



世界优秀高山滑雪运动员的核心竞技能力及训练特征研究进展

Research Progress on Core Competitive Ability and Training Characteristics of the World's Elite Alpine Skiing Athletes

王素改^{1,2}, 钟亚平^{1*}, 郜卫峰¹, 贾绍辉¹

WANG Sugai^{1,2}, ZHONG Yaping^{1*}, GAO Weifeng¹, JIA Shaohui¹

摘要: 基于Web of Science等数据库中有关冬奥会高山滑雪的文献,综述世界优秀运动员的核心竞技能力及训练特征。研究发现,世界优秀高山滑雪运动员:1)比赛时的主要供能形式为无氧代谢,但有氧代谢对其运动成绩也具有重要作用;2)具备良好的下肢离心力量和肌力平衡能力;下滑、转弯乃至摔倒/跌倒后仍可保持高速;3)普遍采用卡宾转弯技术,呈现明显的双腿共负荷特征;技术动作姿势的改变会引起空气阻力的相应变化,并与坡度、雪况密切相关;4)训练呈“夏体能非夏技术”的周期性特征,板块训练应用广泛;高强度间歇训练、高原训练和模拟训练为常用训练方法;雪上与陆上训练负荷的构成差异显著。

关键词: 高山滑雪;世界优秀运动员;核心竞技能力;运动训练

Abstract: Based on the literature of the Winter Olympics alpine skiing events in the Web of Science database, this article summarizes the core competitive ability and training characteristics of the world's elite athletes. The results indicate that in the world's elite alpine skiing athletes: 1) Anaerobic is the main metabolic type during the competition, where aerobic metabolic capacity is also crucial for the performance; 2) there is a good eccentric strength and balance ability of muscle strength of lower extremities; the speed of skiing down, turning or even falling and crashing is fast; 3) carving turning technique is widely used, which shows obvious co-load characteristics of both legs; and the change of action posture will cause the corresponding change of air resistance, which is closely related to the slope and snow condition; 4) the training arrangement shows the periodic characteristics of “physical fitness in summer and technique in non-summer” and often adopts block training; common training methods include high intensity interval, high-altitude and simulation training method; there is a significant difference in the composition of training load between snow and land.

Keywords: alpine skiing; world's elite athletes; core competitive ability; sports training

中图分类号:G863.1 **文献标识码:**A

基金项目:

国家重点研发计划“科技冬奥”重点专项(2018YFF0300601);湖北省楚天学者计划资助项目(2018)

第一作者简介:

王素改(1982-),女,讲师,在读博士研究生,主要研究方向为冰雪运动训练理论与方法,E-mail:gaigai0502@126.com。

*通信作者简介:

钟亚平(1968-),男,教授,博士,博士研究生导师,主要研究方向为体育教育训练学,E-mail:zhongyaping@whsu.edu.cn。

作者单位:

1. 武汉体育学院,湖北武汉430079;
2. 湖北民族大学,湖北恩施445000
1. Wuhan Sports University, Wuhan 430079, China;
2. Hubei Minzu University, Enshi 445000, China.

高山滑雪又称阿尔卑斯滑雪,自1936年被列为冬奥会项目,与速度滑冰、越野滑雪、冬季两项并列为冬奥会上的“金牌大户”。冬奥会现行高山滑雪比赛共设11个小项,除混合团体外,男、女各包括滑降、超级大回转、大回转、回转和全能。其中,滑降和超级大回转因下滑速度相对更快归为速度系列,大回转和回转因转弯相对更多归为技术系列。高山滑雪一直是欧美国家的优势项目,我国高山滑雪仅通过基数原则曾分别获得2014年索契和2018年平昌冬奥会的2名参赛资格,亟需归纳与借鉴世界优秀高山滑雪运动员的核心竞技能力特及训练特征,以提高我国高山滑雪的科学训练水平。

本研究以“alpine skiing”或“downhill skiing”或“Super-G skiing”或“slalom skiing”或“combined skiing”为主题,对Web of Science核心合集数据库所有年份进行全面检索

(检索日期为 2019 年 9 月 21 日), 共获得 437 篇相关文献, 其中 112 篇文献与核心竞技能力及训练特征密切相关。通过系统归纳提炼, 探析世界优秀高山滑雪运动员的核心竞技能力及训练特征。

1 身体机能

1.1 无氧能力

世界优秀高山滑雪运动员比赛的持续时间为 45 s~2.5 min, 以无氧代谢为主要供能形式, 其单个轮次比赛后的最大乳酸浓度介于 12~15 mmol/L (Neumayr et al., 2003)。世界优秀男子大回转运动员的最大心率(maximal heart rate, HR_{max}) 可达 201.7±20 次/分, 赛后第 3 min 的血乳酸值达到最高水平 10.13±0.43 mmol/L (Polat, 2016)。Karlsson 等(1978)发现, 世界优秀大回转运动员在持续 93 s 的比赛后, 其平均血乳酸为 13.0 mmol/L (8.0~15.7 mmol/L), 并证实不论运动员在比赛中的排名情况, 其血乳酸浓度基本相同。由此可见, 血乳酸可作为高山滑雪运动员初级选材的评价指标之一, 但对高水平运动员的机能监控不具决定性意义。

有学者对世界优秀高山滑雪运动员比赛时糖酵解与磷酸原供能的比例进行了更深入的探究。Veicsteinas 等(1984)发现, 世界优秀高山滑雪运动员在持续 55~70 s 的回转与大回转项目的能量供应中, 约 40% 来自糖酵解, 20%~30% 来自磷酸原。Saibene 等(1985)的研究结果与之略有差异, 他们发现, 世界优秀大回转运动员比赛时的糖酵解与磷酸原供能比例十分相近, 分别为 25.3% 和 28.3%。

世界优秀高山滑雪运动员的无氧能力常通过 Wingate 无氧功率试验(30 s) 测试与评价 (Bacharach et al., 1995; White et al., 1991), 但 30 s 的全力运动尚不足以最大限度激活糖原的无氧酵解供能, 且高山滑雪比赛的持续时间达 45 s 以上, 故有学者质疑其评价效果, 提出运用 Wingate

无氧功率试验(90 s) 测试更为有效, 并认为高山滑雪比赛不仅是运动员生理上的竞争, 未来研究还应考虑灵敏、协调、平衡等及其与生理的相关性 (Bacharach et al., 1995)。此外, 通常认为评价糖酵解能力的最佳运动持续时间是 40 s, 但它是否适用于世界优秀高山滑雪运动员无氧能力的评价有待验证。

1.2 有氧能力

在肯定无氧代谢是比赛中的主要供能形式的同时, 有关研究也发现世界优秀高山滑雪运动员通常还表现出很强的有氧能力。Veicsteinas 等(1984)发现, 世界优秀大回转运动员在训练中每分钟的摄氧量可达 0.8~0.9 最大摄氧量(maximal oxygen consumption, $\dot{V}O_{2max}$), 较低水平运动员的每分钟摄氧量一般不超过 0.6~0.7 $\dot{V}O_{2max}$ 。1999—2000 年赛季, 奥地利世界优秀高山滑雪女子技术系列和全能项目运动员的最大有氧输出功率分别为 4.49±0.22 W/kg 和 4.21±0.47 W/kg, 男子速度系列、技术系列和全能项目运动员的最大有氧输出功率分别为 4.84±0.38 W/kg、4.63±0.34 W/kg 和 4.58±0.32 W/kg, 男、女运动员的平均最大有氧输出功率分别可达 4.7 W/kg [$\dot{V}O_{2max}=60 \text{ ml}/(\text{kg}\cdot\text{min})$] 和 4.3 W/kg [$\dot{V}O_{2max}=56 \text{ ml}/(\text{kg}\cdot\text{min})$] (Neumayr et al., 2003)。上述数据显示, 世界优秀高山滑雪运动员训练、比赛中具备较高的有氧能力。

世界优秀高山滑雪运动员有氧能力的常用评价指标为 $\dot{V}O_{2max}$ 。早期有研究使用道格拉斯氏气袋 (Douglas-bag) 技术, 而后多使用便携式轻重量分析仪 (Tesch, 1995), 当前较为常用的方法是在功率自行车或跑台上进行递增负荷测试。Polat (2016) 通过跑台对世界优秀大回转运动员进行递增负荷测试, 在 5% 坡度上设定初始速度为 7 km/h, 而后以每分钟 1 km/h 的速度递增直至力竭, 测试数据显示, 运动员在实际比赛时 $\dot{V}O_{2max}$ 值达到最大测试时的 74.96% (表 1)。

表 1 世界优秀高山滑雪运动员在最大测试和大回转比赛中的呼吸值 (Polat, 2016)

Table 1 Respiratory Values of Maximal Test and Giant Slalom of the World's Elite Alpine Skiing Athletes n=20

	递增实验			大回转		
	$M\pm SD$	Min	Max	$M\pm SD$	Min	Max
$\dot{V}O_{2max}/(\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1})$	51.36±2.68	47.28	54.5	38.50±2.34	34.51	41.64
$\dot{V}O_{2mean}/(\text{mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1})$	37.48±2.25	34.55	40.43	28.21±1.63	25.56	30.32
$\dot{V}O_{2max}/(\text{mL}\cdot\text{min}^{-1})$	3 773.20±296.25	3 410	4 519	2 817.10±214.56	2 625	3 389
$\dot{V}O_{2mean}/(\text{mL}\cdot\text{min}^{-1})$	2 754.17±239.35	2 438.50	3 289.41	2 054.86±184.57	1 804.49	2 467.05
$\dot{V}CO_{2mean}/(\text{mL}\cdot\text{min}^{-1})$	2 647.23±260.55	2 287.68	3 276.23	2 007.42±180.93	1 761.51	2 457.17

注: $\dot{V}O_{2mean}$ 为平均耗氧量; $\dot{V}CO_{2mean}$ 为平均二氧化碳排放量。

2 运动素质

2.1 力量素质

2.1.1 下肢离心力量

高山滑雪运动需要强大的膝关节伸肌离心力量, 以保持高速下滑或转弯时动作姿势的稳定, 故世界优秀运动员膝关节和髌关节活动的幅度与速度较小。Berg 等

(1995)发现,世界优秀男子大回转运动员转弯时的膝关节和髌关节角度范围为 $20^{\circ}\sim 50^{\circ}$,平均关节角速度为 $20\sim 40^{\circ}/s$ 。Berg等(1999)还发现,世界优秀高山滑雪运动员膝关节的角速度在更快速度小项中的移动较慢,即超级大回转<大回转<回转,从而出现更多的离心动作。世界优秀高山滑雪运动员的离心收缩以较长的肌肉长度占主导(Gross et al., 2010),验证了高山滑雪是一项以缓慢离心伸肌运动为主的项目。故世界优秀高山滑雪运动员的下肢离心力量高于一般运动员。Franchi等(2019)研究表明,世界优秀高山滑雪运动员双侧肢体的最大离心腘绳肌力量(maximal eccentric hamstrings strength, MEHS)高于U15, MEHS值分别为:女子右侧(R)= 340 ± 48 N vs. 210 ± 44 N, $P<0.001$, 女子左侧(L)= 303 ± 35 N vs. 207 ± 46 N, $P<0.001$; 男子右侧(R)= 486 ± 62 N vs. 259 ± 51 N, $P<0.001$, 男子左侧(L)= 427 ± 54 N vs. 258 ± 57 N, $P<0.001$ (图1)。

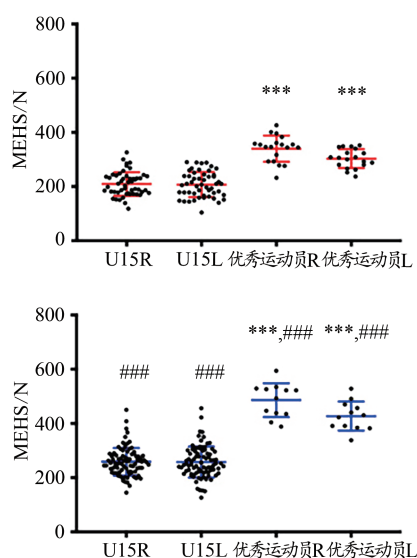


图1 U15和世界优秀高山滑雪运动员右腿和左腿最大离心腘绳肌力量(Franchi et al., 2019)

Figure 1. Maximal Eccentric Hamstrings Strength of Right and Left Limb for U15 and World's Elite Athletes

注:***表示同一性别差异显著, $P<0.001$;###表示同龄/同等竞技水平,但不同性别运动员的差异显著, $P<0.001$ 。

缓慢的膝关节伸肌离心运动对世界优秀高山滑雪运动员具有重要的积极作用。Berg等(1995)认为,世界优秀大回转运动员比赛时由近似最大自主用力的缓慢离心肌肉动作主导,具有更强的产生作用力的能力,从而有效克服在转弯阶段产生的重力。同时,控制雪板与雪的接触和限制速度消耗的能力,也需要通过下肢和髌关节较大活动范围产生的动态平衡和离心运动来实现(Hydren et al., 2013a)。因此,应将离心力量的练习纳入世界优秀高山滑雪运动员的日常训练中,作为发展力量素质的重

要手段。Tesch(1995)提出,传统的负重训练或增强式训练对提高运动成绩有明显优势,但不能很好地模拟转弯时典型的肌肉负荷模式,允许在相对较低的速度下同时进行向心和离心运动,并强调离心过度载荷的运动设备或训练策略可能更有利于世界优秀高山滑雪运动员专项肌肉力量的发展。

2.1.2 下肢肌力平衡

世界优秀高山滑雪运动员具有良好的下肢肌力平衡能力。Hildebrandt等(2017)采用CON-TREX® TP 1000测试系统,以 $150^{\circ}/s$ 的弹道模式测量109名世界优秀高山滑雪运动员的向心最大躯干屈伸肌,结果表明,男、女运动员的相对屈曲最大力矩分别为 2.44 ± 0.30 Nm/kg和 2.05 ± 0.22 Nm/kg,相对伸展最大力矩分别为 4.53 ± 0.65 Nm/kg和 3.55 ± 0.53 Nm/kg,屈伸肌比(腘绳肌/股四头肌)均为 $0.54\sim 0.59$ 。Alhammoud等(2019)对28名世界优秀高山滑雪运动员(男、女各14名,技术和速度系列各14名)的膝关节屈肌/伸肌进行了等速评估(范围为 $30^{\circ}\sim 90^{\circ}$, 0° 表示完全伸展),结果表明,仅膝关节伸展运动时,女子运动员的腘绳肌力矩和屈伸肌比低于男子运动员($P<0.05$)(图2),其他数据则无显著的性别差异。

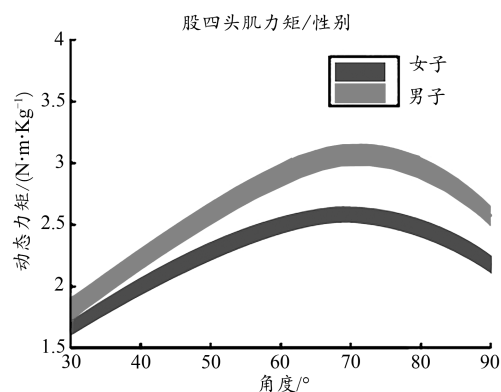


图2 性别对屈伸肌比的影响(Alhammoud et al., 2019)

Figure 2. Effect of Sex on Hamstrings-to-quadiceps Ratio

2.1.3 下肢力量评价

深蹲跳(squat jump, SJ)和反向跳(countermovement jump, CMJ)是评估世界优秀高山滑雪运动员下肢力量的常用方法。Gross等(2009)采用SJ和CMJ评价世界优秀高山滑雪运动员在赛季前后的腿部爆发表现能力,结果表明,赛季后运动员的SJ(47.4 ± 4.4 cm vs. 44.7 ± 4.3 cm, $P<0.01$)和CMJ(52.7 ± 4.6 cm vs. 50.4 ± 5.0 cm, $P<0.01$)跳跃的高度更大。另外,90 s侧箱测试(90 s box jump test, BJ90)也被广泛用于评价世界优秀高山滑雪运动员的下肢力量。Ferland等(2018)回顾了高山滑雪运动员的人体测量和身体测试相关研究结果,共列举了27个不同变量的数据,其中就包括SJ、CMJ与BJ90。Gross等(2014)认为,BJ90广泛应用于评价世界优秀高山滑雪运动员的

运动表现能力,是因为它模拟了高山滑雪比赛的肌肉、协调和代谢需求。

2.2 速度素质

高山滑雪运动员的下滑速度快,且不同小项的线路越长,垂直高度差越大,旗门间距越大,运动员的下滑速度也相对越快。有资料显示,滑降运动员的下滑速度最快,世界优秀男子运动员的最高速度可超过 150 km/h;超级大回转(90~100 km/h)与大回转(40~60 km/h)次之,回转的平均速度为 30~40 km/h,远低于其他小项(Gilgien et al., 2015; Polat, 2016)。

通常世界优秀高山滑雪运动员的速度随坡度的增加而增快。Supej 等(2015)分析了 10 名世界优秀男子回转运动员的三维运动学数据,发现运动员在相对平坦(19.8°)和陡峭(25.2°)坡度的速度分别为 11.8 m/s 和 12.4 m/s。世界优秀高山滑雪运动员在转弯时同样处于高速状态。Zeglinski 等(1998)研究表明,世界优秀回转运动员在 24°斜坡时的转弯速度能达 10.2 m/s。Spörri 等(2018)发现,世界优秀大回转运动员在平均门距为 27 m、宽 8 m、坡度为 26°的滑道入门速度可达 15.25~17.66 m/s。

世界优秀高山滑雪运动员在摔倒或跌倒后仍会持续较高的速度。Steenstrup(2018)详细分析了 2006—2015 年连续 9 年高山滑雪世界杯中的 9 次头部撞击情况,结果表明,头部撞击的平均速度为 9.3±1.0 m/s,范围为(5.2±1.1)~(13.5±1.3) m/s。另一项研究预估的世界优秀滑降、超级大回转、大回转运动员正坡向的冲击速度均高于国际滑雪联合会现行最严格头盔试验规则规定的 6.8 m/s (Steenstrup et al., 2017)。

2.3 协调素质

世界优秀高山滑雪运动员在非稳定状态下仍能保持动作姿势的平衡能力是其协调素质的关键,受急性缺氧的负面影响。Morawetz 等(2019)选取了 19 名世界优秀高山滑雪运动员在常压低氧舱进行 60 s 平衡试验(MFT S3-Check),结果表明,在高氧预适应阶段后,以感受性($P=0.097$)、稳定性($P=0.937$)和对称性($P=0.202$)评分为指标的平衡表现无显著性差异(表 2),并随着时间的推移而下降(组间无差异),低氧预适应阶段不影响低氧环境条件下的平衡表现。

表 2 高氧预适应与非高氧预适应侧平衡能力差异统计(Morawetz et al., 2019)

Table 2 Difference in Lateral Balance Ability Between Hyperoxic and Non-hyperoxic Preconditioning

MFT S3 Check	测试时间/s	$M \pm SD$ (95% CI)		P
		高氧	非高氧	
感受性	60	2.20±0.69(1.86, 2.53)	2.40±0.89(1.97, 2.83)	0.097
	0~30	2.06±0.68(1.73, 2.39)	2.09±0.82(1.69, 2.48)	0.894
	31~60	2.34±0.94(1.88, 2.80)	2.71±1.19(2.14, 3.28)	0.057
稳定性	60	2.98±0.93(2.53, 3.43)	2.97±0.91(2.53, 3.41)	0.937
	0~30	2.68±0.92(2.24, 3.13)	2.61±0.83(2.21, 3.01)	0.680
	31~60	3.28±1.02(2.79, 3.78)	3.33±1.05(2.82, 3.84)	0.815
对称性	60	12.3±7.7(8.6, 16.0)	9.1±7.0(5.8, 12.6)	0.202
	0~30	10.6±9.9(5.8, 15.3)	8.5±7.5(4.9, 12.1)	0.481
	31~60	14.1±8.7(9.9, 18.3)	9.8±9.0(5.5, 14.2)	0.197

注:感受性、稳定性得分为指数(1~9);对称性为左/右偏移百分比。测试时间:60 s 为测试全过程;0~30 s 为测试的第 1 部分;31~60 s 为测试的第 2 部分。高氧为从测试到高氧预适应后的数据;非高氧为测试到非高氧预适应后的数据。 P 值为高氧和非高氧预适应差异的 t 检验计算。

世界优秀高山滑雪运动员与国家级、区域级水平运动员在穿戴滑雪靴测试时的静态和动态双足平衡相似(Hrysomallis, 2011),说明平衡能力对处在基础训练乃至专项提高阶段的青少年运动员十分重要。Lesnik 等(2017)分别在 2 个赛季对 81 名(男 41 名,女 40 名)12~13 岁(U14)和 14~15 岁(U16)的优秀高山滑雪运动员进行测试发现,在观察时间内,无论运动员的体重和身高如何变化,3 个平衡指标(中外侧、前后和整体稳定指数)都无显著变化,且 U14 组(Pearson's $r=0.45\sim0.54$)平衡能力与运动成绩之间的关系较 U16 组(Pearson's $r=0.05\sim0.28$)更为密切,反映平衡能力对 11~14 岁高山滑雪青少年运动员意义重大。也有研究发现,优秀高山滑雪青少

年运动员的平衡能力存在一定性别差异。Raschner 等(2017)在为期 10 年的研究中,调查了 500 多名 11~18 岁的优秀高山滑雪运动员在不同年龄阶段的横截面平衡表现,MFT S3-Check 平衡测试的结果显示,14~16 岁年龄组的前后移动中,女子比男子表现出更好的稳定性和感受性得分(但不对称),进而提出,年龄与性别和成熟度的相互作用对青少年运动员的平衡能力具有一定影响。

3 技术特征

3.1 转弯技术

3.1.1 转弯时间

高山滑雪是一项竞速类运动,转弯时间是量化比赛

时间的重要参数之一。Berg等(1995)测试了世界优秀男子大回转运动员左+右转弯的平均用时为 3.5 ± 0.6 s,其中,降低外侧腿膝关节角度的平均用时为 1.0 ± 0.2 s,比蹬冰阶段的平均用时长 0.5 ± 0.1 s。

世界优秀高山滑雪运动员的转弯时间主要受速度和路线选择影响,且速度与运动成绩的相关性更为密切。Federolf(2012)发现,世界优秀回转运动员瞬时表现 dt/dz 取决于速度 $v(z)$ (图3A)和所选择的路线 ds/dz (图3B),在速度中的波动范围约9%,在路线中的波动幅度为3%~7%。而世界优秀高山滑雪运动员同时保持高速和正确选择最佳路线,才可以最大限度减少能量耗散,从而缩短转弯时间、提高运动成绩。为此,Hébert-Losier等(2014)建议,减少暴露的正面面积、较长的转弯半径、较早开始转弯、较大的最大地面反作用力,特别是在转弯后期,并运用卡宾技术保持滑雪行进的高速度。

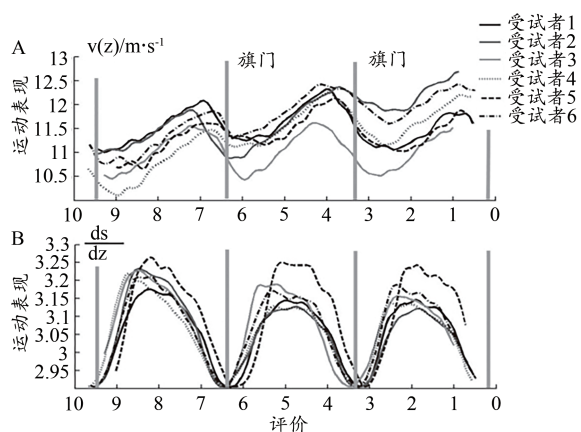


图3 影响瞬时运动表现的因素(Federolf,2012)

Figure 3. Factors Contributing to Instantaneous Skiing Performance

注:A:速度;B:每米高度差的滑行距离。分数越高,运动表现越好。

另有研究发现,尽管缩短转弯半径有助于减少转弯时间,但世界优秀高山滑雪运动员通常不选择最短的转弯半径。Supej等(2011)研究结果显示,世界优秀男子回转运动员与普通运动员的质心转弯半径、雪板转弯半径、加速度、地面反作用力的差异均无统计学意义,但速度和微分比机械能差异却高度显著($P<0.001$, $P<0.05$),并验证了雪板转弯半径与微分比机械能之间的关系($r=0.58$, $P<0.001$),最大地面反作用力和最低微分比机械能相关,加速度与地面反作用力相关($r=-0.60$, $P<0.001$),世界优秀运动员以较高的速度和相似的微分比机械能范围滑行,由此建议在回转比赛中应减少最短雪板转弯半径和最大地面反作用力,以提高运动成绩。

3.1.2 参与肌群

Berg等(1999)记录了16名世界优秀超级大回转、大回转、回转和自由式滑雪运动员转弯时膝关节伸肌的肌

电图,结果表明,上述所有项目运动员膝关节和髋关节的肌电活动都接近最大值,说明世界优秀高山滑雪运动员比赛时下肢肌群与核心肌群的参与程度大。究其原因可能是运动员在高速滑行中保持身体姿态、控制转移重心时的身体平衡,都需要更多的下肢肌群与核心肌群的参与。

基于技术系列项目的转弯相对较多,相关研究更多关注世界优秀高山滑雪回转与大回转运动员下肢与核心肌群的参与程度。Hintermeister等(1997)测试了世界优秀大回转运动员身体右侧的12个肌群,发现在9个转弯过程中,股内侧肌、股外侧肌、股二头肌、臀大肌、内收肌、胫骨前肌、腓绳肌内侧、股直肌、腓肠肌内侧和竖脊肌的平均振幅大于50% MVC,股内侧肌、股外侧肌、股二头肌、臀大肌、内收肌、腓肠肌、股直肌和直刺肌的峰值幅度均大于150% MVC。

3.1.3 常用技术

1998年长野冬奥会前,世界优秀高山滑雪运动员普遍使用侧切半径超过30 m的所谓“传统滑雪转弯”,且多年来转弯之间直行绕旗门的短转弯被认为是大回转和回转的最佳选择(Supej et al., 2019),主要由外侧腿承重。Berg等(1999)发现,在一个转弯中,世界优秀高山滑雪运动员外侧(主承重)腿的最小(最深的站位)膝关节角度为 $60^{\circ}\sim 100^{\circ}$ 。Falda-Buscaiot等(2017)采用摄像机和双脚底部压力鞋垫同步记录了11名世界优秀运动员在比赛强度下完成1个大回转的完整过程,发现运动员外侧脚明显高于内侧脚的平均地面反作用力,由此认为,在转弯过程中,外侧脚起积极的支撑作用,而内侧脚可能仅发挥了稳定的作用。

20世纪80年代,世界优秀高山滑雪运动员在训练和比赛中开始努力采用“空心转弯”(现称“卡宾转弯”)技术(Supej et al., 2019)。其本质是雪板腰部弹性越强,用刃角度越大,雪板弯曲程度越大以保持整个板刃与雪面接触,从而减小着雪面积和转弯半径。Müller等(2003)发现,在转舵期,卡宾技术外侧腿膝角为 $120^{\circ}\sim 130^{\circ}$,保持相对稳定,且始终大于内侧腿的膝角,而内侧腿的膝角由第一转舵期开始时的约 120° ,经过转弯过程中的降低,再到下一转弯起始时达到最小值约 95° ,呈现出明显的双腿共负荷特征。

3.2 完整技术

3.2.1 环境影响

高山滑雪比赛均在海拔1 000 m以上的高山上进行,世界优秀运动员的技术动作姿势变化能够引起空气阻力的相应变化。Asai等(2017)计算了世界优秀滑降运动员在15 m/s和40 m/s速度时的总阻力分别为27.0 N和185.8 N,并通过阻力分布和流型的分析,确定头部、上臂、小腿和大腿(包括臀部)是主要的阻力来源,由此推断运动员滑行时的姿势变化能够改变空气阻力。Barelle等

(2004)提出一种基于世界优秀高山滑雪运动员的动作姿势确定气动阻力系数的实验模型,研究认为该模型可以帮助教练员评估同一运动员不同姿势时空气动力阻力的变化所引起的时间增益或损耗。

世界优秀高山滑雪运动员技术动作的各种生物力学参数,也会因坡度变化而有所改变。Supej 等(2015)发现,世界优秀男子回转运动员在相对平坦(19.8°)和陡峭(25.2°)坡度的重心转弯半径(13.2 m vs. 16.5 m)、雪板转弯半径(8.7 m vs. 10.6 m)、速度(11.8 m/s vs. 12.4 m/s)、加速度(-0.06 m/s² vs. 0.68 m/s²)和微分比机械能[-8.5 J/(kg·m) vs. -6.3 J/(kg·m)]等方面存在差异(均 $P < 0.001$),地面反作用力也趋于差异(1.3 BW vs. 1.4 BW, $P = 0.06$)。另外,不断变化的雪况也会影响高山滑雪运动员的技术动作质量,甚至导致运动损伤的发生(Spörri et al., 2012, 2017)。

3.2.2 技术监控

世界优秀高山滑雪运动员的技术监控趋于精密化、便携化、实地化方向发展。如差分全球导航卫星系统(dGNSS)、惯性传感器等技术的广泛应用,突破了气候、场地等自然条件的局限,为教练员在日常训练中实时监控技术动作、提高技术训练效果提供了可能。Matthias 等(2018)利用先导装置携带 dGNSS 测试世界优秀超级大回转和滑降运动员所受的外力,并将 dGNSS 数据与雪面数字地形模型和空气阻力模型相结合计算地面反作用力。Yoshioka 等(2018)提出一种利用陀螺仪对世界优秀高山滑雪运动员进行 3 min 姿态跟踪的方法(图 4),该方法利用一种常规的简单算法来改进运动员身体姿态的测量,跟踪误差仅为 2° RMSE。

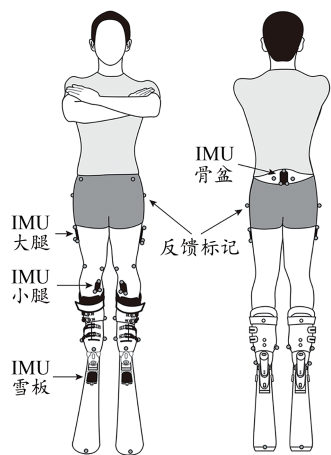


图 4 光学运动捕获系统预备测量的标记和惯性测量单元设置 (Yoshioka et al., 2018)

Figure 4. Settings of Markers and Inertial Measurement Unit for the Preparatory Measurement with An Optical Motion Capture System

Hirose 等(2015)对世界优秀高山滑雪运动员的技术动作进行综合测量,主要采用 3 个陀螺仪传感器、3 轴加

速度传感器、3 轴磁场传感器分别对 3 轴角速度、3 轴加速度、3 轴磁场进行测量;同时在运动员脚底安装雪面反作用力测量系统,通过 6 轴力传感器测量 3 轴力矢量和 3 轴力矩矢量;运用全球定位系统接收系统收集的参数反映滑动轨迹的经度、纬度与高度;以运动员背上动作捕捉系统采集所有数据信息并同步控制信号,通过测试的参数反映其相对应的技术动作质量,从而选择运用更有效的转弯技术。

随着技术动作监控手段的改进与创新,一些新的测量指标也相应出现,如利用骨盆代替质心评估运动员运动特征和运动表现的相关研究。Yu 等(2016)验证骨盆是惯性测量装置附着的最佳位置,提出从骨盆采集的数据可有效评估世界优秀高山滑雪运动员的运动表现和特点,而且传感器可以很容易地连接和分离,不会对运动员的动作产生过多干扰。

4 运动训练特征

4.1 训练周期

与传统周期理论将年度训练划分为准备期、比赛期和恢复期 3 个阶段不同,世界优秀高山滑雪运动员的年度训练周期主要包括准备期和比赛期 2 个阶段,恢复期被纳入至准备期,并呈现出“夏体能非夏技术”的周期特征。其中,准备期始于 4 月冬季残雪上的技术训练,5—7 月以体能训练为主,8—10/11 月在滑雪场进行雪上技术训练;比赛期由每年的 10/11 月一次年 3 月,其中没有比赛的几周内,训练类似于准备阶段的轻滑雪训练;恢复期被纳入至准备期 4、5、7 月,而不是在赛季后规划单一的过渡时期(Gilgien et al., 2018)。Neumayr 等(2003)提出,世界优秀高山滑雪运动员的专项技术训练集中在夏季末和秋季,第 1 次技术训练开始于冰上;春夏期间以体能训练为主,包括非特定能力、有氧无氧能力、肌肉力量、移动灵活性、心理因素、集中注意力等训练。在雪季,世界优秀高山滑雪运动员的耐力和负重训练大大减少,雪上的技术训练占据主导地位(Gross et al., 2009)。

世界优秀高山滑雪运动员的训练周期安排中,板块训练较为常用。Breil 等(2010)设计了为期 11 天、包括 15 个高强度有氧间歇训练单元的板块训练,结果显示,间歇组的相对 $\dot{V}O_{2max}$ 、相对峰值功率输出和第二通气阈的功率输出分别提高了 6.0%、5.5% 和 9.6% ($P < 0.01$),但对照组未见明显变化;两组的高强度疲劳时间保持不变。由此提出,板块训练周期提供了一种有效提高世界优秀高山滑雪运动员的 $\dot{V}O_{2max}$ 和训练水平的方法,爆发力下降可能与持续的肌肉疲劳有关。

4.2 训练方法

4.2.1 高强度间歇训练

世界优秀高山滑雪运动员常采用不同负荷时间、间歇时间及内容组合的高强度间歇训练。Breil 等(2010)设

计了15个高强度有氧间歇训练单元的实验,间歇组采用90%~95% HR_{max} 的高强度间歇训练(练习3天休息1天,每次4组,每组4 min,组间歇3 min),控制组继续传统的耐力和力量混合训练。Stöggl等(2018)探讨基于测力计的高山滑雪专项陆上高强度间歇训练的急性效应时,设计的训练方案包括大于90% HR_{max} 负荷,15×1 min间隔和30 s积极/主动休息。上述实验结果一致表明,高强度间歇训练是一种能在短期内提高心肺代谢和运动能力的有效方法。从现有数据来看,世界优秀高山滑雪运动员应通过乳酸阈或高于其乳酸阈的间歇训练发展乳酸阈值和乳酸耐受性,从而获得相对较低的 $\dot{V}O_{2max}$,同时最大限度提高无氧能力(Hydern et al., 2013)。

4.2.2 高原训练

高原训练多被优秀高山滑雪青少年运动员选择。Hydren等(2013a)发现,11名(男4名,女7名)优秀高山滑雪青少年运动员在3 328~3 802 m海拔高度进行为期6天的高原训练,前3天出现轻微的急性高山病(acute mountain sickness, AMS)症状和体征,但通过3~6天的适应性训练,其平衡能力、反应时间、速度素质、力量耐力和灵活性方面都可以得到改善,故此建议在海拔3 000 m以下过夜住宿,在前3天逐渐增加训练量,可减少AMS的发生。Son等(2012)发现,通过每天4~5 h、每周6天、为期5周的“低住(2 100 m)高训(2 700 m)”后,优秀高山滑雪青少年运动员的红细胞生成素(EPO)浓度可降低31%,但2,3DPG则增加16%,红细胞(RBC)在高原训练期间持续增加13%,并在返回海平面后保持11%的增长,血红蛋白(Hb)和红细胞压积(Hct)同样显著升高,由此表明,高原训练可以有效提高优秀高山滑雪青少年运动员的耐力水平。

4.2.3 模拟训练

世界优秀高山滑雪运动员在非雪季节或非寒地区的技术训练,通常采用模拟训练。如用于大回转、回转和大回转-回转混合的专项高强度间歇训练模式的陆上滑雪测力计,配备6个松紧带附在运动员身上,使其在滑动平台的移动过程中,可灵活调整负荷;滑板经与高山滑雪模式匹配的改造后,可具体练习高山滑雪的不同小项;滑板与训练平台连接,且运动员内侧脚跟微微抬起,膝关节模拟训练的主要角度和臀部高度与滑雪项目特点一致(Stöggl et al., 2018)。

世界优秀高山滑雪运动员技术动作训练的监控与优化,也是模拟训练的重点。如以减少滑行风阻为目标的风洞实验,将滑雪板与地面上的一个测力平台连接,以1 000 Hz的采样率测量阻力和升力,用10.0 s的平均非定常阻力计算滑雪机模型在风洞中的总阻力,用以检验运动员滑行姿势与阻力大小间的关系,有助于改进技术动作。尤其是使用流体力学与实验流体力学计算运动员周围的阻力流动,并使空气动力特征可视化(图5),能够较为清晰地判断运动员个体某项技术动作的特点及问题,

有利于优化技术动作(Asai et al., 2017)。由此证明,既符合高山滑雪不同小项特征,又切合高山滑雪复杂比赛环境的模拟训练设备的研发与改进,是提高模拟训练质量的有效途径。

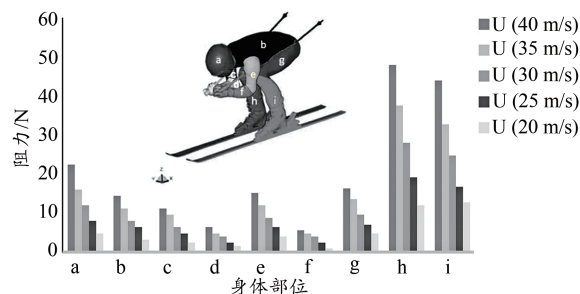


图5 滑降运动员不同流速时各身体部位的阻力(Asai et al., 2017)

Figure 5. Drag Force Components for the Body Parts of A Downhill Skier at Different Flow Speeds

4.3 训练负荷

4.3.1 雪上训练负荷

世界优秀高山滑雪运动员的雪上训练负荷强度主要包括滑行的速度、滑道设置的难度等,负荷量主要涉及训练天数、时间/轮、总时间等时间指标和滑行轮次、转弯个数等次数指标。Gilgien等(2018)认为,世界优秀高山滑雪运动员的大部分雪上训练内容是在类似比赛滑道上进行部分或全程滑,这意味着雪上训练大部分保持了比赛时的负荷强度。这项研究还描述了冬奥会高山滑雪不同小项运动员在准备期和竞赛期间雪上训练的时间和转弯个数等特征(不包括热身、往返于缆车的滑雪、缆车上消耗的时间),结果表明,技术系列运动员的训练时间明显大于速度系列,准备期的训练总时间大约是比赛期的2倍(表3)。

4.3.2 陆上训练负荷

世界优秀高山滑雪运动员的陆上训练负荷强度多采用练习的负重量表示,负荷量则以组数、重复次数、重量等指标为主。Hydren等(2013b)列举了发展不同类型力量的负荷计算示例(表4),负荷量安排一般为3~4组,甚至可多至6组,每组10~15次,并认为轴向负荷练习,如蹲跳、硬拉、上搏和抓举,应该是发展力量的基础,由此建议补充下肢的闭合和开放链练习,同时不限制训练在脊柱加载练习中的疲劳水平,将有助于提高运动员下肢的最大力量。

4.4 疲劳恢复

世界优秀高山滑雪运动员在训练中会产生高频疲劳(high-frequent fatigue, HFF)。Tomazin等(2008)发现,8名世界优秀男子运动员模拟回转比赛后,其平均血乳酸浓度由回转前的 1.6 ± 0.6 mmol/L升高到回转后15 min的 7.1 ± 1.6 mmol/L($F_{2,14}=70.1$; $P < 0.001$);强直收缩时间由回转前 78.2 ± 5.7 ms缩短至回转后60 s的 66.0 ± 7.2 ms($F_{1,19,8.3}=9.9$; $P < 0.05$);最大力矩从 21.6 ± 3.8 Nm增强到 26.4 ± 5.3 Nm($F_{2,14}=16.7$; $P < 0.05$);高频力矩由 $64.4 \pm$

35 Nm 减少到回转后 60 s 的 58.2±34.2 Nm ($F_{2,14}=3.8$; $P<0.05$), 而低频力矩基本保持不变, 由此得出结论, 回转时强烈的肌肉活动会引发 HFF 的出现, 进而提出回转的运动训练必须针对 HFF 加以科学安排。

轮次间轻微的肌肉活动有助于世界优秀高山滑雪运动员训练疲劳后的恢复。White 等(2015)在每个训练轮次开始前, 均将 14 名(男 7 名, 女 7 名)世界优秀高山滑雪运动员随机分为积极恢复组(手持滑雪杖散步 3 min)和静态恢复组(站在雪板上保持静止姿势), 结果显示, 在山顶测试的血乳酸浓度表现出明显的时间效应 ($F_{(5,25)}=17.968, P<0.01$), 以及恢复条件与时间点的交互作用效应 ($F_{(5,25)}=5.868, P=0.001$), 积极恢复组与血乳酸浓度显著降低有关; 在山脚测试的血乳酸浓度表现出显著的时间效应 ($F_{(5,25)}=17.346, P<0.001$), 静态恢复组训练滑行完成时间更长 ($P\leq 0.05$), 未完成滑行的比例更高, 但 2 组在感知疲劳评分上无差异。该研究认为, 世界优秀高山滑雪运动员在轮次之间进行的山上积极恢复可以促进血液乳酸清除率, 并与延迟疲劳有关, 这可以通过更快的训练滑行和更少的不完整滑行来体现。

5 结语

我国高山滑雪运动训练应参照世界优秀运动员的核心竞技能力及训练特征, 切实加强运动员选材、各小项代谢特征、运动素质评价、动作诊断与实时反馈、训练周期计划、训练方法与手段创新以及促进疲劳恢复的营养学手段等研究, 并对训练负荷安排、战术能力、心理训练等研究进行更深入的探索, 这将对我国备战 2022 年冬奥会高山滑雪项目取得突破性进展大有裨益。

表 3 高山滑雪运动员年度滑雪训练的时间特征、轮数特征 (Gilgien et al., 2018)

Table 3. Ski Training During One Year in Terms of Time and Numbers of Turns by Olympic Alpine Skiers

特征	指标	时期	技术系列		速度系列	
			回转	大回转	超级大回转	滑降
时 间 特 征	训练天数/d	P	32	35	22	25
		C	30	32	25	32
	每天训练轮数	P	8	8	6	6
		C	4	3.5	3	3
	每轮用时/s	P	40	45	50	60
		C	40	45	50	60
	每天训练时间/ min	P	5.3	6.0	5.0	6.0
		C	2.7	2.6	2.5	3.0
	总时间/h	P	2.8	3.5	1.8	2.5
		C	1.3	1.4	1.0	1.6
	每年总时间/h	C	4.1	4.9	2.8	4.1
轮 数 特 征	训练天数	P	32	35	22	25
		C	30	32	25	32
	每天训练轮数	P	8	8	6	-
		C	4	3.5	3	3
	每轮转弯数	P	50	37	28	-
		C	55	37	28	-
	每天转弯数	P	400	296	165	-
		C	220	130	83	-
	总转弯数	P	12 800	10 360	3 630	-
		C	6 600	4 144	2 063	-
	每年每项总转弯数		19 400	14 504	5 693	-

注: P 表示准备期, C 表示比赛期。

表 4 典型力量练习 (Hydren et al., 2013b)

Table 4 Prototypical Strength Workouts

	力量训练	爆发力训练	力量和平衡训练
总训练量	轻(2~4组×12~15次), 中等(2~6组×8~10次), 大负荷(4~6组×1~4次)。	2~4组×1~5次	2~4组×8~12次
具体训练内容	颈后深蹲或单腿杠铃深蹲, 硬拉, 卧推, 腿举, 划船, 背部伸展 3×20 次, 抗力球侧向仰卧起坐 3×20 次。	跳箱 3×10(体重), 跳跃栏架 3×10(体重), 瞬间上搏 4×4-8 (60%~90% 1 RM), 深蹲跳 4×10(负荷, 75% 体重), 哑铃抓举 3×8/侧, 快速重锤下拉(3×8~10), 持哑铃侧边箱跳跃(3×8/侧), 仰卧起坐投药球(3×15~20), 旋转抛药球(3×15~20)。	平衡盘上颈前蹲举, 稳定球哑铃卧推, 平衡盘上单腿蹲, 稳定球划船, 侧步跃上波速球, 单腿罗马卷压硬拉。
进展	—	—	增加重复次数, 然后增加组数和降低重复次数, 随着技术进步而增加负荷。

参考文献:

ALHAMMOUD M, MOREL B, HANSEN C, et al., 2019. Discipline and sex differences in angle-specific isokinetic analysis in elite skiers[J]. Int J Sports Med, 40(5):317-330.

ASAI T, HONG S, IJUIN K, 2017. Flow visualisation of downhill skiers using the lattice Boltzmann method[J]. Eur J Phys, 38(2): 1-11.
BACHARACH D W, VON DUVILLARD S P, 1995. Intermediate

- and long-term anaerobic performance of elite Alpine skiers[J]. *Med Sci Sports Exer*, 27(3):305-309.
- BARELLE C, RUBY A, TAVERNIER M, 2004. Experimental model of the aerodynamic drag coefficient in alpine skiing[J]. *J Appl Biomech*, 20(2):167-176.
- BERG H E, EIKEN O, 1999. Muscle control in elite alpine skiing[J]. *Med Sci Sports Exer*, 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 Exer*, 27(12):1666-1670.
- BREIL F A, WEBER S N, KOLLER S, et al., 2010. Block training periodization in alpine skiing: Effects of 11-day HIT on $\dot{V}O_{2max}$ and performance[J]. *Eur J Appl Physiol*, 109(6): 1077-1086.
- FALDA-BUSCAIOT T, HINTZY F, ROUGIER P, et al., 2017. Influence of slope steepness, foot position and turn phase on plantar pressure distribution during giant slalom alpine ski racing[J]. *PLoS One*, 12(5): e0176975.
- FEDEROLF P A, 2012. Quantifying instantaneous performance in alpine ski racing[J]. *J Sports Sci*, 30(10):1063-1068.
- FERLAND P M, COMTOIS A S, 2018. Athletic profile of alpine ski racers: A systematic review [J]. *J Strength Cond Res*, 32(12): 3574-3583.
- FRANCHI M V, ELLENBERGER L, JAVET M, et al., 2019. Maximal eccentric hamstrings strength in competitive alpine skiers: Cross-sectional observations from youth to elite level [J]. *Front Physiol*, doi: 10.3389/fphys.2019.00088.
- GILGIEN M, REID R, RASCHNER C, et al., 2018. The training of Olympic alpine ski racers[J]. *Front Physiol*, doi: 10.3389/fphys.2018.01772.
- GILGIEN M, CRIVELLI P, SPÖRR J I, et al., 2015. Characterization of course and terrain and their effect on skier speed in world cup alpine ski racing[J]. *PLoS One* 10(3):e0118119.
- GROSS M, HEMUND K, VOGT M, 2014. High intensity training and energy production during 90-second box jump in junior alpine skiers[J]. *J Strength Cond Res*, 28(6):1581-1587.
- GROSS M, LUTHY F, KRÖELL J, et al., 2010. Effects of eccentric cycle ergometry in alpine skiers [J]. *Int J Sports Med*, 31(8): 572-576.
- GROSS M A, BREIL F A, LEHMANN A D, et al., 2009. Seasonal variation of $\dot{V}O_{2max}$ and the $\dot{V}O_2$ -work rate relationship in elite alpine skiers[J]. *Med Sci Sports Exer*, 41(11):2084-2089.
- HÉBERT-LOSIER K, SUPEJ M, HOLMBERG H C, 2014. Biomechanical factors influencing the performance of elite alpine ski racers [J]. *Sports Med*, 44(4):519-533.
- HINTERMEISTER R A, O'CONNOR D D, LANGE G W, et al., 1997. Muscle activity in wedge, parallel, and giant slalom skiing [J]. *Med Sci Sports Exer*, 29(4):548-553.
- HILDEBRANDT C, MÜLLER L, HEISSE C, et al., 2017. Trunk strength characteristics of elite alpine skiers-a comparison with physically active controls[J]. *Nephron Clin Pract*, 57(1): 51-59.
- HIROSE K, KONDO A, DOKI H, 2015. Comparison of carving and skidding turns by joint torque of skier and gliding velocities in ski running on alpine ski slope [J]. *Procedia Engineering*, 112(2): 338-343.
- HRYDOMALLIS C, 2011. Balance ability and athletic performance [J]. *Sports Med*, 41(3):221-232.
- HYDREN J R, KRAEMER W J, VOLEK J S, et al., 2013. Performance changes during a weeklong high-altitude alpine ski-racing training camp in lowlander young athletes[J]. *J Strength Cond Res*, 27(4):924-937.
- HYDREN J R, VOLEK J S, MARESH C M, et al., 2013. Review of strength and conditioning for alpine ski racing[J]. *Strength Cond J*, 35(1):10-28.
- KARLSSON J, ERIKSSON A, FORSBERG A, et al., 1978. *Physiology of Alpine Skiing* [M]. Park City, Utah: United States Ski Coaches Association.
- LESNIK B, SEKULIC D, SUPEJ M, et al., 2017. Balance, basic anthropometrics and performance in young alpine skiers; longitudinal analysis of the associations during two competitive seasons [J]. *Nephron Clin Pract*, 57(1):7-16.
- MATTHIAS G, JOSEF K, JÖRG S, et al., 2018. Application of dGNSS in alpine ski racing: Basis for evaluating physical demands and safety[J]. *Front Physiol*, doi: 10.3389/fphys.2018.00145.
- MORAWETZ D, DÜNNWALD T, FAULHABER M, et al., 2019. Impact of hyperoxic preconditioning in normobaric hypoxia (3500 m) on balance ability in highly skilled skiers: A randomized, crossover study[J]. *Int J Sports Physiol Performe*, 14(7):934-940.
- MÜLLER E, SCHWAMEDER H, 2003. Biomechanical aspects of new techniques in alpine skiing and ski-jumping[J]. *J Sports Sci*, 21(9):679-692.
- 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.
- RASCHNER C, HILDEBRANDT C, MOHR J, et al., 2017. Sex differences in balance among alpine ski racers: Cross-sectional age comparisons[J]. *Percept Mot Skills*, 124(6):1134-1150.
- SAIBENE F, VORTILI G, GAVAZZI P, et al., 1985. Energy sources in alpine skiing (giant slalom)[J]. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 53(4): 312-316.
- SON H J, KIM H J, KIM J H, et al., 2012. Erythropoietin, 2,3 dpg, oxygen transport capacity, and altitude training in adolescent alpine skiers[J]. *Aviat Space Environ Med*, 83(1):50-53.
- SPÖRRI J, KRÖLL J, AMESBERGER G, et al., 2012. Perceived key injury risk factors in World Cup alpine ski racing: An explorative qualitative study with expert stakeholders [J]. *Br J Sports Med*, 46(15):1059-1064.
- SPÖRRI J, KRÖLL 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.
- SPÖRRI J, KRÖLL J, SCHWAMEDER H, et al., 2018. The role of path length- and speed-related factors for the enhancement of section performance in alpine giant slalom[J]. *Eur J Sport Sci*, 18(7): 911-919.
- STEENSTRUP S E, MOK K M, MCINTOSH A S, et al., 2017. Head impact velocities in fis world cup snowboarders and freestyle skiers: Do real-life impacts exceed helmet testing standards? [J]. *Brit J Sports Med*, 51(1):32-40.

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:2021-01-20; 编辑:尹航)

(上接第 11 页)

- STEENSTRUP S E, MOK K M, MCINTOSH A S, et al., 2018. Reconstruction of head impacts in FIS World Cup alpine skiing [J]. *Br J Sports Med*, 52(11): 709-715.
- STÖGGL T, KRÖLL J, HELMBERGER R, et al., 2018. Acute effects of an ergometer-based dryland alpine skiing specific high intensity interval training [J]. *Front Physiol*, doi: 10.3389/fphys.2018.01485.
- SUPEJ M, HÉBERT-LOSIER K, HOLMBERG H C, 2015. Impact of the steepness of the slope on the biomechanics of World Cup slalom skiers [J]. *Int J Sports Physiol Perform*, 10(3): 361-368.
- SUPEJ M, HOLMBERG H C, 2019. Recent kinematic and kinetic advances in Olympic alpine skiing: Pyeongchang and beyond [J]. *Front Physiol*, doi: 10.3389/fphys.2019.00111.
- SUPEJ M, KIPP R, HOLMBERG H C, 2011. Mechanical parameters as predictors of performance in alpine World Cup slalom racing [J]. *Scand J Med Sci Sports*, 21(6): e72-e81.
- TESCH P A, 1995. Aspects on muscle properties and use in competitive alpine skiing [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 27(3): 310-314.
- TOMAZIN K, DOLENEC A, STROJNIK V, 2008. High-frequency fatigue after alpine slalom skiing [J]. *Eur J Appl Physiol*, 103(2): 189-194.
- VEICSTEINAS A, FERRETTI G, MARGONATO V, et al., 1984. Energy cost of and energy sources for alpine skiing in top athletes [J]. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, 56(5): 1187-1190.
- WHITE A, JOHNSON S, 1991. Physiological comparison of international, national and regional alpine skiers [J]. *Int J Sports Med*, 12(4): 374-378.
- WHITE G E, WELLS G D, 2015. The effect of on-hill active recovery performance between runs on blood lactate concentration and fatigue in alpine ski racers [J]. *J Strength Cond Res*, 29(3): 800-806.
- YOSHIOKA S, FUJITA Z, HAY D C, et al., 2018. Pose tracking with rate gyroscopes in alpine skiing [J]. *Sports Engineering*, 21(3): 177-188.
- YU G, JANG Y J, KIM J, et al., 2016. Potential of IMU Sensors in performance analysis of professional alpine skiers [J]. *Sensors (Basel)*, doi: 10.3390/s16040463.
- ZEGLINKSI C M, SWANSON S C, SELF B, et al., 1998. Muscle activity in the slalom turn of alpine skiing and in-line skating [J]. *Int J Sports Med*, 19(7): 447-454.
- (收稿日期:2019-12-30; 修订日期:2020-12-18; 编辑:丁合)