



越野滑雪科学训练研究进展 ——基于Web of Science同行评议期刊文献综述 Research Progress of Scientific Training in Cross Country Skiing —Literature Review of Peer-reviewed Journals Based on Web of Science

孙哲^{1,2},张泽艺¹,高新潮²,周虎³,郭振^{1*}

SUN Zhe^{1,2}, ZHANG Zeyi¹, GAO Xinchao², ZHOU Hu³, GUO Zhen^{1*}

摘要: 基于Web of Science科学数据库(WOS),对越野滑雪训练领域近25年相关文献进行研究,发现研究主要从体能、技术、特殊训练环境、运动监控指标、运动损伤和相关专利等6个专题系统展开。分别对各专题进行归纳总结可知:1)体能训练的核心是力量训练和耐力训练,上肢力量训练是重点,其中上肢专项力量耐力是关键,耐力训练需遵循项目供能科学规律,有氧能力是基础也是重点,同时要挖掘运动员的无氧能力,间歇训练法可有效提高越野滑雪运动员所需的专项耐力素质;2)技术研究主要关注技术动作效率和技术策略,增加技术动作的周期长度与循环频率可以提升技术输出效率,有效增加滑行速度;3)高原训练与低氧训练是越野滑雪训练中较为常用的两种特殊训练环境,可有效改善运动员心血管系统和骨骼肌结构,以提高运动员的氧运输能力和肌肉的耐乳酸能力,但如何利用这两种特殊训练环境进行科学训练,还有待进一步研究;4)最大摄氧量、通气阈值、乳酸阈值、氧化脂肪能力和单羧酸盐蛋白等指标是越野滑雪运动监控实践应用中的有效指标;5)越野滑雪运动员的常见损伤主要集中在感染和过度疲劳两方面,运动损伤特征较为明确,但损伤机制、损伤预防和恢复手段等问题还未得到有效解决;6)科技专利研究与训练科学紧密相关,一方面从滑雪装备着手,致力于减少阻力来提高竞赛成绩,另一方面研发训练监测设备,对训练和竞赛过程进行实时监控。

关键词: 越野滑雪;科学训练;运动成绩;竞技

Abstract: Based on the Web of Science (WOS) database, relevant literatures in the field of cross country skiing training in recent 25 years were studied, and it was found that the research was systematically sorted out with six subjects, including physical ability, technology, special training environment, movement monitoring indicators, sports injuries, and related patents. The summaries of each topic show that: 1) Strength training and endurance training are the core of the physical training. Upper body strength training is a key. The special upper limbs strength endurance is the key to endurance training, which should follow the science of energy supply. Aerobic capacity is the foundation and key, while the anaerobic ability should be fully developed. The intermittent training can effectively improve the special endurance of the cross country skiers. 2) Technical research mainly focuses on technical movement efficiency and technical strategy. Increasing the cycle length and cycle frequency of technical movement can improve the technical output efficiency and effectively increase the sliding speed. 3) Altitude training and hypoxia training are relatively common in cross country training, which can effectively improve athletes cardiovascular system and skeletal muscle structure to improve the athletes' oxygen transport capacity and muscle lactic acid resistant ability. However, how to train scientifically in two special environments needs to be further studied. 4) Maximum oxygen uptake, ventilation threshold, lactate threshold, oxidative fat capacity and monocarboxylic acid protein are effective indicators in the monitoring practice of cross country skiing. 5) The common injuries of cross

基金项目:

国家重点研发计划“科技冬奥”重点专项(2018YFF0300406)

第一作者简介:

孙哲(1989-),男,讲师,博士,主要研究方向为体育教育训练学, E-mail:172155841@qq.com。

*通信作者简介:

郭振(1981-),男,博士,博士研究生导师,主要研究方向为体育社会学和大学竞技体育, E-mail:kakushine@tsinghua.edu.cn。

作者单位:

1. 清华大学,北京 100084;
 2. 东北大学,辽宁 沈阳 110819;
 3. 黑龙江省雪上训练中心,黑龙江 哈尔滨 150000
1. Tsinghua University, Beijing 100084, China;
 2. Northeastern University, Shenyang 110819, China;
 3. Heilongjiang Winter Sport Training Center, Harbin 150000, China.

country skiers are mainly due to infection and excessive fatigue. The characteristics of sports injuries are relatively clear, but the injury mechanism, injury prevention and recovery methods remain to be unsolved. 6) Science and technology patent research is closely related to training science. On one hand, it is committed to reducing resistance to improve competition performance by starting with ski equipment. On the other hand, it is necessary to develop training monitoring equipment to conduct real-time monitoring of training and competition process.

Keywords: *cross country skiing; scientific training; athletic performance; competitive*

中图分类号:G863.13 **文献标识码:**A

越野滑雪(cross country skiing)是最早的冬季滑雪运动项目之一,起源于挪威(吕立,2015)。1924年,夏蒙尼冬奥会将越野滑雪项目列为比赛项目(斯万德·福兰德森等,2006),此后,越野滑雪作为冬奥会四大基础战略项目之一,一直都是冬奥会各竞技强国夺取奖牌的必争项目。从近年的冬奥会成绩可以看出,德国、美国、挪威等5个国家在冬奥会基础大项中拥有较强的竞技实力(李忠堂,2016),在各项目的竞争中,尤以在越野滑雪项目上的角逐最为激烈。我国冬季竞技运动项目由于起步较晚,科学训练体系尚待完善,整体呈现出发展水平不高,竞技水平提升缓慢的现状(伊诺等,2018)。因此,系统研究并借鉴国外先进的越野滑雪训练理念,对于提升我国越野滑雪科学训练水平有重要的意义。本文通过梳理国外越野滑雪训练相关研究,追踪越野滑雪科学训练的热点问题,学习并借鉴其科学的训练理念与训练手段,旨在助力提升越野滑雪竞技项目科学化训练水平。

1 文献检索

文献样本来源于Web of Science(WOS)中的核心论文集,以“cross country skiing training”为主题进行检索,得到254篇文献。其中,最早的文献发表于1983年。经筛选发现,1995年之前的文献被引频次低,且与本研究内容相关度较低,借鉴意义较小。因此,将检索时间范围调整为近25年,即1995—2019年,共233篇文献。对研究论文所关注的主要内容进行归类,分为6个专题研究领域:与越野滑雪体能训练研究相关文献54篇,占比23.18%;越野滑雪运动监控指标研究40篇,占比17.17%;运动损伤相关文献38篇,占比16.31%;特殊训练环境32篇,占比13.73%;越野滑雪相关专利文献31篇,占比13.3%;越野滑雪相关技术研究类文献27篇,占比11.59%;其他相关文献11篇,占比4.72%。本文按照数据分析结果,将从越野滑雪体能训练、技术训练、特殊训练环境、运动监控指标、运动损伤和越野滑雪相关专利等6个专题展开。

2 越野滑雪体能训练研究述评

越野滑雪作为一项体能主导类项目,在竞赛过程中对运动员身体素质的力量、速度、耐力等因素提出了较高的要求。在越野滑雪体能训练领域,近年研究主要围绕力量训练(上肢力量、下肢力量和全身力量协调性练习)

和耐力训练(有氧能力和无氧能力)两个方面展开研究。

2.1 越野滑雪力量训练

在上肢力量训练研究中,研究更多关注专项技术力量训练。通过研究上肢力量训练来分析越野滑雪运动员双杖推撑技术运动表现。Tomas等(2017)通过对受试者进行上肢测力训练发现,与双杖推撑技术相关的两个变量(最大速度与有氧能力)均得到有效提升。Losnegard等(2011)在研究中对优秀越野滑雪运动员进行为期12周的力量干预训练后发现,运动员的双杖推撑技术有了较大改善和提高,并认为优秀越野滑雪者的双杖推撑技术很大一部分驱动力是由上肢力量产生。其中,肱三头肌在上肢肌群起着重要作用(Nesser et al., 2004)。

在上肢力量训练中,主要发展运动员的专项力量耐力为主,结合运动员在滑行中上半身的发力模式,运用器械或双杖推撑训练达到理想的训练效果(Terzis et al., 2006)。Ofsteng等(2018)通过对21名优秀越野滑雪运动员每周进行3次上肢专项力量耐力训练发现,通过补充训练不仅可以有效提升运动员在滑行中的耐力表现,而且有利于优化双杖推撑技术的经济性能。有实证研究也发现,越野滑雪运动员经过具有针对性的上半身肌肉耐力训练后,可以有效促进越野滑雪运动员比赛成绩的提升(Borve et al., 2017; Staib et al., 2000)。

还有研究从技术动作对于专项力量需求的角度进行研究。Holmberg等(2005)认为,越野滑雪项目的动作模式是一项主要涉及上肢与下肢力量的复杂技术动作,因此,下肢力量非常关键。Jurgen等(2018)通过动作力学分析表明,双杖推撑滑行过程中,主要依靠下半身关节(髋关节、膝关节、踝关节)在运动中进行力量的传导,下肢力量输出降低将直接导致上肢力量输出以及双杖推撑效率的折损,折损率呈线性关系。Andersson等(2014)对八字上坡滑雪技术进行研究发现,撑杆的推进冲力与腿部力量有较强的相关性,腿部力量在上坡阶段八字滑行中的贡献率显著提升。然而,影响越野滑雪运动员速度的主要因素不仅包括在滑雪过程中施力大小,还包括如何准确有效地协调用力(Mueller et al., 2011),这就需要进行长时间的专项协调性训练,即主要包括专项力量训练与协调性练习。Ohtonen等(2013)提出,通过科学的专项力量训练,可以提升运动员最大力量和力量速率,促使运动员在滑雪过程中肌肉力量的协调使用。越野滑雪专项力量

训练科学理念可归纳为,应遵循可持续克服自身重力、全身协调发力、上肢力量综合素质突出、下肢力量及核心稳定性是能力基础的原则,研究中较少提及非专项性的核心功能性训练以及全身协调性练习,但作为辅助手段在国内外越野滑雪队训练中都是较为常见的。

2.2 越野滑雪耐力训练

在越野滑雪起滑阶段与短距离滑雪比赛中,运动员机体主要依赖无氧供能系统,在短时间内将速度提升到较大值,随着运动员滑行距离的逐渐增加,机体的能量供应方式逐渐从无氧供能转向有氧供能(Losnegard et al., 2014; Sandbakk et al., 2014, 2017),较好的有氧能力可以降低机体的疲劳程度,提升短距离比赛的成绩(Vesterinen et al., 2009)。Sandbakk等(2011)对受试者进行耐力训练干预发现,运动员的比赛成绩、最大摄氧量($\dot{V}O_{2max}$)和通气阈值均得到提升,并认为有氧能力与优秀越野滑雪短距离比赛成绩有密切关系。在长距离越野滑雪比赛过程中,运动员会反复使用超过自身最大有氧能力的运动强度,并且与平坦地形相比,上坡时会更频繁地出现氧亏现象(Karlsson et al., 2018)。有研究表明,在起滑、冲刺和上陡坡阶段,运动员需要更高水平的无氧耐力水平(Mahood et al., 2001)。Stoeggel等(2007b)认为,通过结合专项爆发力训练与耐力训练可以有效提升越野滑雪运动员在冲刺滑雪阶段的能力。可见,在越野滑雪比赛中,根据滑行距离的长短、比赛的不同阶段,对运动员的有氧与无氧供能能力都有不同的需求。因此,在越野滑雪运动员专项耐力训练中,要注意比赛中不同的能量供应特征,科学地将有氧训练与无氧训练有效结合,才能使运动员的供能系统在竞赛中始终处于良好的适应状态,发挥理想的效果。

对于如何有效提升运动员的耐力素质,越野滑雪训练科学理念(Sandbakk et al., 2013)普遍认为,有氧耐力训练是基础,也是重点。在保证运动员大周期内完成最大负荷量的条件下,充分挖掘其无氧能力是取得优异成绩的关键,而以提升运动员无氧能力为目的、牺牲总负荷量为代价的训练安排是不可取的。在耐力素质相关的实践研究中,间歇训练法提及较多,其通过严格控制间歇时间和训练强度,进行反复多组的训练,在实践中被证明具有良好的效果。Nilsson等(2004)对20名优秀国家级越野滑雪运动员进行不同强度的间歇训练干预发现,受试者与越野滑雪相关的生理和生物力学参数($\dot{V}O_{2max}$ 、VT)的输出功率均有显著提升;对不同干预组分别进行比较后发现,间歇训练强度越大,越有利于成绩提升。还有研究将不同强度间歇训练法与传统耐力训练方法进行对比,发现不同强度的间歇训练法对运动员在临近比赛阶段的耐力和成绩指标具有更好的影响(Ronnesta et al., 2016)。Vandbakk等(2017)研究也表明,通过间歇性训练干预后,

与传统有氧耐力的训练效果相比,实验组在 $\dot{V}O_{2max}$ 和上肢最大力量方面都有明显的改善,可见间歇训练法是有效提升运动员耐力素质的重要手段之一。

3 越野滑雪技术训练研究述评

在科学训练理念与方法的作用下,优秀越野滑雪运动员间的体能水平差异越来越小。在体能水平近乎同等的条件下,技术因素在体能主导类项目中成为决定性的要素。对越野滑雪技术相关的研究进行整理发现,当前关于越野滑雪技术动作的研究有27篇,主要为技术效率研究(15篇,占56%)和技术策略研究(12篇,占44%),本文将对这两类技术研究的文献进行总结与归纳。

一方面,在越野滑雪竞赛过程中,运动员技术动作的循环周期长度与速率是影响运动员技术效率的主要因素。Stoeggel等(2009)发现,运动员通常是在维持雪杖循环周期长度的前提下增加循环速率,建议当运动员处于疲劳状态时,不能以减少挥杆次数为代价来保持循环周期长度,应主动增加速率以保持速度。Lindinger等(2009)对12名男性优秀越野滑雪运动员进行9、15、21、27 m/h测试后发现,当滑行速度从9 km/h增至27 km/h时,雪杖撑地力量显著提高,以此延长循环周期的长度。还有研究将双杖推撑技术从单排轮滑应用到越野滑雪中,发现由于双杖推撑技术有较长的循环周期长度与较短的循环速率,可以使滑行速度提升(2.9 ± 2.2)%,比传统滑雪速度更快(Stoeggel et al., 2008)。因此,通过增加技术动作的周期长度与循环频率提升技术输出效率,增加滑行速度,已经得到了验证。此外,对11名优秀越野滑雪运动员的推撑力量曲线图分析可知,撑杆在滑行初始阶段表现出明显的冲击力,并且技术动作的完成效率与撑杆力量相关(Holmberg et al., 2005)。Ohtonen等(2013)在10名优秀越野滑雪运动员的滑雪器材上装置测力传感器,采集运动员腿部和撑杆的相应数据表明,在快速滑行期间,撑杆循环时间缩短约5%,循环速率提高约5%。在所有恒定速度和最大速度下,较高的撑杆力量和较短的循环频率会使撑杆的平均周期力提高7%~10%。因此,运动员通过增加撑杆与侧蹬腿的力量,降低循环时间(增加循环频率),提升比赛成绩。

另一方面,研究通常以运动生物力学分析为依据,对运动员在比赛过程中面对不同地形时的技术策略分析发现,在越野滑雪比赛起滑前18 m,使用交替滑行技术和自由滑行技术(即个人认为使用交替滑行技术和自由滑行技术策略组合最快的技术),比单独使用双杖推撑技术快,具体为:交替滑行技术(4.25 ± 0.10)s,自由滑行技术(4.23 ± 0.13)s,双杖推撑技术(4.47 ± 0.15)s。交替滑行技术可以在短时间内将速度提升至最大值,以此确立起滑优势(Wiltmann et al., 2016)。1)在平坦地形中,优秀运动

员的双杖推撑技术动作特点是较小的关节角度、较高的弯曲速度,使雪杖在较短的循环周期阶段应用较高的杆力来提升滑行速度(Holmberg et al., 2005),通过提高运动员肘关节、髋关节和膝关节角速度,可以提升滑行的最高速度(Lindinger et al., 2009); 2) 在上坡地形中,Stoeggel 等(2008)通过比较双杖推撑技术(double poling, DP)在上坡地形(DP_{up})和平坦地形(DP_{flat})中的力学表现发现,与 DP_{flat} 相比,在 DP_{up} 中运动员的摆臂时间更短; DP_{up} 比 DP_{flat} 的极力峰值大 13%[(417±68) N vs. (368±62) N, P=0.018]; DP_{up} 比 DP_{flat} 出现更多的弯曲肘部动作,在举杖时为 65°±8° vs. 78°±9°, P<0.001,在落杖时为 112°±9° vs. 129°±9°, P<0.001; 在整个撑杆阶段出现较小的外展肩膀角度, DP_{up} 为 70°±6°, DP_{flat} 为 81°±13°, P=0.007。这就需要运动员采用二步交替式滑行来提升爬坡的效率,而在坡度较大时,滑雪板与雪杖是横向角度,传统技术难以施力,应采用八字滑行技术来有效提升运动员在陡坡路段的速度(Kim et al., 2017)。

4 越野滑雪特殊训练环境研究述评

特殊训练环境在体能主导类耐力性竞速项目训练中发挥着重要作用,不同环境下进行训练能使运动员产生不同服习,增强身体素质,适应在特殊环境下的比赛。相关研究中,主要集中于高原训练和低氧训练环境,了解高原训练和低氧训练环境对越野滑雪运动员成绩的影响,以及适应这些特殊环境的最佳方法,可以使越野滑雪运动员实现更好、更全面的赛前训练和竞技比赛表现。

4.1 高原训练

冬季运动项目通常在低到中等海拔高度举行,几乎所有冬季奥运会都至少有 1 个场地位于海拔高于 1 000 m 的地方。盐湖城是冬奥会历史上海拔最高的比赛地点,越野滑雪和冬季两项赛事的场地海拔高度为 1 717 m (Chapman et al., 2010)。高原训练能锻炼越野滑雪运动员的心血管系统,提高运动员的红细胞质量、血红蛋白含量和肺泡通气量(Levine et al., 1997, 2006)。除心血管系统的变化外,骨骼肌结构也可能发生改变,毛细血管密度增加、肌细胞内线粒体密度和肌红蛋白含量增加(Hoppeler et al., 2001),从而提高运动员的氧运输能力,增强肌肉对乳酸的耐受能力,使运动员产生高原习服,进而提高比赛成绩。

检索到的文献从不同角度探讨了影响高原比赛成绩的影响因素(Chapman et al., 2010)。1)氧气的分压及其对工作中的骨骼肌供氧能力和氧吸收能力的影响; 2)大气的密度及其对空气阻力、升力影响越野滑雪运动员的滑行速度。一方面,阻力的大小与速度的平方成正比(Mccole et al., 1990); 另一方面,空气密度的降低减缓了空气阻力的减速效果(Chapman et al., 2010),因此,在高

原环境下,相同的输出功率可以产生更高的速度。在这种情况下,越野滑雪运动员的速度受地形与空气密度的影响会出现较大起伏,这对控制运动强度的能力提出了挑战,该种模式也被称为运动员节奏(Gore et al., 2008); 3)在适应高原训练的过程中,可能会影响氧的运输和酸碱平衡。

对于高原训练的持续时间,学术界目前尚无统一理论,运动科学研究人员的建议与运动员和教练员在具体实践方面并没有完全达成一致。有研究认为,2 周的训练时间对于运动员产生的高原适应能达到效果最大化(Levine et al., 2008; Schuler et al., 2007)。Schuler 等(2007)的研究表明,最大有氧能力和耐力表现在海拔 2 300 m, 16~24 h 内可以达到最大,并且在到达该海拔的 2 周内稳定增加,此后几乎没有进一步改善。还有研究表明,多数运动员在训练时间超过 2 周时会出现急性高山病的症状,尤其海拔在 2 500 m 以上时更为严重,出于对运动员健康安全考虑,高海拔训练时间不应长于 2 周。但也有研究认为,红细胞质量显著增加出现在长于 3 周的训练期内(Millet et al., 2010),因此高海拔训练时间应该是 3~4 周最佳(Levine et al., 1997, 2006)。可以确定的是,训练时间要根据海拔高度和训练强度进行调整。

训练高度也是研究的聚焦点。虽然红细胞生成素的分泌与缺氧应激的程度成正比,但在运动表现方面,分泌更多的红细胞生成素不一定更好。即使对固定高度的个体来说,红细胞生成反应有很大的差异,但大多数受试者的最小阈值高度约为 2 000 m,因此建议运动员的最佳训练海拔在 2 000~2 500 m。此外,还有研究认为,应该尽可能提高运动恢复比,比例为 1:3,并且在条件允许的情况下进行多种运动和训练,避免单一运动(Chapman et al., 2010)。同时,“高住低练”的高原训练模式,可以帮助越野滑雪运动员在耐力项目中获得最佳表现(Gore et al., 2008)。

4.2 低氧训练

研究表明,在模拟的低氧环境中生活和训练也可能有益于比赛成绩的提高(Herms et al., 2015)。当前可模拟的低氧环境有:常压低氧,在常压环境下人为暴露于低氧环境中;低压低氧,在低压室人为暴露于低氧环境中;间歇性低氧,短时间(通常 3~10 min)多次暴露于低氧气体混合物中(低压或常压),过程中穿插有常氧恢复期(Bernard et al., 2001)。在越野滑雪实际训练中,比较常用的是间歇性低氧暴露。

在间歇性低氧环境训练时,典型的方案是每天暴露 1 h,持续数周。这一过程增强了耐力型运动员在低氧环境下的通气反应(Townsend et al., 2004),使机体吸收氧气的的能力增加,提高了在越野滑雪比赛中的氧吸收和氧供给能力。研究指出,间歇性低氧暴露的通气适应程度可

能是短暂的(Rusko et al., 2004)。Ashenden等(1999)通过研究运动员在氮气房中进行训练对于红细胞数量的影响发现,连续4周每天在氮气房中度过16 h,显著改善了红细胞质量。

在低氧环境下进行训练产生的健康问题也备受关注。有调查发现,25%的运动员在低氧训练期间出现健康问题,低氧应激的增加,以及高训练负荷和其他压力的共同作用,使运动员过度紧张,从而导致训练表现和健康状况不佳(Bernardi et al., 2001),如睡眠、认知功能(Komi-yama et al., 2015)质量下降等。低氧训练还会损害免疫功能,从而增加感染和患病的风险。针对这一现象,建议运动员在低氧训练的第1周或第2周减少总训练量和训练强度(Saunders et al., 2009),并将运动员的疲劳状态(生理和心理)作为监测指标。同时,教练员也应该更多地关注运动员的心理状态、训练负荷、训练强度和恢复水平,保证营养的摄入,为运动员配备专业的医疗团队,有效减少由于低氧训练带来的疾病问题。

5 越野滑雪运动监控指标研究述评

国外学者以运动生理学为理论基础,结合项目特征,对越野滑雪训练中的运动监控指标进行了研究。Sandbakk等(2011)对受试者进行训练干预发现,运动员的 $\dot{V}O_{2max}$ 、通气阈值和冲刺阶段成绩均有明显提升。具备较高的无氧能力、乳酸能力和抗疲劳能力,可以作为评价短距离越野滑雪运动员的关键性指标(Stoeggel et al., 2007a)。由于越野滑雪运动员的 $\dot{V}O_{2max}$ 值较高,且手臂动脉直径较大,一定程度上反映了其对全身和上半身长期耐力训练模式的特殊适应性(Lundgren et al., 2015)。Mahood等(2001)对受试者进行3次实地测试,以确定乳酸阈值、滑雪技术动作的有效性和 $\dot{V}O_{2max}$ 值与比赛成绩的关系,发现运动员需要在全面的耐力训练计划中集中精力发展有氧能力和上半身的特定力量,提升乳酸阈值和 $\dot{V}O_{2max}$,才能有效提升比赛成绩。氧化脂肪能力作为衡量优秀长跑运动员耐力素质水平的重要指标之一,同样也被用于监测越野滑雪运动员的耐力素质。Dandanell等(2018)对8名优秀越野滑雪运动员进行研究发现,耐力训练后,最大氧化脂肪能力和骨骼肌线粒体体积密度显著增加,耐力水平也得到有效提升。单羧酸盐蛋白(monocarboxylate transporter, MCT)运送机体运动后产生的乳酸,其浓度与乳酸含量呈正相关。Evertsen等(2001)对20名优秀越野滑雪运动员进行不同强度训练干预,训练前后取股外侧肌组织切片,研究发现,通过高强度训练,运动员的乳酸阈值得到有效提升,同时MCT浓度也较为平稳,因此,运动训练强度与MCT数值之间的关系可以作为制订越野滑雪训练计划的科学依据。综上所述,在训练监控指标中主要应用的生理学指标包括 $\dot{V}O_{2max}$ 、通气阈值、乳酸阈值、氧化

脂肪能力和MCT等。 $\dot{V}O_{2max}$ 作为评价有氧能力的最佳指标,在训练中通常用于长距离训练监控与评价,同时, $\dot{V}O_{2max}$ 、乳酸阈值和通气阈值的提升也与越野滑雪运动员的冲刺成绩提升存在较大关联;越野滑雪运动员可以通过提升最大脂肪氧化能力,进一步促进运动员耐力水平的提升;MCT越多,运输乳酸能力越强,可以通过提升MCT来推迟越野滑雪运动员疲劳阶段的出现。总之,在训练科学研究中,生理学指标已经广泛运用到越野滑雪训练和竞赛的监控与评价中。

6 越野滑雪运动损伤研究述评

损伤是运动员系统训练,保持良好竞技状态的主要阻碍因素之一。对大量病例进行研究发现,越野滑雪项目对运动员心血管机能和肌肉骨骼系统提出较高的要求,与其他耐力运动项目类似,运动员的健康问题主要集中在感染和过度疲劳损伤两方面(Helenius et al., 2005)。

有研究对2014年索契冬奥会中来自88个国家(地区)奥委会的2780名运动员进行训练比赛实时跟踪,发现期间有391人受伤,249人患病,每100名运动员中有14人受伤和8.9人患病,其中越野滑雪、短道速滑等项目的患病率最高(Soligard et al., 2011)。此外,还有研究对越野滑雪、自由滑雪等项目的284名青少年优秀运动员进行为期1年的测试,发现受试期间运动员受伤发生率为91.6%,这对其运动参与、训练和比赛水平将产生较大影响(Philip et al., 2018)。

对越野滑雪运动员伤病种类进行统计,腰背痛的发病率较高(Helenius et al., 2005; Philip et al., 2018),下背部是其疼痛发生的主要部位(Bahr et al., 2004; Helenius et al., 2005),这将直接导致运动员无法正常训练和参赛。有研究曾对52755名长距离越野滑雪者进行为期10年的跟踪调查,发现919名患者在随访期间出现心律失常现象(Kasper et al., 2013)。Takashima等(2007)系统研究了50 km越野滑雪比赛中肌肉损伤的间接指标,发现肌肉损伤和炎症的血液标志物有所增加,但并没有马拉松运动项目显著,越野滑雪运动员机体在短时间内可以得到有效恢复。由于越野滑雪运动员的冬季训练长期处在冷空气环境中,吸入较多的刺激物与过敏源,因此哮喘病在这些运动员中较为常见(Alaranta et al., 2008; Helenius et al., 2005)。此外,越野滑雪运动员在训练与竞赛中还可能受到急性损伤的影响,如拇指的尺侧副韧带扭伤、膝内侧副韧带和踝关节损伤(Morris et al., 1999; Rosen et al., 2017),头部、颈椎和膝关节是最常见的损伤部位(Engebretsen et al., 2010)。

Bergstrom等(2004)研究发现,交替滑行技术是引起腰背痛的主要技术动作,运动员通过调整滑行速度、纠正技术动作和适当进行伸展运动可以有效减缓疼痛的发

生。Kasper 等(2013)认为,运动员多次且以较快速度参加越野滑雪竞技比赛,其慢性心律失常发病率更为明显。Kennedy 等(2016)认为,女性越野滑雪运动员经过寒冷干燥的冬季训练,其气道炎症和咳嗽症状患病率显著增加,并认为此症状与运动员总的训练量显著相关,建议通过制订科学合理的训练计划,尽量避免在冬季环境中长期进行重复性训练。还有研究认为,优秀运动员通常使用抗哮喘药物来治疗运动引起的支气管症状(Morris et al., 1999)。

7 越野滑雪相关专利研究述评

在越野滑雪项目近 100 年的发展进程中,从比赛技术的提升到赛制的创新与改进,该项目已经发生了革命性的改变。与此同时,比赛速度几乎提升 1 倍(Sandbakk et al., 2014),如 50 km 比赛,20 世纪 50—60 年代大约需要 4 h,但近 5 年来只需要 2 h,这样的变化离不开日益精进的赛道场地和滑雪装备。在自由式项目中,运动员使用多种花样滑雪技术,以及专门为最大滑行速度设计的滑雪板和更长、更硬的滑雪杖(Holmberg et al., 2015),速度的提升表现得更为明显。

越野滑雪过程中的阻力主要包括空气阻力和滑雪板底座与雪之间的摩擦力,最大限度地减小阻力提高滑雪速度。为了尽可能减小滑雪板与雪地之间的摩擦力,研究人员致力于对滑雪板底部材料进行改进。雪蜡中的氟含量也对减小阻力有帮助,使用高氟化蜡后,滑雪性能可提高 4%(Felix et al., 2014; Nilsson et al., 2010)。Budde 等(2017)研发的近距离传感器摩擦计能够区分两对滑雪板之间的摩擦差异,分辨率为 0.001,从摩擦系数的角度量化了滑道蜡和基材变形处理的效果。通过改变摩擦系数估算滑雪比赛的时间差,使研究人员能更精确地预估滑雪比赛时间。

近年,利用微型传感器识别越野滑雪运动员的运动模式也是研究人员追踪的热点问题。目前,常用的传感器包括加速度计、陀螺仪、角速率传感器、心率传感器、全球导航卫星系统(Global Navigation Satellite System, GNSS)、GPS 传感器的 Minimax(TM)单元和惯性测量单元(inertial measurement unit, IMUs)及其组合设备(Jang et al., 2018; Marsland et al., 2012, 2015; Sakurai et al., 2014; Seeborg et al., 2017)。通过这些技术,研究人员可准确识别 DP、交替滑行技术(double steps, DS)、踢双杖(kick double poling, KDP)、折叠(Tuck)和转弯(Turn)等技术动作,并确定速度函数等。当越野滑雪运动员在不同赛道滑雪时,无论业余滑雪者还是世界级运动员,所有传感器数据都被同步采样,并与商用运动手表的 GNSS 数据同步。近期,科研人员又研发出可与智能手机直接连接的加速度计传感器,通过智能手机(对胸部)和基于视频记录的齿

轮分类进行比较,智能手机应用程序在所有情况下都能正确识别固定齿轮,正确率达到(90.3±4.1)%($P<0.01$) (Stoggl et al., 2014),从而能准确分辨运动员在训练过程中进行的技术切换。

8 结语

目前,国外越野滑雪训练科学相关研究主要侧重于实践应用,能够对越野滑雪训练提供有利指导,通过提炼和归纳得出以下研究趋势:1)体能训练的核心是力量训练与耐力训练。主要结合双杖推撑技术发力模式,提高上肢专项力量耐力是关键,下肢力量及专项协调性训练是基础;耐力训练中,要准确把握越野滑雪项目的供能特征,发展运动员有氧能力是基础也是重点,以此为根基挖掘运动员的无氧能力,间歇训练法则是提高越野滑雪项目所需耐力素质的有效方法。2)技术研究,一方面主要关注技术动作效率,即通过增加技术动作的周期长度与循环频率提升技术输出效率,有效增加滑行速度;另一方面是技术策略,通过比较越野滑雪竞赛中各阶段不同技术的使用效果,为提高运动成绩提供科学依据。3)高原训练与低氧训练是越野滑雪训练中较为常用的两种特殊训练环境。研究表明,特殊环境训练可通过改善运动员心血管系统和骨骼肌结构提高运动员的氧运输能力和肌肉的耐乳酸能力,但从科学训练的角度(如训练时长、训练高度、训练负荷、训练恢复等方面)有待进一步研究。4)运动监控指标研究主要提取了 $\dot{V}O_{2max}$ 、通气阈值、乳酸阈值、氧化脂肪能力和 MCT 等,这些指标可在越野滑雪训练和竞赛的监控与评价中提供科学依据。5)越野滑雪运动员的运动损伤概率较高,主要集中在感染和过度疲劳两方面。数据统计显示,运动损伤特征较为明确,但损伤机制、损伤预防和恢复手段等问题还未得到有效解决。6)科技专利研究与训练科学紧密相关。一方面从滑雪装备着手,致力于减少阻力来提高越野滑雪竞赛成绩;另一方面,研发训练监测设备,对训练过程进行实时监控,可为科学训练提供有效数据。

参考文献:

- 李忠堂, 2016. 我国优秀越野滑雪运动员专项耐力年度训练结构研究[D]. 上海: 华东师范大学.
- 吕立, 2015. 第 18~22 届冬奥会各竞技强国优势项目比较研究[J]. 广州体育学报, 35(4): 60-64.
- 斯万德·福兰德森, 常志良, 张晓洁, 2006. 冬奥会滑雪项目的历史演变[J]. 体育文化导刊, 11(9): 74-75, 85.
- 伊诺, 张伟, 叶茂盛, 等, 2018. 冬季奥运项目发展演变与我国奥运项目选择[J]. 北京体育大学学报, 41(5): 1-8.
- ALARANTA A, ALARANTA H, HELENIUS I, 2008. Use of prescription drugs in athletes[J]. Sports Med, 38(6): 449-463.
- ÁLVAREZ-HERMS J, JULIÀ-SÁNCHEZ S, HAMLIN M J, et al., 2015. Popularity of hypoxic training methods for endurance-based professional and amateur athletes[J]. Physiol Behav, 143(3): 35-38.

- ANDERSEN K, FARAHMAND B, AHLBOM A, et al., 2013. Risk of arrhythmias in 52 755 long-distance cross country skiers: A cohort study[J]. *Eur Heart J*, 34(47): 3624-3631.
- ANDERSSON E, STÖGGL T, PELLEGRINI B, et al., 2014. Biomechanical analysis of the herringbone technique as employed by elite cross country skiers[J]. *Scand J Med Sci Sports*, 24(3): 542-552.
- ASHENDEN M J, GORE C J, DOBSON G P, et al., 1999. "Live high, train low" does not change the total haemoglobin mass of male endurance athletes sleeping at a simulated altitude of 3 000? M for 23 nights[J]. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 80(5): 479-484.
- BAHR R, ANDERSEN S O, LØKEN S, et al., 2004. Low back pain among endurance athletes with and without specific back loading: A cross-sectional survey of cross country skiers, rowers, orienteers, and nonathletic controls[J]. *Spine*, 29(4): 449-454.
- BERGSTROM K A, BRANDSETH K, FRETHEIM S, et al., 2004. Back injuries and pain in adolescents attending a ski high school[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 12(1): 80-85.
- BERNARDI L, PASSINO C, SEREBROVSKAYA Z, et al., 2001. Respiratory and cardiovascular adaptations to progressive hypoxia: Effect of interval hypoxic training[J]. *Eur Heart J*, 22(10): 879-886.
- BREITSCHÄDEL F, HAALAND N, ESPALLARGAS N, 2014. A tribological study of UHMWPE ski base treated with nano ski wax and its effects and benefits on performance[J]. *Procedia Engineering*, 72(3): 267-272.
- BØRVE J, JEVNE S N, RUD B, et al., 2017. Upper-body muscular endurance training improves performance following 50 min of double poling in well-trained cross country skiers[J]. *Front Physiol*, 8(3): 690.
- BUDDE R, HIMES A, 2017. High-resolution friction measurements of cross country ski bases on snow[J]. *Sports Engineering*, 20(4): 299-311.
- CARLEON T, WEDHOLM L, NILSSON J, et al., 2017. The effects of strength training versus ski ergometer training on double poling capacity of elite junior cross country skiers[J]. *Eur J Appl Physiol*, 117(8): 1523-1532.
- CHAPMAN R F, STICKFORD J L, LEVINE B D, 2010. Altitude training considerations for the winter sport athlete[J]. *Exp Physiol*, 95(3): 411-421.
- DANDANELL S, LUNDBY A K, ANDERSEN A B, et al., 2018. Determinants of maximal whole body fat oxidation in elite cross country skiers: Role of skeletal muscle mitochondria[J]. *Scand J Med Sci Sports*, 28(12): 2494-2504.
- DANIELSEN J, SANDBAKK Y, MCGHIE D, et al., 2018. The effect of exercise intensity on joint power and dynamics in ergometer double-poling performed by cross country skiers[J]. *Human Movement Sci*, 57: 83-93.
- ENGBRETSEN L, STEFFEN K, ALONSO J M, et al., 2010. Sports injuries and illnesses during the Winter Olympic Games 2010[J]. *Brit J Sports Med*, 44(11): 772-780.
- EVERTSEN F, MEDBØ J I, BONEN A, 2001. Effect of training intensity on muscle lactate transporters and lactate threshold of cross country skiers[J]. *Acta Physiol Scand*, 173(2): 195-205.
- GORE C J, MCSHARRY P E, HEWITT A J, et al., 2008. Preparation for football competition at moderate to high altitude[J]. *Scand J Med Sci Sports*, 18(1): 85-95.
- HELENIUS I, LUMME A, HAAHTELA T, 2005. Asthma, airway inflammation and treatment in elite athletes[J]. *Sports Med*, 35(7): 565-574.
- HÉBERT-LOSIER K, ZINNER C, PLATT S, et al., 2017. Factors that influence the performance of elite sprint cross country skiers[J]. *Sport Med*, 47(2): 319-342.
- HOLMBERG H C, 2015. The elite cross country skier provides unique insights into human exercise physiology[J]. *Scand J Med Sci Sports*, 25(Suppl 4): 100-109.
- HOLMBERG H C, LINDINGER S, STÖGGL T, et al., 2005. Biomechanical analysis of double poling in elite cross country skiers[J]. *Med Sci Sports Exer*, 37(5): 807-818.
- HOPPELER H, VOGT M, 2001. Muscle tissue adaptations to hypoxia[J]. *J Exp Biol*, 204(18): 3133-3139.
- JANG J, ANKIT A, KIM J, et al., 2018. A unified deep-learning model for classifying the cross country skiing techniques using wearable gyroscope sensors[J]. *Sensors*, 18(11): 132-145.
- KARLSSON O, GILGIEN M, GLOERSEN O N, et al., 2018. Exercise intensity during cross country skiing described by oxygen demands in flat and uphill terrain[J]. *Front Physiol*, 9(8): 846-859.
- KENNEDY M D, DAVIDSON W J, WONG L E, et al., 2016. Airway inflammation, cough and athlete quality of life in elite female cross country skiers: A longitudinal study[J]. *Scand J Med Sci Sports*, 26(7): 835-842.
- KOMIYAMA T, SUDO M, HIGAKI Y, et al., 2015. Does moderate hypoxia alter working memory and executive function during prolonged exercise?[J]. *Physiol Behav*, 139(3): 290-296.
- LEVINE B D, STRAY-GUNDERSEN J, 1997. "Living high-training low": Effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance[J]. *J Appl Physiol*, 83(1): 102-112.
- LEVINE B D, STRAY-GUNDERSEN J, 2006. Dose-response of altitude training: How much altitude is enough?[J]. *Adv Exp Med Biol*, 588: 233-247.
- LEVINE B D, STRAY-GUNDERSEN J, MEHTA R D, 2008. Effect of altitude on football performance[J]. *Scand J Med Sci Sports*, 18(Suppl 1): 76-84.
- LINDINGER S J, STÖGGL T, MÜLLER E, et al., 2009. Control of speed during the double poling technique performed by elite cross country skiers[J]. *Med Sci Sports Exer*, 41(1): 210-220.
- LOSNEGARD T, HALLEN J, 2014. Physiological differences between sprint-and distance-specialized cross country skiers[J]. *Int J Sports Physiol Perform*, 9(1): 25-31.
- LOSNEGARD T, MIKKELSEN K, RONNESTAD B R, et al., 2011. The effect of heavy strength training on muscle mass and physical performance in elite cross country skiers[J]. *Scand J Med Sci Sports*, 21(3): 389-401.
- LUNDGREN K M, KARLSEN T, SANDBAKK O, et al., 2015. Sport-specific physiological adaptations in highly trained endurance athletes[J]. *Med Sci Sports Exer*, 47(10): 2150-2157.
- MAHOOD N V, KENEFICK R W, KERTZER R, et al., 2001. Physiological determinants of cross country ski racing performance[J]. *Med Sci Sports Exer*, 33(8): 1379-1384.
- MARSLAND F, LYONS K, ANSON J, et al., 2012. Identification of cross country skiing movement patterns using micro-sensors[J]. *Sensors*, 12(4): 5047-5066.
- MARSLAND F, MACKINTOSH C, ANSON J, et al., 2015. Using micro-sensor data to quantify macro kinematics of classical cross country skiing during on-snow training[J]. *Sports Biomech*, 14(4): 435-447.
- MCCOLE S D, CLANEY K, CONTE J C, et al., 1990. Energy expenditure during bicycling[J]. *J Appl Physiol*, 68(2): 748-753.

- MILLET G P, ROELS B, SCHMITT L, et al., 2010. Combining hypoxic methods for peak performance[J]. *Sports Med*, 40(1):1-25.
- MORRIS P J, HOFFMAN D F, 1999. Injuries in cross country skiing: Trail markers for diagnosis and treatment [J]. *Postgrad Med*, 105(1):89-91.
- NESSER T W, CHEN S, SERFASS R C, et al., 2004. Development of upperbody power in junior cross country skiers [J]. *Strength Cond Res*, 18(1):63-71.
- NILSSON J E, HOLMBERG H C, TVEIT P, et al., 2004. Effects of 20-s and 180-s double poling interval training in cross country skiers [J]. *Eur J Appl Physiol*, 92(1-2):121-127.
- NILSSON H, KARRMAN A, WESTBERG H, et al., 2010. A time trend study of significantly elevated perfluorocarboxylate levels in humans after using fluorinated ski wax [J]. *Environ Sci Technol*, 44(6):2150-2155.
- OFSTENG S, SANDBAKK O, VAN B M, et al., 2018. Strength training improves double-poling performance after prolonged submaximal exercise in cross country skiers [J]. *Scand J Med Sci Sports*, 28(3):893-904.
- OHTONEN O, LINDINGER S J, LINNAMO V, 2013. Effects of gliding properties of cross country skis on the force production during skating technique in elite cross country skiers [J]. *Int J Sports Sci Coa*, 8(2):407-416.
- RONNESTA B R, HANSEN J, THYLI V, et al., 2016. 5-week block periodization increases aerobic power in elite cross country skiers [J]. *Scand J Med Sci Sports*, 26(2):140-146.
- RUSKO H, TIKKANEN H, PELTONEN J E, 2004. Altitude and endurance training [J]. *Sports Sci*, 22(10):928-945.
- SAKURAI Y, FUJITA Z, ISHIGE Y, 2014. Automated identification and evaluation of subtechniques in classical-style roller skiing [J]. *J Sports Sci Med*, 13(3):651-657.
- SANDBAKK Ø, HOLMBERG H C, 2017. Physiological capacity and training routines of elite cross country skiers: Approaching the upper limits of human endurance [J]. *Int J Sports Physiol Perform*, 12(8):1003-1011.
- SANDBAKK Ø, HOLMBERG H C, 2014. A reappraisal of success factors for Olympic cross country skiing [J]. *Int J Sports Physiol Perform*, 9(1):117-121.
- SANDBAKK Ø, SANDBAKK S B, ETTEMA G, et al., 2013. High-intensity interval training in highly trained junior cross country skiers [J]. *J Strength Cond Res*, 27(7):1974-1980.
- SANDBAKK Ø, WELDE B, HOLMBERG H C, 2011. Endurance training and sprint performance in elite junior cross country skiers [J]. *J Strength Cond Res*, 25(5):1299-1305.
- SAUNDERS P U, PYNE D B, GORE C J, 2009. Endurance training at altitude [J]. *High Alt Med Biol*, 10(2):135-138.
- SCHULER B, THOMSEN J J, GASSMANN M, et al., 2007. Timing the arrival at 2 340 m altitude for aerobic performance [J]. *Scand J Med Sci Sports*, 17(5):588-594.
- SEEBERG T M, TJONNAS J, RINDAL O M H, et al., 2017. A multi-sensor system for automatic analysis of classical cross country skiing techniques [J]. *Sports Engineering*, 20(4):313-327.
- SOLIGARD T, STEFFEN K, PALMER-GREEN D, et al., 2015. Sports injuries and illnesses in the Sochi 2014 Olympic Winter Games [J]. *Brit J Sports Med*, 49(7):441-447.
- STAIB J L, IM J, CALDWELL Z, et al., 2000. Cross-country ski racing performance predicted by aerobic and anaerobic double poling power [J]. *J Strength Cond Res*, 14(3):282-288.
- STOGGL T, HOLST A, JONASSON A, et al., 2014. Automatic classification of the sub-techniques (Gears) used in cross country ski skating employing a mobile phone [J]. *Sensors*, 14(11):20589-20601.
- STÖGGL T, LINDINGER S, MÜLLER E, 2007a. Analysis of a simulated sprint competition in classical cross country skiing [J]. *Scand J Med Sci Sports*, 17(4):362-372.
- STÖGGL T, LINDINGER S T, MÜLLER E, 2007b. Evaluation of an upper-body strength test for the cross country skiing sprint [J]. *Med Sci Sports Exer*, 39(7):1160-1169.
- STÖGGL T, MÜLLER E, AINEGREN M, et al., 2011. General strength and kinetics: Fundamental to sprinting faster in cross country skiing? [J]. *Scand J Med Sci Sports*, 21(6):791-803.
- STÖGGL T, MÜLLER E, LINDINGER S, 2008. Biomechanical comparison of the double-push technique and the conventional skate skiing technique in cross country sprint skiing [J]. *J Sports Sci*, 26(11):1225-1233.
- STÖGGL T L, HOLMBERG H C, 2016. Double-poling biomechanics of elite cross country skiers: Flat versus uphill terrain [J]. *Med Sci Sports Exer*, 48(8):1580-1589.
- STÖGGL T L, MÜLLER E, 2009. Kinematic determinants and physiological response of cross country skiing at maximal speed [J]. *Med Sci Sports Exer*, 41(7):1476-1487.
- TAKASHIMA W, ISHII K, TAKIZAWA K, et al., 2007. Muscle damage and soreness following a 50-km cross country ski race [J]. *Eur J Sport Sci*, 7(1):27-33.
- TERZIS G, STATIN B, HOLMBERG H C, 2006. Upper body training and the triceps brachii muscle of elite cross country skiers [J]. *Scand J Med Sci Sports*, 16(2):121-126.
- TOWNSEND N E, GORE C J, TRUIJENS M J, et al., 2004. Ventilatory acclimatization to intermittent hypoxia in well-trained runners and swimmers [J]. *Med Sci Sports Exer*, 36(suppl):s337.
- VANDBAKK K, WELDE B, KRUKEN A H, et al., 2017. Effects of upper-body sprint-interval training on strength and endurance capacities in female cross country skiers [J]. *PLoS One*, 12(2):159-164.
- VON ROSEN P, FLOSTRÖM F, FROHM A, et al., 2017. Injury patterns in adolescent elite endurance athletes participating in running, orienteering, and cross country skiing [J]. *Int J Sports Phys Ther*, 12(5):822-832.
- VON ROSEN P, HEIJNE A, FROHM A, et al., 2018. High injury burden in elite adolescent athletes: A 52-week prospective study [J]. *J Athl Training*, 53(3):262-270.
- VESTERINEN V, MIKKOLA J, NUMMELA A, et al., 2009. Fatigue in a simulated cross country skiing sprint competition [J]. *J Sports Sci*, 27(10):1069-1077.
- WILTMANN V W, HOLMBERG H C, PELTTARI P, et al., 2016. Biomechanical analysis of different starting strategies utilized during cross country skiing starts [J]. *Eur J Sport Sci*, 16(8):1111-1120.

(收稿日期:2019-07-22; 修订日期:2020-05-21; 编辑:尹航)