

越野滑雪比赛特征的科学分析及建议

杨威¹, 王欣欣¹, 廖开放¹, 顾正秋¹, 王晓路¹, 黎涌明^{1,2}

(1. 上海体育学院体育教育训练学院, 上海 200438; 2. 国家体育总局体育科学研究所, 北京 100061)

【摘要】: 越野滑雪是历届冬奥会的比赛项目, 科学梳理和分析其比赛特征能够为我国越野滑雪的快速发展提供依据。研究从运动学和生理学视角分析了越野滑雪的比赛特征, 结果显示: 越野滑雪是一项生理强度较高的运动项目, 上坡和平地阶段是越野滑雪比赛最应关注的位置, 良好的有氧和无氧能力、肌肉耐力和爆发力, 出色的上身技术和滑长, 合理选择技术、技术间娴熟转换以及均匀配速的能力等是越野滑雪比赛需要具备的重要能力或因素。我国越野滑雪项目今后训练中需要以上述比赛特征为依据, 开展针对性训练, 以顺利实现我国越野滑雪项目的快速发展。

【关键词】: 冬奥会; 越野滑雪; 滑雪训练; 滑雪技术; 滑雪比赛; 生理强度

【中图分类号】: G863.13 **【文献标志码】**: A **【文章编号】**: 2096-5656(2020)04-0053-10

DOI: 10.15877/j.cnki.nsic.20200716.004

越野滑雪是历届冬奥会的比赛项目, 经历1956年增加女子项目、1980年出现自由技术和1990—2006年变更比赛项目后, 冬奥会越野滑雪的比赛项目稳定为12个(表1), 其涉及不同比赛距离(短距离1~1.8 km、长距离5~50 km)、不同比赛方式(计时、追逐、接力)、不同比赛技术(传统技术、自由技术)、不同出发方式(间隔出发、集体出发)、不同参赛人数(个人、团体)。作为一项源自北欧的运动项目, 越野滑雪近4届冬奥会的奖牌被挪威和瑞典为首的15个欧美国家所获得。然而, 支撑这些国家越野滑雪项目竞技实力的不仅仅是项目传统, 以“cross-country ski*、nordic ski*、roller ski*、roller skat*”及“越野滑雪主要技术英文全称(表2)”为检索词, 在Ebsco、Web of science、Pubmed、Google scholar等数据库进行检索(主题检索, 2020年5月10日), 可见513篇文献中的90%由挪威、瑞典、芬兰等发表, 以Per-olof Astrand、Bengt Saltin、Sb Stromme和Heikki Rusko为代表的早期科研先驱, 和以Hans-christer Holmberg、Oyvind Sandbakk和Thomas Stoggl为代表的新一代科学精英围绕越野滑雪展开了长期和深入的科学化探索, 为世界越野滑雪的科学化训练奠定了坚实基础。

北京2022年冬奥会的成功申办为冰雪项目在我国普及和推广带来了新的契机, 我国奥运选手在奥运场上的表现对扩大项目影响力意义非凡。然而, 我

国越野滑雪项目近3届冬奥会的参赛人员只有4人, 且参赛成绩平平。为了实现冬奥项目, 尤其是落后项目的快速发展, 我国在备战过程中采取了跨项选材^[1-2]、科技助力^[3]、协会改革^[4]等多项举措。全面系统地整理国外几十年科学化探索所积累的成果, 并在此基础上开展北京冬奥的备战是短期内提升训练水平的重要途径。比赛特征是项目特征的核心, 其是制定训练计划的重要依据。然而, 国内文献对越野滑雪比赛特征的综述非常有限。鉴于此, 本文将基于以上文献检索方法, 并补充国内相关文献, 主要从运动学和生理学两方面对越野滑雪的比赛特征进行梳理和分析, 为北京2022年冬奥会我国越野滑雪的“参赛出彩”和项目推广提供科学依据。

1 运动学

1.1 时间分布特征

越野滑雪的比赛地形波浪起伏、复杂多变, 但根

收稿日期: 2020-05-20

基金项目: 国家重点研发计划“科技冬奥”重点专项课题: 冬季体能类运动项目专项国际化训练平台关键技术研究与应用(2018YFF0300901); 上海高层次海外人才岗位计划(TP2017063)。

作者简介: 杨威(1989—), 男, 浙江淳安人, 博士生, 研究方向: 团体和冬季项目的运动生物学特征。

通信作者: 黎涌明(1985—), 男, 湖南汨罗人, 博士, 教授, 博士研究生导师, 研究方向: 人体运动的动作和能量代谢。

表1 北京2022年冬奥会越野滑雪比赛项目^[5]Tab.1 The cross-country skiing events for the Beijing 2022 Winter Olympics^[5]

比赛名称	性别	距离/技术	出发方式	备注
个人冲刺	男	1~1.8 km F	1I+2或3M	含1轮资格赛,2或3轮淘汰赛
	女	1~1.8 km F	1I+2或3M	
团体冲刺	男	6×(1~1.8 km C)	2M	含资格赛、决赛2轮比赛,每轮比赛每队2名运动员进行6次1~1.8 km的交替滑行
	女	6×(1~1.8 km C)	2M	
个人计时赛	男	15 km C	I	
	女	10 km C	I	
双追逐	男	15 km C+15 km F	M	前半程进行传统技术比赛,后半程进行自由技术比赛
	女	7.5 km C+7.5 km F	M	
集体出发	男	50 km F	M	
	女	30 km F	M	
接力赛	男	4×10 km(2C+2F)	M	前2棒进行传统技术比赛,后2棒进行自由技术比赛
	女	4×5 km(2C+2F)	M	

注:C代表传统技术比赛;F代表自由技术比赛;I代表间隔出发;M代表集体出发;1I+2或3M代表第1轮比赛使用间隔出发,后2或3轮比赛使用集体出发;2M代表2轮比赛均使用集体出发。

据国际雪联(FIS)的要求,赛道总体由1/3上坡、1/3下坡和1/3平地组成。近年来,由于可穿戴设备等先进仪器的出现,许多研究人员开始关注不同类型比赛的时间分布规律。从2010年开始,有5篇文献对比赛中的时间分布特征做了报道,其中3篇文献针对短距离项目,2篇文献针对长距离项目,受试对象均为高水平越野滑雪运动员,比赛形式为雪上模拟比赛。短距离比赛中,Andersson等^[6]使用GPS(全球定位系统)对9名瑞典男子越野滑雪精英运动员1.425 km F(F, free style,代表自由技术比赛)比赛的时间分布做了分析,结果显示,比赛全程用时207.4 s,其中上坡、平地和下坡耗时95.2、59.1和53.1 s,分别占总时长的45.9%、28.5%和25.6%;在另外一项男子1.82 km F比赛中,Sandbakk等^[7]将比赛时的赛道进一步分为上坡、平地、下坡和转弯(坡度3°)4个部分,结果显示各个部分的时间百分比为36%、27%、30%和7%,与上述研究相似。最新的一项研究比较了男女高水平越野滑雪运动员1.572 km F比赛的时间分布特征,虽然使用了非标准场地(以距离计:56%平地+22%上坡+22%下坡),但数据证实短距离越野滑雪比赛的时间分布不具有明显性别差异^[8]。长距离比赛中,Bolger等^[9、10]科研人员主要围绕男子15 km C(C, classic,代表传统技术比赛)和15 km F、女子10 km C和10 km F比赛的时间分布特征做了研究。针对男子高水平越野滑雪运动员15 km C比赛时间分布特征的研究表明^[11],男子15 km C比赛全程耗时37 min43 s,上坡、平地和下坡

耗时分别占56.2%、16.5%和27.3%;男子15 km F比赛全程耗时(34 min47 s)短于15 km C,但时间分布特征(上坡54.3%、平地16.7%和下坡29.1%)与自由技术比赛类似。针对女子高水平越野滑雪运动员10 km C比赛时间分布特征的研究表明^[12-13],女子10 km C比赛全程耗时37 min43 s,其中上坡、平地和下坡耗时56%~57.8%、16%~17.6%和25.8%~28%;女子10 km F比赛全程耗时25 min7 s,时间分布特征也与自由技术比赛相似(上坡55.6%、平地17.3%和下坡28.2%)。综合上述数据可见,高水平越野滑雪运动员参加相似距离比赛的时间分布特征相似,且受性别和技术等因素的影响较小:短距离比赛中上坡、平地和下坡的时间分布百分比为42%~45.6%、27%~28.5%和25.6%~30%;长距离比赛中上坡、平地和下坡的时间分布百分比为54.3%~57.8%、16%~17.6%和25.8%~29.1%。就时间分布而言,上坡阶段耗费了超过40%(短距离)和50%(长距离)的比赛时间,似乎是比赛中最应该关注的位置。对此,有科研人员探究了不同位置耗时与比赛表现的关系,结果显示,短距离项目(男子1.425 km F和1.82 km F)比赛完成时间与上坡耗时存在最强的正相关($r=0.92$),其次为平地($r=0.75$),而与下坡耗时似乎并无明显关系^[14-15],进一步研究发现比赛前半程上坡、平地耗时与比赛完成时间并不具有相关性,只有比赛后半程上坡、平地耗时才与比赛完成时间呈较强的正相关^[16],提示在短距离项目比赛中需要关注后半程的上坡与平地阶段。与短

距离项目相比,针对长距离项目(女子 10 km C)的研究显示^[17],比赛完成时间与上坡、平地和下坡三个阶段的耗时均存在较强的正相关,相关系数 r 值依次为 0.98、0.91 和 0.72,似乎显示长距离比赛的各个阶段都应该关注。

通过可穿戴设备获得比赛全程时间分布数据,然后与比赛表现建立联系,只有在模拟比赛中才得以实现。在正式比赛中由于受到规则限制(如不允许使用可穿戴设备),许多研究人员会在比赛场地外设置高速摄像机,通过探究某一位置瞬时速度与比赛表现的关系,来验证模拟比赛中时间分布与比赛表现的关系。正式比赛中的数据显示,男子 1.2 km C(2004 年世界杯)5%坡度对应的速度和 30 km C(1988 年冬奥会)11.8°坡度对应的速度与比赛平均速度呈中度($r=0.571$)和高度($r=0.75$)正相关^[18-19],女子 30 km F 和男子 50 km F(均为 1992 年冬奥会)平地速度与比赛平均速度呈高度和中度正相关($r=0.89$ 和 0.63)^[20-21],男子 50 km F(1992 年冬奥会)平地速度与比赛完成时间呈高度($r=-0.73$)负相关^[22],研究结果与模拟比赛相似,证实了上坡和平地阶段对于越野滑雪比赛的重要性。在对 2016 年挪威越野滑雪锦标赛长距离比赛的研究中,Stoggl 等^[23]还进一步探究了不同地形的速度对比赛表现的影响,回归分析的结果表明,急陡坡(11°)、陡坡(7.1°)和平地(0°)的速度能够解释男子 15 km C 平均速度的 83%;急陡坡(11°)和缓坡(3.5°)速度能够解释女子 10 km C 平均速度的 83%,这说明在长距离比赛中,急陡坡、陡坡和平地是决定男子选手运动表现的重要阶段,急陡坡和缓坡是决定女子选手运动表现的重要阶段,应该予以重点关注。

综上所述,越野滑雪短距离项目比赛中上坡、平地和下坡的时间分布百分比为 42%~45.6%、27%~28.5% 和 25.6%~30%;长距离项目比赛中上坡、平地和下坡的时间分布百分比为 54.3%~57.8%、16%~17.6% 和 25.8%~29.1%。上坡和平地是决定越野滑雪运动表现的重要阶段,具体而言,短距离比赛中应该关注后半程的上坡和平地阶段;长距离比赛中,男子应该关注急陡坡、陡坡和平地阶段,女子应该关注急陡坡和缓坡阶段。提高越野滑雪运动员的表现可以通过提升相应阶段的速度或缩短相应阶段的用时实现。

1.2 技术运用特征

越野滑雪比赛的过程就是运动员合理使用各种

技术在雪上滑行的过程,因此了解越野滑雪比赛中的技术运用特征意义重大。对比赛中不同技术使用比例的探索是技术运用特征研究的重要内容之一。研究显示,一场 3×1.1 km C(资格赛、1/2 决赛、决赛)的短距离比赛,54% 的距离运动员使用 DP(技术英文全称及中文名称见表 2),14% 的距离使用 TK,13% 的距离使用 DIA,9% 的距离使用 TU,1% 的距离使用 DK,还有 10% 的距离使用 MISC;如果以时间计算的话,DP、TK、DIA、TU、DK 和 MISC 等各技术的使用百分比分别为 51%、9%、22%、6%、1%、11%^[24]。在长距离比赛中(约 10 km C),以距离计,男子越野滑雪运动员使用 42.8% DP、24.3% TK、16.1% DIA、5.5% DK、4.6% TU 以及 6.7% MISC^[25],女子越野滑雪运动员使用 49% DP、20% TK、10% DIA、8% TU、4% DK 以及 9% MISC^[26]。以时间计,相应的值分别为 40.5% DP、24.9% DIA、15.9% TK、6.7% DK、4.5% TU 和 7.4% MISC(男子)以及 48% DP、18% DIA、12% TK、7% TU、5% DK 和 10% MISC(女子)^[27-28]。在最近的一项研究中,Takeda 等^[29]还使用了高精度的全球卫星导航系统对世界级男子越野滑雪运动员进行 5.3 km C 全力滑行时不同技术的使用情况进行了分析,其结果与上述研究(10 km C)类似。由上述数据可见,DP、DIA、TK、DK 等是传统技术比赛中的常用技术,其中 50%(短距离)和 40%(长距离)以上的比赛距离或时间使用了 DP 技术,由此可见 DP 技术可能是传统技术比赛的重要技术。比较越野滑雪运动员的技术特征发现,传统技术比赛中速度快的运动员较速度慢的运动员使用更多 DP、DK 技术,很少使用 DIA 技术^[30],一些特别优秀的运动员甚至全程使用 DP 技术^[31-32]。尽管没有自由技术比赛的相应数据,但有研究显示 V1、V2 和 V2A 等是其常用的几种技术^[33-34],比赛中速度快的运动员使用更多的 V2 技术^[35]。DP、DK 和 V2 等均为上身技术(上身肌肉参与为主),这显示了上身技术对越野滑雪比赛的重要性。拥有出色的上身技术,突出的上身能力是基础,相关研究证实,上半身的瘦体重(去脂体重)、最大摄氧量和功率输出等反映上身能力的指标^[36-39],是越野滑雪比赛取得胜利的重要决定因素。因此,平时训练中应注重越野滑雪运动员上身能力的训练以获得出色的上身技术。

对比赛中运动员技术选择的探索是技术运用研究的另一重要内容。对传统技术比赛的研究表明^[40-41],

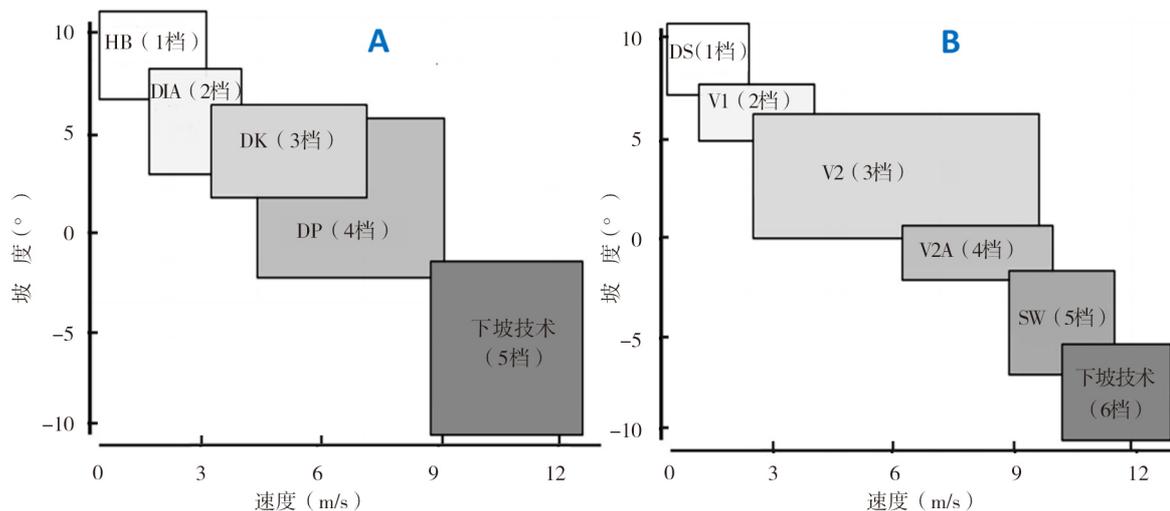
平地滑行时所有越野滑雪运动员都选择使用DP技术;陡坡(7.1°)和急陡坡(11°)滑行时,除个别男子运动员外几乎所有的运动员都选择使用DIA技术;缓坡(3.5°)滑行时,运动员的技术选择呈现多样化,运动员会单独使用DK、DP、DIA或者综合使用上述几种技术。并且此坡度下,男子越野滑雪运动员倾向于使用更多的DP和DK技术,女子越野滑雪运动员更多的倾向于使用DIA技术;速度快的运动员(尤其是女子运动员)更多的倾向于使用DP和DK技术,很少使用DIA技术。对自由技术比赛的研究表明^[42],平地滑行时越野滑雪运动员主要使用G2(V1)、G3(V2)和G4(V2A)技术;上坡滑行时,运动员在坡度5.5%和6%时主要使用G3技术,坡度8%时主要使用G2和G3技术;下坡滑行时,运动员在坡度-5%时主要使用G4和G5技术,-6%时主要使用G3和G7技术;转弯阶段(上坡,坡度3%),运动员主要使用G6技术。近年来,下坡转弯阶段逐渐受到关注,在出发方式为集体出发的短距离比赛(如个人冲刺的淘汰赛)中,通过合理选择技术在下坡转弯阶段获得有利位置,对比赛成败具有重要影响^[43]。研究显示,此阶段越野滑雪运动员经常选择SP、PS及ST三种技术,速度快的运动员更多的倾向于使用ST,而较少使用SP^[44]。此外,为了满足现代越野

滑雪项目突然加速(比赛途中抢占有利位置等)的需要,运动员还会在比赛相应阶段使用JS、RD、KDP等一些爆发式技术^[45]。上述研究显示,影响运动员比赛中技术选择的因素较多,包括了坡度、速度、竞技水平、性别等,如何根据不同的条件选择合适的技术,引发了科研领域的激烈讨论。对此,Losnegard等^[46]在综合前人研究的基础上,主要针对坡度和速度两个影响因素,把比赛中经常使用几种技术匹配成汽车的不同档位(见图1),指出HB、DIA和DS、V1技术类似于汽车的低档位,适合在陡坡低速时使用;DK、DP和V2、V2A技术类似于汽车的中档位,适合在平地、缓坡中等速度时使用;TK和SW(G5)等技术类似于汽车的高档位,适合下坡高速滑行时使用,为越野滑雪比赛中的技术选择提供了一个较为合理的参考。除了上述因素,越野滑雪比赛中的技术选择还受雪面摩擦阻力、运动员疲劳程度等其他因素的影响,如自由技术比赛中运动员疲劳时倾向于使用G1(DS)技术^[47]。尽管比赛中的技术选择受诸多因素影响,但从机制上来说最终可以归为降低能量消耗、维持滑雪杖力的产生、维持腿蹬地时间以及防止身体失衡等几点^[48、49]。总体而言,比赛中技术的合理选择应是运动员综合考量的结果。

表2 现代越野滑雪的常用技术^[50-54]Tab.2 The common techniques used in modern cross-country skiing^[50-54]

技术类型	技术简称	英文全称	中文名称
传统技术 ^{§#}	DIA	diagonal skiing/diagonal stride	交替滑行
	DP	double poling	双杖推撑
	DK	double poling with kick	双杖推撑加后蹬腿
	HB	the herringbone technique	八字形技术
	KDP	“kangaroo” double poling	“袋鼠式”双杖推撑
	RD	running diagonal	跑式交替滑行
	SP	snow plowing	犁地技术
	PS	parallel skidding	平行转弯技术
	ST	step turning	踏步式转弯技术
	TU	turn	转弯技术总称
	TK	tuck	团身技术
	MISC		其他技术总称
	蹬冰式技术 [#]	DS / G1	diagonal skate/gear 1
V1/G2		paddle dance/offset skate/ gear 2等	偏移技术
V2/G3		double dance/1-skate /gear 3等	一步蹬冰加双撑
V2A/G4		single dance/2-skate /gear 4等	两步蹬冰加双撑
SW/G5		skate without pole/combiskate /gear 5	无杖滑雪
G6		gear 6	高档位技术
G7		gear 7	高档位技术
DH		double-push skating	双推蹬冰
JS	jump skate	跳冰技术	

注:§表示允许在传统技术比赛中使用;#表示允许在自由技术比赛中使用;TU是传统技术比赛中转弯技术的总称,MISC是传统技术比赛中除DP、TK、DIA、TU、DK技术外,其他技术的总称。

图1 比赛常用技术与汽车档位的对应关系及使用条件图示^[55]Fig.1 The corresponding relationship between the commonly used techniques in competitions and the gear of cars as well as the usage conditions^[55]

注:图A为对应传统技术比赛;图B对应自由技术比赛。

技术运用特征的研究还包括了对比赛中技术转换频率以及速度提升策略的探究。由于比赛时地形、速度等因素始终处于不断变化的过程中,这就必然伴随着技术的不断转换。3项研究探究了越野滑雪比赛中的技术转换频率,涉及短距离传统(3×1.1 km C)、自由技术比赛(1.425 km F)以及长距离传统技术比赛(5~10.5 km C)。研究显示,短距离比赛中,男、女越野滑雪运动员的技术转换次数高达16~29.1次,平均14.4~20.4次/km^[56-57];长距离比赛中,科研人员发现5.173 km C的越野滑雪比赛强度训练中,男女运动员的技术转换次数分别达82和88次,每62~66 m或11~16 s就有一次技术转换^[58]。在另外一项更长距离(10.5 km C)的研究中,Marsland等^[59]发现运动员技术的转换频次更是高达192次,平均18.4次/km,远高于混合泳(3次)、铁人三项(2次)^[60-61]等其他奥运项目,这也是越野滑雪项目相比其他奥运项目的独特之处。由上述研究可知,技术间娴熟转换的能力可能也是越野滑雪运动员需要具备的重要能力之一。在越野滑雪比赛中速度是关键,而速度的提升在技术层面可以通过改变技术的滑长(cycle length, CL, 每完成一次技术动作前进的距离)和滑频(cycle rate, CR, 单位时间完成技术动作的频率)实现。对各种速度下不同技术CL和CR变化规律的研究显示^[62-68],从低速到次最大速度,越野滑雪运动员速度的增长同时来源于CL和CR的增长;从次最大速度到最大速度越野滑雪运动员各技术的CL保持不变,甚至会出现下降,速度的增长主要源于CR的增长。上述结果似乎显示,比赛中的平均速度(次最大速度)可以通过

提高CL和CR实现,比赛中需要的冲刺速度(最大速度)可以通过提高CR实现。然而有研究却指出,对实际比赛(平均速度)而言,越野滑雪运动员更应该提高CL,而不是CR^[69],这主要由于快频率相对慢频率会导致更高的生理负荷,最终降低滑行的效率^[70-71]。因此,从技术层面,我们应该重点关注运动员CL的训练,同时还应分配较少时间用于CR训练,以提高越野滑雪运动员的最大速度能力。

1.3 配速特征

配速(pacing)是越野滑雪比赛重要的运动学特征之一,分析运动员比赛中的配速特征对致胜规律的认识大有裨益^[72]。基于Abiss等^[73]对耐力项目配速特征的定义与分类,Stoggl等^[74]对有关越野滑雪比赛配速特征的研究进行了综述,涉及不同轮比赛之间的配速特征(短距离项目)、同轮比赛不同圈数之间的配速特征以及比赛中特定位置的配速特征(短距离、长距离项目),结果显示越野滑雪比赛中的配速类型主要包括积极型(先快后慢)、消极型(先慢后快)、U型(快—慢—快)、均匀型(速度波动小)和反J型(快—慢—稍快)5种(图2),并且在不同类型、技术和性别的比赛中均以积极型配速最为常见。尽管众多研究都呈现了积极型的配速特征,但在运动水平等因素的影响下配速模式仍然具有一定差异。在对越野滑雪配速特征影响因素的研究中,科研人员发现,同为积极型配速的不同水平运动员,水平高的越野滑雪运动员速度下降趋势较缓,更接近均匀型配速,相似的特征也表现在了耐力和力量素质更好以及参赛经验更为

丰富的越野滑雪运动员身上^[75]。对跑步、游泳等耐力项目配速特征的研究显示,与积极型配速相比,均匀型配速能够降低运动员比赛时的摄氧量(VO_2)以及运动后的血乳酸(BLA)和主观感觉(RPE)水平,使身体呈现出相对较低的生理应激状态^[76-77],从而延缓疲劳的发生,表现出了较好的生理优势。上述研究提示在比赛中应该鼓励越野滑雪运动员采用更加稳定的配速(即采用出发快,比赛全程尽力保持速度),并且对运动员进行耐力和力量训练,以及多参加比赛将有助于提高运动员的稳定配速能力。

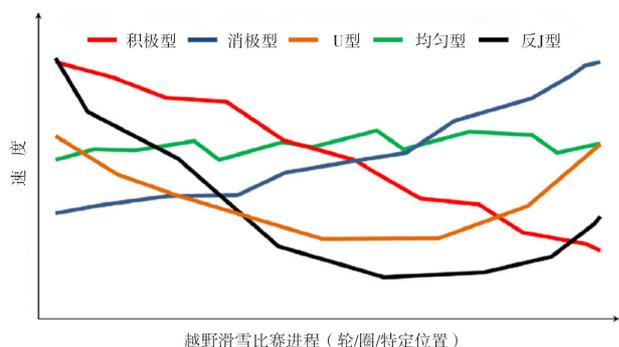


图2 越野滑雪比赛的配速类型^[78]

Fig.2 The pace type during cross-country skiing competitions^[78]

2 生理学

2.1 比赛强度

了解运动项目的比赛强度特征能够为教练员科学指导训练提供重要依据。从1990年开始,有将近20篇文献报道了越野滑雪的比赛强度特征(表3),研究主要围绕不同技术类型的雪上、跑道及跑台越野滑雪模拟比赛展开,比赛距离0.85(单次滑行)~42km,受试对象以成年男、女高水平越野滑雪运动员为主。在越野滑雪比赛强度的研究中,心率(HR)是应用较为广泛的一项指标。由表3可见,短距离比赛中,越野滑雪运动员的平均HR为172~180.9次/min,相当于87.3%~97% HR_{max} (最大心率);长距离比赛中,越野滑雪运动员HR160~183次/min,为86%~94% HR_{max} ,似乎显示短距离比赛的强度要略高于长距离项目。4篇涉及不同技术比赛时越野滑雪运动员的心率特征的研究(1篇短距离,3篇长距离)显示不同技术比赛时越野滑雪运动员的HR和% HR_{max} 值相似^[79-82]。2篇涉及不同性别越野滑雪运动员比赛时的心率特征的研究(1篇短距离,1篇长距离),其中Govus等^[83]的研究发现,瑞典国家队男子越野滑雪运动员参加4×1.57kmF四轮比赛时的平均HR为172~173次/min,% HR_{max} 范

围为95%~96%;女子运动员的相应值为166~169次/min和92%~94%,略低于男子越野滑雪运动员。而Solli等^[84]研究则显示,参加5.173 km C比赛强度训练时男女精英级运动员的HR分别为168和180次/min,% HR_{max} 分别为86%和91%,男子比赛强度训练时的HR和% HR_{max} 似乎低于女子运动员,与Govus等的研究结果相反。距离、技术的不同可能是两项研究结果出现差异的主要原因,而上述研究已经证实,短距离比赛的HR和% HR_{max} 要略高于长距离比赛,不同技术类型比赛中的HR和% HR_{max} 相似,因此距离可能是引起两者研究结果出现差异的主要原因,未来可通过测试男女运动员参加同一类技术不同距离越野滑雪比赛的HR进行验证。还有文献报道了青少年滑雪比赛运动员比赛中的HR和% HR_{max} ,结果表明,与成年运动员相比,青少年运动员的比赛强度似乎更高^[85]。在越野滑雪比赛的研究中,科研人员还会使用摄氧量(VO_2)、最大摄氧量百分比(% VO_{2max})、血乳酸浓度(BLA)和主观感觉(RPE)等其他指标来记录运动员的比赛强度特征。研究结果显示,这些指标在不同距离、技术、性别等比赛中呈现出的强度特征,与心率基本一致(表3)。

尽管上述研究呈现了越野滑雪比赛的平均强度,但是在用其指导训练时还应关注实际比赛中强度的变化规律与分布特征。不同于其他项目,越野滑雪比赛的强度始终处在不断变化之中,这种不稳定性体现在了不同地形强度的差异上。有研究显示,越野滑雪的比赛强度由大到小依次为上坡、平地、下坡(指标:HR和 VO_2 、RPE)^[86-87];也有研究显示,越野滑雪的比赛强度由大到小依次为上坡、下坡,但与平地相似(HR)^[88];还有研究显示,越野滑雪的比赛强度由大到小依次为上坡、下坡、平地(VO_2)^[89];这种研究结果的不一致性可能是使用的强度指标不同所致,但不管使用何种强度指标,上坡始终是运动强度最高的阶段。比赛过程中,由于地形的持续变化,运动员的比赛强度也处在高强度(上坡)一次高强度(下坡或平地)之间不断波动,类似于间歇训练。因此,在使用比赛强度指导训练时,还应该考虑训练强度变化的波动性,注意强度变化节奏的把控。除了波动性,越野滑雪比赛强度的不稳定性还体现在了强度分布特征上。Formenti等^[90]对越野滑雪马拉松(42 km F)的强度分布特征进行了研究,结果显示比赛中有0.01%(1 s)的时间HR<120次/min,0.3%

表3 越野滑雪比赛强度指标一览表

Tab.3 The list of intensity indicators of cross-country skiing

文献	受试者(n)	运动等级	比赛项目	HR(次/min)	%HR _{max}	VO ₂ (ml/min/kg)	%VO _{2max}	BLA(mmol/L)	RPE
短距离									
Stoggl等 ^[93] ,2017	男(12)	奥地利国家队	3×1.1 km C(跑台RS)					12.4	
Zory等 ^[94] ,2016	男(7)	意大利国家队	3×1.2 km C					11.6	
Vesterinen等 ^[95] ,2009	男(16)	国际+国家	4×0.85 km C(跑道RS)					13.8	
Zory等 ^[96] ,2009	男(8)	意大利国家队	3×1.2 km C					11.64	
Andersson等 ^[97] ,2010	男(9)	高水平	1.425 km F	172	93			12.1	
	男(6)	瑞典青少年国家队	4×1.57 km F	175 ~ 180	95 ~ 97			10.1 ~ 11.6	
Govus等 ^[98] ,2018	男(12)	瑞典国家队	4×1.57 km F	172 ~ 173	95 ~ 96			9.4 ~ 11.4	
	女(5)	瑞典青少年国家队	4×1.57 km F	172 ~ 175	95 ~ 96			10.5 ~ 12.0	
	女(9)	瑞典国家队	4×1.57 km F	166 ~ 169	92 ~ 94			7.9 ~ 9.4	
Mikkola等 ^[99] ,2010	男(8)	国家+国际	4×0.85 km V2(跑道RS)	180		65.46		13.3	
Hauser等 ^[100] ,2014	男(8)	专业+铁三选手	3×3 min DP(滑雪测功仪)					13.0	≥17
Andersson等 ^[101] ,2016	男(10)	国家+国际	4×1.3 km C				86	12.7	
			3.04 km V1	179.1	88		70.6		
Bilodeau等 ^[102] ,1991	男(10)	精英级	3.04 km V2	180.9	88.9		72.9		
			3.04 km V2A	177.7	87.3		69.2		
			3.04 km DIA	178.1	87.3		69.1		
Mognoni等 ^[103] ,2001	女(7)	国家级	3.35 km C					14.0	
长距离									
Solli等 ^[104] ,2018	男(6)	精英级	5.173 km C	168	86			9.7	17.8
	女(6)	精英级	5.173 km C	180	91			9.5	18
Larsson等 ^[105] ,2005	男(10)	国家级	5.6 km F		93		72		
Welde等 ^[106] ,2003	女(5)	青少年高水平	6.2 km C			55.4	84	10.5	
			6.2 km F			55.4	84	9.1	
	女(7)	国家级	6.7 km F					13.5	
Mognoni等 ^[107] ,2001	男(7)	国家级	6.7 km C					13.8	
			10.05 km F					11.4	
Gonzalez-Millan等 ^[108] ,2017	男(9)	训练有素	10 km C	171	89			4.9	
	女(5)	训练有素	5 km C	177	87			6.9	
Formenti等 ^[109] ,2015	男(12)	国家+地区	10 km C		90.89				
Mygind等 ^[110] ,1994	男(15)	精英级	13.75 km C	178				10.4	
			13.75 km F	183				11.4	
Karlsson等 ^[111] ,2018	男(8)	训练有素	13.75 km F(跑台RS)		94				
	男(4)	世界前20	15 km C	167					
Bolger等 ^[112] ,2015			15 km F	168					
	女(5)	世界前20	10 km C	174					
			10 km F	175					
Formenti等 ^[113] ,2015	男(1)	业余	42 km F	160	89				

注:RS代表滑轮比赛;km后面字母为相应的具体技术或技术类型;HR代表心率;%HR_{max}代表最大心率百分比;VO₂代表摄氧量;%VO_{2max}代表最大摄氧量百分比;BLA代表血乳酸浓度;RPE代表主观感觉强度。

(21 s)的时间HR处于120~140次/min,96.6%(1 h 51 min 42 s)的时间HR处于144~168次/min,3.1%(3 min 36 s)的时间HR>168次/min。由于此项研究的性质为个案研究,且受试者为水平较低的业余选手,一定程度限制了它的参考价值。对此,他们的另外一项针对12名更高水平越野滑雪运动员的研究(10 km C)显示,越野滑雪比赛强度处于62.19%~95.87%HR_{max}之间,其中,0.82%的时间<70%HR_{max},0.53%的时间处

于70%~80%HR_{max}之间,31.82%的时间处于80%~90%HR_{max}之间,66.84%的时间>90%HR_{max}^[91]。由此可见,>90%HR_{max}是越野滑雪比赛最主要的强度区间,其次为80%~90%HR_{max},因此,使用比赛强度指导训练时,还应考虑不同强度的比重分配。

对上述研究进行小结可以得到以下结论:(1)越野滑雪运动员短距离比赛时的HR为172~180.9次/min,介于87.3%~97%HR_{max};长距离比赛时的HR为

160~183次/min,介于86%~94% HR_{max} 。根据Hegge等^[92]对运动强度的界定:低强度<81% HR_{max} ;中等强度81%~87% HR_{max} ;高强度>87% HR_{max} ,可见越野滑雪是一项比赛强度较高的运动项目;(2)不同距离、年龄组别比赛时的运动强度存在差异,具体为短距离项目的比赛强度略高于长距离项目,青少年运动员的比赛强度高于成年运动员;实际比赛中,运动员的强度分布广泛,比赛强度>90% HR_{max} 和80%~90% HR_{max} 是其最主要的强度区间,并且还呈现了高强度(上坡)一次高强度(平地或下坡)的波动特征,在使用比赛强度指导训练时应综合考虑上述因素。

2.2 能量供应特征

教练员科学指导训练的另一重要依据为运动项目的能量供应特征。表3显示,越野滑雪运动员短距离比赛时的 VO_2 为65.46 mL/(min/kg)(男),达69.1%~86% VO_{2max} ,长距离比赛时的 VO_2 为55.4 mL/(min/kg)(女),达72%~84% VO_{2max} ,比赛中的血乳酸浓度分别高达7.9~14 mmol/L和4.9~13.8 mmol/L,从这两项指标可见,越野滑雪是一项由有氧和无氧共同参与供能的运动项目。尽管上述数据一定程度显示了越野滑雪比赛有氧和无氧的能量供应特征,但不能发现两者的能量供应比例。有关越野滑雪能量供应比例特征的描述最早见于芬兰科学家Rusko博士《越野滑雪》一书,根据他的研究短距离比赛所需要的400 kJ能量,有50%左右来自有氧供能;长距离比赛中,相应的值>90%,其中30km及以上距离的比赛中,有氧供能比例达到了99%,此时无氧供能的比例几乎可以忽略(表4)。Rusko关于越野滑雪供能比例的数据主要基于Astrand等^[114]1970年的研究推算得到,目前已被证实其低估了有氧供能的比例^[115-116]。根据黎涌明等^[117]最新的推算公式($y=22.404 \ln x+45.176$, y 为有氧供能比例, x 为全力运动时间),短距离比赛(1 km)时有氧和无氧的供能比例分别约为60%和40%,长距离比赛时几乎100%为有氧供能。从上述数据可见,有氧和无氧供能在短距离比赛中均占有较大比重,因此两者对比赛的胜利可能均具有重要意义。这在许多研究中得到了证实,研究表明,无论是单次比赛还是多轮比赛,越野滑雪运动员的有氧和无氧能力均对短距离项目的运动表现存在正向促进作用^[118-122]。在多轮比赛(4×0.85 km V2,每轮比赛间隔20 min)的研究中,Vesterinen等^[123]还发现,无氧能力对前两轮比赛(资格

赛、1/4决赛)成绩的影响更大,有氧能力则对后两轮比赛(1/2决赛、决赛)成绩的影响更大。短距离比赛中,出色的无氧能力能够帮助运动员在出发、上坡以及最后冲刺阶段等一些关键时刻获得速度优势;而良好的有氧能力则能够帮助运动员快速恢复(如清除血乳酸、能源物质合成等),防止疲劳发生,从而维持这种速度优势,研究显示,比赛中平均 VO_{2peak} 高的越野滑雪运动员每轮比赛之间的平均速度差异更小^[124]。因此,在对短距离项目越野滑雪运动员进行训练时,应该有氧和无氧能力训练并重。

不同于短距离比赛,长距离比赛所需要的能量几乎100%来自有氧供能(表4),呈现了压倒性的主导优势。这对越野滑雪运动员的有氧能力提出了很高要求,Tonnessen等^[125]的研究显示,男子长距离项目奥运奖牌得主的 VO_{2max} 可以达到6.42 L/min(绝对值)和84.3 mL/(min·kg)(相对值),女子长距离项目奥运奖牌得主的 VO_{2max} 同样高达4.27 L/min和72.6 mL/(min·kg)。对于长距离项目,有氧能力的不足必然会影响运动员的比赛成绩提高,众多的相关性研究也进一步印证了这一观点^[126-128]。相比之下,无氧能力的作用似乎并不显著,尽管无氧供能也在长距离比赛的一些关键阶段发挥作用,如Norman等^[129-130]针对男子15和30 km C的研究发现,运动员上坡阶段的功率输出为600~700 W,相当于100%~120% VO_{2max} ,但由于其在整场比赛中所占比例非常小,并不足以影响比赛的胜负,不同水平长距离越野滑雪运动员的有氧和无氧能力特征证实了上述观点。Losnegard^[131]的研究表明,男子长距离项目世界级运动员的 VO_{2max} 最高82 mL/(min·kg),其次为次世界级81 mL/(min·kg),最后为国家级76 mL/(min·kg),然而三者的最大氧亏累积(ΣO_2 -deficit)却十分相似,分别为76、75和76 ml/kg。Sandbakk等^[132]在不同水平长距离项目女子运动员的研究中也发现了相似结果,即世界级运动员的 ΣO_2 -deficit与国家级运动员相似,而 VO_{2max} 则要显著高于后者。基于上述研究,在对长距离项目越野滑雪运动员进行训练时,应着重关注有氧能力的训练。此外,比赛项目的不同还会带来能源物质需求的差异(表4),如短距离比赛对碳水化合物的需求大,对脂肪的需求较少,随着距离的增长,脂肪的供能比例逐渐增加,因此,针对不同项目的越野滑雪比赛还需要制定对应的营养补充策略。

表4 越野滑雪比赛的能量供应特征^[133-134]Tab.4 The characteristics of energy supply during cross-country skiing competitions^[133-134]

距离/时间	能量需求(kJ)	有氧/无氧(%)	有氧/无氧(%)	脂肪/碳水(%)
1 km/2 min	400	50/50	≈60/≈40	1/99
5 km/15 min	1 600	90/10	≈100/≈0	5/95
10 km	3 000	95/5	≈100/≈0	10/90
15 km	4 500	97/3	≈100/≈0	20/80
30 km	9 000	99/1	≈100/≈0	40/60
50 km	15 000	99/1	≈100/≈0	50/50

2.3 肌肉力量特征

力量训练科学化是近几年越野滑雪训练中一直探讨的问题^[135],而明晰这一问题的根本有赖于对比赛中肌肉力量特征的认识。有数据显示,运动员比赛中相应肌肉收缩产生的力只占其最大等长收缩力量的10%~25%或最大等动收缩力量的20%~50%,并且随着距离的变长,这个值还要更小^[136]。上述研究显示越野滑雪比赛对肌肉最大力量的需求并不高,肌肉最大力量可能并不是越野滑雪比赛胜利的必要因素。Carlsson等^[137]的研究结果也显示,提升越野滑雪运动员膝关节等动收缩(60°/s、180°/s、300°/s)伸展时的力量,似乎并不能有效提高运动员15和30 km C双追逐比赛的成绩。有科研人员还测试了越野滑雪运动员、体育专业学生和训练人员三类群体腿部最大等长收缩力量,结果显示三类群体的测试结果类似^[138]。不同于最大力量,越野滑雪运动员的肌肉耐力和爆发力却要优于一般人^[139]。尽管运动员比赛中对肌肉最大力量的需求较小,但却需要肌肉不断的完成收缩与舒张去重复各技术以维持比赛速度,这就要求越野滑雪运动员需要具备较好的肌肉耐力(肌肉重复收缩的能力)。科研人员认为,进行6周上身肌肉耐力训练^[140]与提高60 s上身功率输出的维持水平^[141]均有助于提高越野滑雪运动员的运动成绩。除了肌肉耐力,肌肉爆发力也是越野滑雪比赛需要的重要力量素质。由于越野滑雪大多数项目涉及人与人的角逐,在一些关键时刻如出发、最后冲刺等阶段快速加速甩掉对手尤为关键,这就要求运动员在较短的动作周期(主要为撑地和蹬地阶段)获得足够多的推进力。研究显示,传统技术比赛中(使用DIA技术)越野滑雪运动员腿部的肌肉可以于100~200 ms产生1 500~2 000 N的最大蹬地力量;自由技术比赛中腿部产生的最大蹬地力量略低于传统技术比赛,并需要更长蹬地时间(300~800 ms);推进力的另一个重要来源——滑雪杖,在使

用DP和DIA技术时可以于300~400 ms产生100~400 N的撑地力量^[142]。目前最具爆发力的越野滑雪选手滑行过程中(使用V2技术)腿部短时间蹬地产生的最大蹬地力超过1 600 N,滑雪杖产生最大撑地力量也达到了430 N,并且所需要的时间更短(50 ms)^[143]。从男女越野滑雪运动员比赛或运动中各指标差异的角度出发,寻找女子运动员竞技能力提升的有效路径,是近年兴起的一种研究方式。对此,多项研究基于不同性别越野滑雪运动员比赛或运动中肌肉力量相关指标的差异对女子运动员竞技能力的提升路径做了探索^[144-146]。研究显示,男子越野滑雪运动员全身、上身和手臂的瘦体重比女子运动员相应部位的瘦体重多35%、38%和59%^[147],全身、上身和手臂肌肉3 min全力运动的功率输出(肌肉重复做功能力,反映肌肉耐力)要比女子高87%、97%和103%^[148],并且这种差距还会随着运动强度(速度)的增加进一步拉大^[149]。上述研究提示,肌肉力量(肌肉耐力、爆发力)的巨大差距,可能是男女比赛成绩差异的重要原因,提升女子越野滑雪运动员的竞技能力,需要重点发展肌肉力量,尤其是上身和手臂的肌肉力量。综上所述,肌肉耐力和爆发力是越野滑雪比赛需要的重要力量素质,力量训练科学化应重视(特别是女子上身、手臂肌肉)这两项力量素质的训练。

3 总结与建议

越野滑雪是历届冬奥会的比赛项目,科学梳理和分析其比赛特征能够为我国越野滑雪的快速发展提供依据。对比赛运动学特征的研究显示,上坡和平地阶段是决定越野滑雪比赛胜利的最重要阶段,具体为:后半程的上坡、平地阶段决定了短距离比赛的胜利,急陡坡、陡坡、平地阶段决定了男子长距离比赛的胜利,急陡坡、缓坡阶段是决定了女子长距离比赛的胜利;DP、DK和V2等上身技术是越野滑雪比赛所需

的重要技术,除此之外运动员还需具备合理选择技术、技术间娴熟转换、高CL以及均匀配速的能力。对比赛生理学特征的研究显示,越野滑雪是一项生理强度较高的运动项目,实际比赛中强度主要分布于>90%HR_{max}和80%~90%HR_{max}两个区间,并具有高强度(上坡)一次高强度(平地或下坡)的变化特征。有氧和无氧是越野滑雪比赛需要的重要供能能力:短距离比赛中运动员需同时具备良好的有氧、无氧能力,长距离比赛中运动员需要具备出色有氧能力;肌肉耐力和爆发力是越野滑雪比赛需要的重要力量素质。

根据比赛运动学特征,我国越野滑雪队在接下来的训练中需关注上坡和平地阶段的训练,重视运动员上身技术和CL的训练,重视合理选择技术、技术间娴熟转换以及均匀配速能力的训练;根据比赛生理学特征,建议运动员以较高的强度进行训练,同时还应考虑强度的变化规律和分布特征;基于能量供应特征,短距离项目运动员应有氧、无氧能力训练并重,长距离项目运动员需以有氧能力训练为主;基于肌肉力量特征,应重视越野滑雪运动员(特别是女子上身、手臂)肌肉耐力和爆发力的训练。

参考文献:

[1] 黎涌明,陈小平,冯连世.运动员跨项选材的国际经验和科学探索[J].体育科学,2018,38(8):3-13.

[2] 田麦久,刘爱杰,易剑东.聚焦“跨项选材”:我国运动员选拔培养路径的建设与反思[J].体育学研究,2018,32(5):69-77.

[3] 陈小平.科技助力奥运训练:形势、进展与对策[J].体育学研究,2018,32(1):80-6.

[4] 袁钢.全国性单项体育协会改革的法治化路径[J].体育科学,2019,39(1):20-6.

[5] 北京冬奥会官网.越野滑雪比赛项目[EB/OL].[2020-5-1].https://www.beijing2022.cn/cn/Olympics/cross_country_skiing.htm.

[6][14][56][97][118] ANDERSSON E,SUPEJ M,SANDBAKK Ø, et al. Analysis of sprint cross-country skiing using a differential global navigation satellite system [J]. European Journal of Applied Physiology, 2010,110(3):585-95.

[7][15][16][42][119] SANDBAKK Ø,ETTEMA G,LEIRDAL S, et al. Analysis of a sprint ski race and associated laboratory determinants of world-class performance [J].European Journal of Applied Physiology,2011,111(6):947-57.

[8] ANDERSSON E P, GOVUS A D, SHANNON O M, et al. Sex differences in performance and pacing strategies during sprint skiing [J]. Frontiers in Physiology, 2019(10):295.

[9][11][12][79][89][112] BOLGER C M, KOCBACH J, HEGGE A M, et al. Speed and heart-rate profiles in skating and classical cross-country-skiing competitions [J]. International Journal of Sports Physiology and Performance, 2015,10(7):873-80.

[10][13][17] SANDBAKK Ø, LOSNEGARD T, SKATTEBO Ø, et al. Analysis of classical time-trial performance and technique-specific physiological determinants in elite female cross-country skiers [J]. Frontiers in Physiology, 2016(7):326.

[18] ZORY R, BARBERIS M, ROUARD A, et al. Kinematics of sprint cross-country skiing [J]. Acta of Bioengineering and Biomechanics, 2005,7(2):87.

(注:由于篇幅有限,参考文献[19-149]略,如需查询,请与作者联系。)

A Scientific Analysis and Suggestions on the Characteristics of Cross-country Skiing Competition

YANG Wei¹, WANG Xinxin¹, LIAO Kaifang¹, GU Zhengqiu¹, WANG Xiaolu¹, LI Yongming^{1,2}

(1.School of Physical Education & Sport Training, Shanghai University of Sport, Shanghai 200438, China; 2.China Institute of Sport Science, Beijing 100061, China)

Abstract: Cross-country skiing is a Winter Olympics event. It can provide a reference for the rapid development of cross-country skiing in China by scientifically sorting out and analyzing its characteristics. This paper aims to analyze cross-country skiing competition characteristics from kinematics and physiology. The results show that cross-country skiing is a high physiological intensity event with uphill and flat stages being the most important part of the competition. Aerobic and anaerobic capacity, muscular endurance and explosive power, excellent upper body technique and cycle length, reasonable choice of technique, skilled transition between techniques and the ability of even pace are important for cross-country skiing competition. Chinese cross-country skiing team should carry out targeted training based on the competition characteristics to realize the rapid development of cross-country skiing.

Key words: The Winter Olympic Games; cross-country skiing; skiing training; skiing techniques; skiing competition; physical intensity