤发生在训练中 (18 例)。在大回转 (giant slalom, GS) 项目中发生的损伤有 12 例 (48%), 回转 (slalom, SL) 有 8 例 (32%), 滑降 (downhill, DH) 和超级大回转 (super giant slalom, SG) 有 4 例 (16%), 赛道外有 1 例 (4%)	没有性别差异	训练年限超过 13 年的运动员 ACL 受伤的风险明显降低

2 高山滑雪 ACL 损伤机制

2.1 直接原因——身体失衡

ACL 损伤通常因运动员在高速滑行中转弯或高难度的跳跃后落地时膝关节承载负荷过高、身体重心后移失去平衡导致摔倒或撞击发生的损伤。Bere 等 (2014) 在 2012 年分析了 69 例 FIS 世界杯 3 个赛季 (2006—2009) 的视频, 其中 55 例在转弯过程中出现损伤, 13 例在跳跃后落地时损伤; 所有案例都是由于向后或向内失衡出现损伤, 主要发生在转向阶段, 不停地转向会使膝关节承受较大的多平面负荷 (Dos Santos et al., 2019)。速度类项目的损伤与高速和跳跃有关, 技术类项目与转弯时的高负荷有关 (Gilgien et al., 2014)。

由于方法和技术等原因限制, 对高山滑雪运动员 ACL 的研究一直停留在业余滑雪者水平。此前有学者将业余滑雪者 ACL 损伤机制总结为两种: 雪靴诱导的胫骨

前移 (boot-induced anterior drawer, BIAD) 和“幻足”。雪靴诱导的胫骨前移是滑雪者在跳跃时向后失去平衡, 膝盖接近伸直并当雪板尾部撞击雪面, 负荷通过滑雪板、固定器和雪靴传导并导致胫骨前移。“幻足”是滑雪者身体向后失衡, 臀部在膝盖以下; 滑雪板尾部内侧被雪面卡住导致膝盖内旋, 此时因雪板弯曲或扭转膝盖的形状像下肢的幻影, 因此该机制称为“幻足”。

Bere 等 (2011) 总结前人的研究并结合 20 例视频分析将专业运动员 ACL 的损伤机制细分为 3 种, 分别是滑倒-抓地 (slip-catch)、落地失衡 (landing back-weighted) 和动态犁式 (dynamic snowplow)。

滑倒-抓地 (Bere et al., 2011) 是 3 种损伤机制中出现次数最多的。滑雪者在转弯时向后或向内失去平衡, 导致滑雪者在雪板外侧失去压力进而重心偏移。此时滑雪者伸腿试图重新对外侧雪板施力, 外侧雪板被雪面卡住

并出现雪板的“自动转向”效应,由于雪板上的固定装置将运动员的下肢固定以及人体自身的解剖结构等原因,雪板成为导致膝盖内旋的杠杆(Andersen et al., 1988; Ruedl et al., 2009, 2011),迫使接近伸直状态的膝盖内旋或外翻(Koga et al., 2010)。

落地失衡(Bere et al., 2011),在起跳的飞行阶段,滑雪者向后失去平衡,膝盖接近伸直的状态下以雪板的尾部先落地,向前的角动量使雪板向前旋转而滑雪者身体向后失去平衡(Sporri et al., 2017);此时滑雪者膝关节承载负荷过大,胫骨股骨受压(Meyer et al., 2008)和胫骨前移综合导致 ACL 损伤。

动态犁式(Bere et al., 2011),滑雪者向后失去平衡,一只雪板上的重量超过另一只,未受力的雪板使滑雪者重心偏移,处于一个分裂的姿势。承重的雪板从外侧接触雪面变成内侧并卡在雪中,迫使膝盖内旋或外翻(Koga et al., 2010)。因为受伤时运动员的姿势像雪犁,故名为“动态犁式”。动态犁式与落地失衡两种机制都多发于滑降比赛中。

视频分析可以更加真实、直观地反映专业运动员的损伤过程和细节;虽然业余滑雪者损伤机制与专业运动员损伤机制略有相似,但滑倒-抓地与动态犁式的损伤机制都明显区别于业余滑雪者机制。无论是业余运动员还是专业运动员,都是由于滑行过程中身体失衡,进而导致动作失误造成膝关节内旋/外翻或胫骨前移,出现 ACL 损伤。

2.2 深层诱因——肌力不足/肌力失衡

研究表明,运动员在滑行过程中身体失去平衡是 ACL 损伤的主要原因。尽管已经有学者总结了专业运动员损伤机制,但是损伤出现的内在原因依旧值得探索。

根据职业骑手在实验室条件下出现意外 ACL 损伤的肌电图和动力学测试数据发现,有可能是因为股四头肌和腘绳肌激活不当导致胫骨前移(Bere et al., 2011)。Sporri 等(2017)对高山滑雪运动员的损伤进行了系统综述,归纳总结出 5 个导致运动员损伤的因素,分别是核心肌力不足/肌力失衡、性别、运动水平、遗传和雪板。因此,肌力不足或肌力失衡被认为可能是导致 ACL 损伤的关键因素(Christian et al., 2012; Devan et al., 2004; Holsgaard-Larsen et al., 2014; Jordan et al., 2015a; Steidl-Muller et al., 2018)。

2.2.1 肌力不足

高山滑雪是以无氧代谢为主的运动(Andersen et al., 1988; Brown et al., 1983; Tesch et al., 1978; White et al., 1993, 1991),下肢发达的力量是高山滑雪运动员必备的基本能力(王嘉瑛, 2017; 徐金成等, 2019; Berg et al., 1995; Emeterio et al., 2010; Haymes et al., 1980; Karlsson, 1984; Song, 1982),其中伸膝肌群重复进行慢速离心收缩

产生的肌力占主导(Bere et al., 2011; Berg et al., 1995; Eriksson et al., 1977; Tesch, 1995)。依靠发达的下肢肌力,高山滑雪运动员才得以完成快速且持续地转向。高山滑雪运动员的股四头肌肌力显著高于其他滑雪项目的运动员(Haymes et al., 1980);瑞典高山滑雪队伸膝肌群的平均等长肌力为 2 900 N,其他项目的运动员平均为 2 500 N(Astrand et al., 2003)。下肢肌力不足会导致运动员在高速滑行的情况下出现动作完成度不佳、力量不足引发的身体失衡等,进而出现撞击或摔倒,导致受伤风险增高(Christian et al., 2012; Westin et al., 2018)。

发达的腘绳肌群可以防止屈膝角度过小,胫骨相对于股骨前移导致的 ACL 损伤(Sporri et al., 2017)。除滑降以外的比赛中,运动员需要使身体保持较低的位置,下肢负荷较大,股四头肌肌电活动处于高水平,股四头肌收缩强烈(Berg et al., 1995, 1999; Ferguson, 2010)。股四头肌收缩时可对胫骨产生向前的牵拉力,引起胫骨前移,增大 ACL 负荷;而腘绳肌收缩时可以抵抗一部分股四头肌对胫骨产生向前牵拉的作用,降低 ACL 的牵拉张力;股四头肌和腘绳肌为拮抗肌群,共同收缩起到维持膝关节动态稳定的作用(周志鹏, 2018)。因此,在着陆前或者转向阶段,运动员股四头肌收缩增强,如果运动员腘绳肌肌力不足,容易导致胫骨前移继而增加 ACL 损伤风险(Myer et al., 2009; Zebis et al., 2009)。Weinhandl 等(2014)在测试中发现,腘绳肌收缩可以降低膝关节的前剪切力,腘绳肌肌力不足会导致膝关节负荷增大。Holsgaard-Larsen 等(2014)在前交叉韧带重建(ACL reconstruction, ACL-R)患者肌肉功能及表现的研究中发现,ACL-R 患者手术腿腘绳肌肌力不足,这可能是导致继发性 ACL 和骨关节炎的潜在因素;ACL-R 人群也普遍存在股四头肌和腘绳肌肌力不足的现象(Hiemstra et al., 2000)。

核心肌力不足也是年轻滑雪运动员产生 ACL 损伤的关键因素(Christian et al., 2012)。较差的躯干姿势控制能力和核心区稳定性可导致运动时下肢的运动模式异常,关节力线发生改变,潜在地增大下肢尤其是膝关节的损伤风险(周志鹏, 2018)。下肢与核心肌群控制滑雪姿势,可以最大限度地减少膝关节负荷从而有效降低膝关节力矩避免损伤(Hintermeister et al., 1995)。

2.2.2 肌力失衡

高山滑雪运动员获得成功的因素不仅是优秀的下肢能力,还需要双侧大腿肌力均衡,具有高度的力量对称性(Neumayr et al., 2003)。双下肢肌力差异过大,使得运动员在高速过弯和滑行中容易因双侧肌力失衡导致身体重心偏移,继而出现摔倒或撞击导致受伤(Jordan et al., 2018)。

Westin 等(2018)通过病例对照发现 ACL 损伤通常出现在左膝,这是由于高山滑雪对双腿的需求是相等的;而大部分人右侧优势侧肌肉更发达,左侧肌肉相对薄弱,因

此更容易损伤;女运动员更容易左下肢出现 ACL 损伤 (Negrete et al., 2007)。Steidl 等 (2018) 在测试中发现超 80% 的运动员以右下肢为主导,在与力量(单腿反向跳、单腿等速肌力测试)和协调(单腿稳定性测试、单腿速度跳测试)相关的测试中可以观察到运动员的双侧差异,发现下肢对称指数高的运动员受伤概率明显高于未受伤的运动员,并认为单腿伸肌力量的肢体差异是导致青少年运动员受伤的一个显著因素。但也有研究与 Westin 等 (2018) 研究结果略有不同,男运动员的下肢优势侧比非优势侧在髌、膝、踝产生更大的力矩,优势侧更容易受伤 (Whyte et al., 2018)。周洪超 (2010) 通过调查统计发现我国 30 名高山滑雪受伤男运动员中,右膝受伤为 21 人;13 名受伤女运动员中,左膝受伤为 10 人。Jordan 等 (2015b) 测试了未受伤的加拿大国家队滑雪队员与受伤后进行 ACL-R 的运动员的股四头肌和腘绳肌,发现 ACL-R 运动员患侧腿的最大肌力均明显低于未受伤的一侧,同时 ACL-R 运动员的股四头肌和腘绳肌爆发力均明显低于未受伤的运动员。核心肌力失衡也容易导致受伤,正常情况下躯干屈肌与伸肌的比值约为 0.91~0.95,易受伤的男运动员比值高于 1.10,屈肌过强伸肌力量弱 (Christian et al., 2012)。王嘉瑛 (2017) 测得我国高山滑雪运动员背部力量强大,躯干伸肌力量约为屈肌力量的 2 倍。

3 预防措施

针对高山滑雪运动员的 ACL 损伤,增加肌力和预防肌力失衡是有效的预防措施 (Neumayr et al., 2003)。

3.1 赛前筛查

在赛季前对运动员进行风险因素筛查,及时发现运动员可能出现的损伤,针对危险因素进行有效干预以降低损伤风险,并潜在地提高运动员的竞技表现 (Myer et al., 2009)。

赛季前可以监测腘绳肌和股四头肌的力量,同时还可以用腘绳肌与股四头肌的肌力比值 (H/Q) 评估动态膝关节稳定性预测运动员受伤风险 (孔令华等, 2019; Murphy et al., 2003)。Neumayr 等 (2003) 用等速测力仪测试高水平运动员的 H/Q 值为 0.57~0.60。在测试中未受伤的男运动员 H/Q 值为 0.42~0.55,女运动员 H/Q 值为 0.45~0.47,当 H/Q 值超过 0.60 时损伤风险增高 (Jordan et al., 2015b)。

肢体对称指数 (limb symmetry index) 可以用来评估运动员的肌力失衡,也可以作为回归训练的参考指标。有研究指出,当运动员肢体差异的临界值小于 10% 时可重返赛场 (Lynch et al., 2015)。在回归训练的赛前筛查中,涉及跳跃的功能性测试中肢体差异应小于 15%;并且不同的部位阈值不同 (Myer et al., 2006)。Steidl 等 (2018) 总结前人的研究与结论,对不同年龄不同水平的运动员进行

研究,发现 10% 的临界值更适用于顶尖运动员;同时,肢体对称指数在力量和平衡测试中应该单独制定阈值。但目前研究指出的具体数值只能用于参考,并不能准确评价运动员的恢复状态,还有待进一步的实验探究。在测力台上进行纵跳、反向跳和蹲跳等测试,可以评估运动员的伸肌肌力以及肌肉向心/离心收缩的能力进而推测运动员的损伤风险 (Jordan et al., 2015a)。Jordan 等 (2015b) 用运动员在测力台上进行跳跃测试时特定相的地面反作用力,计算运动员的肢体对称指数,公式如下:

$$\begin{aligned} \text{未受伤运动员肌力失衡指数} &= \\ &= \frac{\text{左侧下肢} - \text{右侧下肢}}{(\text{左侧下肢} + \text{右侧下肢})} \times 100\% \\ \text{ACL-R 运动员肌力失衡指数} &= \\ &= \frac{\text{健侧} - \text{患侧}}{(\text{左侧下肢} + \text{右侧下肢})} \times 100\% \end{aligned}$$

有学者通过功能性测试进行评估和预测,并推荐使用多种功能性测试进行综合评估效果更好 (Jordan et al., 2018; Steidl-Muller et al., 2018)。单脚跳测试通常用于评估 ACL-R 患者的膝关节功能,因为单脚跳更能代表高水平运动的需求。Jordan 等 (2018) 认为,运动员纵跳时的表现可能与 ACL 损伤风险有关,分析运动员反向跳时离心收缩时相的生物力学指标可以了解运动员的神经肌肉缺陷,继而通过训练进行预防。Westin 等 (2018) 在青少年高山滑雪运动员的功能性单腿跳测试中发现,曾患 ACL 损伤的运动员在单腿距离跳测试中具有显著差异,单腿蹲跳与单腿侧向跳未见差异。单腿距离跳可作为测试爆发力的项目 (Hydren et al., 2013),左右腿差异超过 10 cm 被认为是 ACL 损伤的预测指标,差异过大会影响运动员的神经肌肉控制能力和肌力,因此一般受过伤的高山滑雪运动员肌力失衡指数均较高 (Steidl-Muller et al., 2018)。塔克跳 (tuck jump assessment) 是一种评估运动员肌力失衡的方法;可以增强运动员的竞技能力,也可以进行损伤风险评估,操作简单且可行性高 (Sabet et al., 2019)。运动员双脚平行站立与肩同宽,起跳时可略微下蹲双臂张开,在跳跃过程中尽可能地提膝使双腿接近躯干,落地时脚尖先落。测试过程中对运动员的额状面和矢状面录像,可通过视频回放判断运动员是否存在肌力失衡,如果出现落地时膝内扣、跳跃顶点双膝不平行、跳跃过程中双下肢不平行/不同步、落地时双脚距离过小以及不能同时落地等问题 (Myer et al., 2008),则需要引起重视并使用更准确的测试方法评估 (测力台、等速肌力测试仪等)。

3.2 训练

高山滑雪运动员会进行全身的力量训练,着重训练腿部、核心区域以及髌部/臀部肌肉的肌肉围度、力量耐力、最大肌力和最大功率。与其他项目不同的是,高山滑雪运动员不仅需要加强核心和骨盆区域的稳定性,还需要加强离心训练以维持转弯时肌肉和关节承载的高负荷

和冲击力(Ferguson, 2010;Hydren et al., 2013),同时增强神经-肌肉适应性(Jordan et al., 2018)。

3.2.1 力量训练

通过力量训练增加腿部肌肉力量可以有效预防损伤(Andersen et al., 1988)。有研究建议,在赛季前监控运动员的腘绳肌肌力,以识别有潜在损伤的运动员并及时进行预防措施(Weinhandl et al., 2014)。在构建下肢 3D 模型以探究肌肉在 ACL 薄弱步态中代偿作用的实验中发现,增加腘绳肌肌力足以在步态中稳定膝关节(Shelburne et al., 2005)。

有效的抗阻训练可以多维度增强运动员的肌肉力量。根据美国运动医学学会针对不同运动水平人群提出的抗阻训练方案(American College of Sports, 2009),高山滑雪运动员作为大活动量人群,推荐选择高级训练方案(表2)。

表2 抗阻训练推荐

推荐	力量训练	爆发力训练
顺序	大肌群运动优先,多关节运动优先,高强度运动优先	
运动强度	80%~100% 1RM	上身 30%~60% 1 RM, 下肢 0~60% 1 RM
运动量	复合组(3~6组), 每组 8~12 次	1~3组,每组 3~6次
运动频率	4~6天/周	4~5天/周,建议全身、躯干 和上肢、下肢训练分开进行
组间休息	核心训练 2~3 min,辅助训练 1~2 min	

3.2.2 神经-肌肉控制训练

提高神经肌肉控制能力的训练可以有效减少膝关节负荷,使下肢肌群以及核心肌群的肌肉激活程度处于最佳水平并提高膝关节神经肌肉本体感觉控制能力(孔令华等, 2019; Dos' Santos et al., 2019);一般包括平衡与核心肌力的练习、神经肌肉和本体感觉的训练以及爆发力练习和感觉控制训练(Slomka et al., 2018)。平衡练习可以提高运动员的平衡能力,增加竞赛表现,有效预防损伤并且有利于运动员的机能恢复(Vitale et al., 2018)。

Sabet等(2019)将40名存在肌力失衡的女子篮球运动员分为控制组和对照组,控制组进行6周的神经肌肉控制训练,每周3次,每次30 min,使用瑞士球、平衡半球、实心球等器械进行训练。研究显示,神经肌肉控制训练可以增加运动员的下肢肌力和单脚跳测试的成绩,对比前后等速肌力测试的结果,运动员的肌力失衡程度明显下降。有学者在探究预防训练是否会改善运动员髌-膝的生物力学特性的过程中发现,无损伤历史的青年运动员经过12周的预防与提高成绩(prevent injury and enhance performance, PEP)训练后,下落跳的动作质量明显改善,腕

关节伸肌的利用率提高并减少了膝关节伸肌力矩,胫骨前移的风险降低从而达到保护膝关节的目的;进行与PEP相似的训练也可以有效预防损伤(Pollard et al., 2017)。教练员可以使用PEP项目(表3)提供的标准动作录像和动作要领说明对运动员进行指导和训练(Mandelbaum et al., 2005)。

表3 预防与提高成绩项目方案

Table 3 Program of Injury Prevention and Performance Enhancement

项目	动作	距离	次数/时间
热身	慢跑		
	往返跑	50 yd≈46 m	1次
	倒退跑		
拉伸	小腿三头肌		
	股四头肌		
	腘绳肌	—	30 s×2次
	大腿内收肌		
力量训练	髋部屈肌		
	弓步前行	20 yd≈18 m	2次
	北欧落腘绳肌练习	—	30 s
增强式训练	单脚脚尖起	—	每侧 30 s
	侧向跳	跃过高 5~15 cm 的圆锥	
	前向跳	跃过高 5~15 cm 的圆锥	
	单脚跳	跃过高 5~15 cm 的圆锥	30 s
	纵跳	—	
灵敏性训练	剪刀跳	—	
	往返跑	40 yd≈37 m	
	斜向跑	40 yd≈37 m	1次
	弹跳跑	45~50 yd≈41~46 m	

3.2.3 模拟训练

高山滑雪受自然条件的限制,在非雪季的时间会进行模拟训练,最大限度地在陆地上模拟真实环境和动作模式。模拟训练包括协调性、动作控制、平衡、灵敏等训练,并与力量和耐力训练结合(Hydren et al., 2013),可以很好地帮助运动员在陆地上还原雪地环境并改善运动员的肌肉功能。如在湖面上驾驶动力板或进行摩托艇牵引的滑水训练并配合过标训练可以很好地模拟比赛环境,这与滑雪中屈伸膝关节的动作模式相似,增强运动员对肌肉的控制能力、协调性以及平衡能力等。

3.3 其他

运动性疲劳被认为是导致运动员损伤风险增高的因素之一。赛前的过度训练会导致运动员体内糖原水平下降,继而导致肌力下降产生疲劳,损伤风险增高(Jacobs et al., 1981; Steidl-Muller et al., 2018; Tesch, 1995)。疲劳时会增加落地后膝关节的负荷并降低腘绳肌的激活程度(Behrens et al., 2015)。比赛中,运动员损伤一般高发于

比赛最后一日,大多在比赛后期出现(Bere et al., 2014; Gilgien et al., 2014),因为持续比赛使运动员在慢肌中的糖原消耗殆尽,运动员明显疲劳(Eriksson et al., 1977; Margreiter et al., 1976),容易出现肌力不足、肌力失衡、神经-肌肉协调性下降等因素导致的损伤(Steidl-Muller et al., 2018)。

优化装备也可以有效降低损伤风险。Sporri等(2017)总结前人的研究,发现使用形状较小、稍长、轮廓宽度缩短的雪板可以有效减少损伤的发生。同时,运动员也会购买优质的固定器预防损伤(Andersen et al., 1988)。固定器对于高山滑雪运动员来说十分重要,运动员应该根据身高、体质量以及运动水平选择适合自己的固定装置并适时换新。

4 结论和展望

尽管肌力不足和肌力失衡被学者们认为对ACL损伤有影响,却无法作为ACL损伤的独立危险因素,运动员的损伤仍受其他因素的影响,如年龄、性别、环境、装备等。同时,大部分学者对于肌力失衡的标准无法准确定义,其结论多为参考值,不能准确判定运动员的机能状态和损伤风险,有待进一步研究和实验。赛前筛查、训练以及优化装备已经被证明可以有效预防损伤,降低损伤风险,保证运动员以最佳状态竞技。

现阶段我国高山滑雪还处于起步阶段,缺少高水平运动员,因此本文文献资料调研中均为欧美国家运动员的数据。未来希望可以进一步研究和测试:1)我国高山滑雪运动员的基础数据以及各项身体素质,通过对比世界顶尖运动员水平找出差距,有针对性地进行强化;2)探索更加准确、有效且方便的方法评估运动员的肌力不足/失衡,有助于教练和运动员进行日常监控;3)在前人的研究基础上,探索不同水平运动员肢体差异的临界值,可以更准确地评估运动员的机能状态和损伤风险;4)研究不同训练方式对损伤预防的效果;5)对青少年的损伤预防进行研究和重视。

参考文献:

孔令华,李令岭,2019.神经肌肉训练对运动员ACL损伤康复与预防的研究综述[J].中国体育科技,55(10):62-67.
王嘉瑛,2017.我国优秀高山滑雪运动员身体素质特征分析[D].北京:北京体育大学.
徐金成,高璨,高学东,等,2019.国外优秀高山滑雪运动员的特征[J].中国运动医学杂志,38(1):67-73.
张美珍,刘卉,刘万将,等,2016.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,36(10):40-47.
周洪超,2010.我国高山滑雪运动员膝关节运动损伤的调查与分析研究[D].哈尔滨:哈尔滨体育学院.
周志鹏,2018.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].北京:北京体育大学.

AMERICAN COLLEGE OF SPORTS MEDICINE, 2009. American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults [J]. Med Sci Sports Exerc, 41(3): 687-708.
ANDERSEN R E, MONTGOMERY D L, 1988. Physiology of Alpine skiing [J]. Sports Med, 6(4): 210-221.
ÅSTRAND P O, RODAHL K, DAHL H, et al., 2003. Textbook of Work Physiology-4th: Physiological Bases of Exercise [M]. Hannover: Human Kinetics.
BEHRENS M, MAU-MOELLER A, WASSERMANN F, et al., 2015. Repetitive jumping and sprinting until exhaustion alters hamstring reflex responses and tibial translation in males and females [J]. J Orthop Res, 33(11): 1687-1692.
BERE T, FLORENES T W, KROSSHAUG T, et al., 2011. Mechanisms of anterior cruciate ligament injury in World Cup alpine skiing: A systematic video analysis of 20 cases [J]. Am J Sports Med, 39(7): 1421-1429.
BERE T, FLORENES T W, KROSSHAUG T, et al., 2014. A systematic video analysis of 69 injury cases in World Cup alpine skiing [J]. Scand J Med Sci Sports, 24(4): 667-677.
BERG H E, EIKEN O, 1999. Muscle control in elite alpine skiing [J]. Med Sci Sports Exerc, 31(7): 1065-1067.
BERG H E, EIKEN O, TESCH P A, 1995. Involvement of eccentric muscle actions in giant slalom racing [J]. Med Sci Sports Exerc, 27(12): 1666-1670.
BROWN S L, WILKINSON J G, 1983. Characteristics of national, divisional, and club male alpine ski racers [J]. Med Sci Sports Exerc, 15(6): 491-495.
CHRISTIAN R, HANS-PETER P, CARSON P, et al., 2012. The relationship between ACL injuries and physical fitness in young competitive ski racers: A 10-year longitudinal study [J]. Br J Sports Med, 46(15): 1065-1071.
DAVEY A, ENDRES N K, JOHNSON R J, et al., 2019. Alpine skiing injuries [J]. Sports Health, 11(1): 18-26.
DEVAN M R, PESCATELLO L S, FAGHRI P, et al., 2004. A prospective study of overuse knee injuries among female athletes with muscle imbalances and structural abnormalities [J]. J Athl Train, 39(3): 263-267.
DOS'SANTOS T, THOMAS C, COMFORT P, et al., 2019. The effect of training interventions on change of direction biomechanics associated with increased anterior cruciate ligament loading: a scoping review [J]. Sports Med, 49(12): 1837-1859.
EMETERIO C A, GONZALEZ-BADILLO J J, 2010. The physical and anthropometric profiles of adolescent alpine skiers and their relationship with sporting rank [J]. J Strength Cond Res, 24(4): 1007-1012.
ERIKSSON E, NYGAARD E, SALTIN B, 1977. Physiological demands in downhill skiing [J]. Phys Sportsmed, 5(12): 28-37.
FERGUSON R A, 2010. Limitations to performance during alpine skiing [J]. Exp Physiol, 95(3): 404-410.
FLORENES T W, BERE T, NORDSLETTEN L, et al., 2009. Injuries among male and female World Cup alpine skiers [J]. Br J Sports Med, 43(13): 973-978.
FLORENES T W, NORDSLETTEN L, HEIR S, et al., 2012. Injuries among World Cup ski and snowboard athletes [J]. Scand J Med Sci Sports, 22(1): 58-66.
GILGIEN M, SPORRI J, KROLL J, et al., 2014. Mechanics of turn-

- ing and jumping and skier speed are associated with injury risk in men's World Cup alpine skiing: a comparison between the competition disciplines [J]. *Br J Sports Med*, 48(9): 742-747.
- GORSKI T, ROSSER T, HOPPELER H, et al., 2014. An anthropometric and physical profile of young Swiss alpine skiers between 2004 and 2011 [J]. *Int J Sports Physiol Perform*, 9(1): 108-116.
- HAALAND B, STEENSTRUP S E, BERE T, et al., 2016. Injury rate and injury patterns in FIS World Cup alpine skiing (2006-2015): Have the new ski regulations made an impact? [J]. *Br J Sports Med*, 50(1): 32-36.
- HAYMES E M, DICKINSON A L, 1980. Characteristics of elite male and female ski racers [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 12(3): 153-158.
- HIEMSTRA L A, WEBBER S, MACDONALD P B, et al., 2000. Knee strength deficits after hamstring tendon and patellar tendon anterior cruciate ligament reconstruction [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 32(8): 1472-1479.
- HINTERMEISTER R A, O'CONNOR D D, DILLMAN C J, et al., 1995. Muscle activity in slalom and giant slalom skiing [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 27(3): 315-322.
- HOLSGAARD-LARSEN A, JENSEN C, MORTENSEN N H, et al., 2014. Concurrent assessments of lower limb loading patterns, mechanical muscle strength and functional performance in ACL-patients--a cross-sectional study [J]. *Knee*, 21(1): 66-73.
- HYDREN J R, VOLEK J S, MARESH C M, et al., 2013. Review of strength and conditioning for alpine ski racing [J]. *Strength and Conditioning Journal*, 35(1): 10-28.
- JACOBS I, KAISER P, TESCH P, 1981. Muscle strength and fatigue after selective glycogen depletion in human skeletal muscle fibers [J]. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 46(1): 47-53.
- JORDAN M J, AAGAARD P, HERZOG W, 2015a. Lower limb asymmetry in mechanical muscle function: A comparison between ski racers with and without ACL reconstruction [J]. *Scand J Med Sci Sports*, 25(3): e301-309.
- JORDAN M J, AAGAARD P, HERZOG W, 2015b. Rapid hamstrings/quadriceps strength in ACL-reconstructed elite alpine ski racers [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 47(1): 109-119.
- JORDAN M J, AAGAARD P, HERZOG W, 2018. A comparison of lower limb stiffness and mechanical muscle function in ACL-reconstructed, elite, and adolescent alpine ski racers/ski cross athletes [J]. *J Sport Health Sci*, 7(4): 416-424.
- KARLSSON J, 1984. Profiles of cross-country and alpine skiers [J]. *Clin Sports Med*, 3(1): 245-271.
- KOGA H, NAKAMAE A, SHIMA Y, et al., 2010. Mechanisms for noncontact anterior cruciate ligament injuries: Knee joint kinematics in 10 injury situations from female team handball and basketball [J]. *Am J Sports Med*, 38(11): 2218-2225.
- LYNCH A D, LOGERSTEDT D S, GRINDEM H, et al., 2015. Consensus criteria for defining 'successful outcome' after ACL injury and reconstruction: A Delaware-Oslo ACL cohort investigation [J]. *Br J Sports Med*, 49(5): 335-342.
- MANDELBAUM B R, SILVERS H J, WATANABE D S, et al., 2005. Effectiveness of a neuromuscular and proprioceptive training program in preventing anterior cruciate ligament injuries in female athletes: 2-year follow-up [J]. *Am J Sports Med*, 33(7): 1003-1010.
- MARGREITER R, RAAS E, LUGGER L J, 1976. The risk of injury in experienced alpine skiers [J]. *Orthop Clin North Am*, 7(1): 51-54.
- MEYER E G, HAUT R C, 2008. Anterior cruciate ligament injury induced by internal tibial torsion or tibiofemoral compression [J]. *J Biomech*, 41(16): 3377-3383.
- MURPHY D F, CONNOLLY D A, BEYNNON B D, 2003. Risk factors for lower extremity injury: A review of the literature [J]. *Br J Sports Med*, 37(1): 13-29.
- MYER G D, FORD K R, BARBER FOSS K D, et al., 2009. The relationship of hamstrings and quadriceps strength to anterior cruciate ligament injury in female athletes [J]. *Clin J Sport Med*, 19(1): 3-8.
- MYER G D, FORD K R, HEWETT T E, 2008. Tuck jump assessment for reducing anterior cruciate ligament injury risk [J]. *Athl Ther Today*, 13(5): 39-44.
- MYER G D, PATERNO M V, FORD K R, et al., 2006. Rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction: Criteria-based progression through the return-to-sport phase [J]. *J Orthop Sports Phys Ther*, 36(6): 385-402.
- NEGRETE R J, SCHICK E A, COOPER J P, 2007. Lower-limb dominance as a possible etiologic factor in noncontact anterior cruciate ligament tears [J]. *J Strength Cond Res*, 21(1): 270-273.
- NEUMAYR G, HOERTNAGL H, PFISTER R, et al., 2003. Physical and physiological factors associated with success in professional alpine skiing [J]. *Int J Sports Med*, 24(8): 571-575.
- POLAT M 2016. An examination of respiratory and metabolic demands of alpine skiing [J]. *J Exerc Sci Fit*, 14(2): 76-81.
- POLLARD C D, SIGWARD S M, POWERS C M, 2017. ACL injury prevention training results in modification of hip and knee mechanics during a drop-landing task [J]. *Orthop J Sports Med*, 5(9): doi: 10.1177/2325967117726267.
- PUJOL N, BLANCHI M P, CHAMBAT P, 2007. The incidence of anterior cruciate ligament injuries among competitive alpine skiers: A 25-year investigation [J]. *Am J Sports Med*, 35(7): 1070-1074.
- RUEDL G, LINORTNER I, SCHRANZ A, et al., 2009. Distribution of injury mechanisms and related factors in ACL-injured female carving skiers [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 17(11): 1393-1398.
- RUEDL G, WEBHOFER M, LINORTNER I, et al., 2011. ACL injury mechanisms and related factors in male and female carving skiers: a retrospective study [J]. *Int J Sports Med*, 32(10): 801-806.
- SABET S, LETAFATKAR A, EFTEKHARI F, et al., 2019. Trunk and hip control neuromuscular training to target inter limb asymmetry deficits associated with anterior cruciate ligament injury [J]. *Phys Ther Sport*, 38: 71-79.
- SHELBURNE K B, TORRY M R, PANDY M G, 2005. Effect of muscle compensation on knee instability during ACL-deficient gait [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 37(4): 642-648.
- SLOMKA K J, PAWLOWSKI M, MICHALSKA J, et al., 2018. Effects of 8-week complex balance training in young alpine skiers: A Pilot Study. *Biomed Res Int*, doi:10.1155/2018/6804534.
- SONG T M K, 1982. Relationship of physiological characteristics to skiing performance [J]. *Phys Sportsmed*, 10(12): 96-102.
- SPORRI J, KROLL J, GILGIEN M, et al., 2017. How to prevent injuries in alpine ski racing: What do we know and where do we Go from Here? [J]. *Sports Med*, 47(4): 599-614.
- STEIDL-MULLER L, HILDEBRANDT C, MULLER E, et al.,

2018. Limb symmetry index in competitive alpine ski racers: Reference values and injury risk identification according to age-related performance levels [J]. *J Sport Health Sci*, 7(4): 405-415.
- STEVENSON H, WEBSTER J, JOHNSON R, et al., 1998. Gender differences in knee injury epidemiology among competitive alpine ski racers [J]. *Iowa Orthop J*, 18: 64-66.
- SULHEIM S, HOLME I, RODVEN A, et al., 2011. Risk factors for injuries in alpine skiing, telemark skiing and snowboarding—case-control study [J]. *Br J Sports Med*, 45(16): 1303-1309.
- SZMEDRA L, IM J, NIOKA S, et al., 2001. Hemoglobin/myoglobin oxygen desaturation during alpine skiing [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 33(2): 232-236.
- TESCH P, LARSSON L, ERIKSSON A, et al., 1978. Muscle glycogen depletion and lactate concentration during downhill skiing [J]. *Med Sci Sports*, 10(2): 85-90.
- TESCH P A 1995. Aspects on muscle properties and use in competitive alpine skiing [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 27(3): 310-314.
- TURNBULL J R, KILDING A E, KEOGH J W, 2009. Physiology of alpine skiing [J]. *Scand J Med Sci Sports*, 19(2): 146-155.
- VITALE J A, LA TORRE A, BANFI G, et al., 2018. Effects of an 8-week body-weight neuromuscular training on dynamic balance and vertical jump performances in elite junior skiing athletes: a randomized controlled trial [J]. *J Strength Cond Res*, 32(4): 911-920.
- WEINHANDL J T, EARL-BOEHM J E, EBERSOLE K T, et al., 2014. Reduced hamstring strength increases anterior cruciate ligament loading during anticipated sidestep cutting [J]. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 29(7): 752-759.
- WESTIN M, ALRICSSON M, WERNER S, 2012. Injury profile of competitive alpine skiers: A five-year cohort study [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 20(6): 1175-1181.
- WESTIN M, HARRINGE M L, ENGSTROM B, et al., 2018. Risk factors for anterior cruciate ligament injury in competitive adolescent alpine skiers [J]. *Orthop J Sports Med*, 6(4): doi:10.1177/2325967118766830.
- WHITE A T, JOHNSON S C, 1991. Physiological comparison of international, national and regional alpine skiers [J]. *Int J Sports Med*, 12(4): 374-378.
- WHITE A T, JOHNSON S C, 1993. Physiological aspects and injury in elite alpine skiers [J]. *Sports Med*, 15(3): 170-178.
- WHYTE E F, KENNELLY P, MILTON O, et al., 2018. The effects of limb dominance and a short term, high intensity exercise protocol on both landings of the vertical drop jump: Implications for the vertical drop jump as a screening tool [J]. *Sports Biomech*, 17(4): 541-553.
- ZEBIS M K, ANDERSEN L L, BENCKE J, et al., 2009. Identification of athletes at future risk of anterior cruciate ligament ruptures by neuromuscular screening [J]. *Am J Sports Med*, 37(10): 1967-1973.
- (收稿日期:2020-02-15; 修订日期:2020-03-25; 编辑:尹航)

