



跨项目运动员越野滑雪长期训练运动能力变化 ——基于运动机能监控的研究

蔡旭旦^{1,8}, 毛丽娟², 张蓓^{7,8}, Rune Kjøsén Talsnes^{3,4}, Øyvind Sandbakk³, Tor-Arne Hetland⁴,
黎涌明², 冯连世⁹, 陈小平^{5,6*}

- (1. 南京师范大学 体育科学学院, 江苏 南京 210023; 2. 上海体育学院 体育教育训练学院, 上海 200438;
3. 挪威科技大学 竞技体育研究中心, 挪威 特隆赫姆 7491; 4. 梅尔克高中, 挪威 特隆赫姆 7530;
5. 国家体育总局体育科学研究所, 北京 100061; 6. 宁波大学 体育学院, 浙江 宁波 315211;
7. 国家体育总局冬季运动管理中心, 北京 100763; 8. 中国奥委会奥运备战办公室, 北京 100763;
9. 国家体育总局社会体育指导中心, 北京 100763)

摘要:目的:探究跨项目运动员参与越野滑雪长期训练后一般运动机能和越野滑雪专项能力(即“运动能力”)的变化情况,以及跨项目运动员参与越野滑雪专项训练的可行性和训练有效性;使用世界高水平越野滑雪运动生理机能评定体系对我国运动员进行系统测试,帮助我国在较短时间内选拔高潜力越野滑雪运动员以备战2022年北京冬奥会。方法:2018年11月—2019年5月,在挪威梅尔克滑雪学校集训的24名跨项目运动员分别于2018年11月、2019年2月、2019年5月进行3次运动生理机能和越野滑雪专项运动能力评定测试,使用重复方差分析进行运动员自身比较。结果:6个月训练中,跨项目运动员的最大摄氧量速度(velocity of oxygen uptake volume, $v\dot{V}O_{2max}$)、次最大强度周期长度(cycle length, CL)、乳酸阈功率(onset of blood lactate accumulation power, OBLA Power)、摄氧量峰值速度(velocity of peak oxygen uptake volume, $v\dot{V}O_{2peak}$)、30 s平均功率、5 min平均功率和坐姿下拉最大力量等指标显著提升($P<0.05$)。结论:6个月训练中,跨项目运动员的越野滑雪专项技术动作经济性、专项滑行运动表现、专项最大做功能力、专项持续做功能力和专项最大力量等运动能力得到显著提升,充分说明了跨项目运动员参与越野滑雪专项训练的可行性和训练有效性;建议我国越野滑雪国家集训队建立定期、全面的运动生理机能评估体系,以监控跨项目运动员的一般和专项运动能力发展情况。

关键词:越野滑雪;跨项目选材;冬奥会;运动机能监控

中图分类号:G808.1

文献标识码:A

越野滑雪作为冬季奥运会中的基础大项,有着“雪上田径”的美誉。2022年北京冬奥会(以下简称“北京冬奥会”)越野滑雪将进行12个项目的比拼,与越野滑雪相关联的比赛项目总数达26项,占北京冬奥会所有比赛项目的23.8%,这也体现了越野滑雪在冬季运动中的重要地位。在2018年平昌冬奥会中,我国4名运动员参与了越野滑雪10个项目的比赛,个人单项比赛最好成绩仅为女子10 km自由式第36名,体现出我国越野滑雪项目竞技水平与世界先进水平存在差距,整体竞技实力亟待提升。

在比赛特征上,越野滑雪12个项目的比赛时间跨度非常大,项目分布于短距离比赛(比赛距离:1.3~1.8 km,用时:<3 min)到超长距离比赛(比赛距离:≤50 km,用

时:>2 h)之间(Sandbakk et al., 2017)。此外,运动员在越野滑雪比赛中需要根据不断变化的比赛场地地形不断调整自己的滑行速度、做功功率、代谢强度和技术动作(Andersson et al., 2017; Bolger et al., 2015; Haugnes et al., 2019; Karlsson et al., 2018; Losnegard, 2019; Sandbakk et al., 2011a, 2016b)。因此,高水平越野滑雪运动

收稿日期:2020-10-21; **修订日期:**2021-05-21

基金项目:国家重点研发计划“科技冬奥”重点专项课题(2018YFF0300901); 国家社会科学基金项目(19BTY099); 国家体育总局体育科学研究所基本业务费资助项目(基本18-20); 国家留学基金资助项目(201808310192)。

第一作者简介:蔡旭旦(1993-),男,讲师,博士,主要研究方向为运动生理学与运动训练, E-mail: caixudan257@qq.com。

通讯作者简介:陈小平(1956-),男,教授,博士,博士研究生导师,主要研究方向为运动训练, E-mail: chenxiaoping@ciss.cn。

员需要具备良好的有氧供能能力、无氧供能能力、速度素质、力量素质以及特定的技战术执行能力(Holmberg, 2015; Losnegard, 2019; Sandbakk et al., 2017)。相关研究表明,越野滑雪运动员的滑行总效率(Gross Efficiency, GE)是决定其比赛表现的关键因素(Ainegren et al., 2013; Sandbakk et al., 2010, 2011b, 2012, 2013),高水平越野滑雪运动员通常会表现出更长的动作周期长度(cycle length, CL)和更低的动作周期频率(cycle rate, CR),也表现出更好的滑行推进效果(Sandbakk et al., 2010, 2017)。

为了实现北京冬奥会“办赛精彩、参赛出彩”的备战目标,我国开展了越野滑雪“跨项目选材”计划(蔡旭旦等, 2020; 黎涌明等, 2018; 田麦久等, 2018)。尽管单个运动员的跨项目转移在运动训练实践中是经常发生的,但是如此有规模地组织跨项目运动员参与越野滑雪专项训练在我国尚未有先例报道(蔡旭旦, 2020; 黎涌明等, 2017; Bullock et al., 2009; Halson et al., 2006; Talsnes et al., 2020)。因此,本研究的主要目的是探究跨项目运动员参与越野滑雪长期训练后一般运动机能和越野滑雪专项能力(即“运动能力”)的变化情况,以及跨项目运动员参与越野滑雪专项训练的可行性和训练有效性。在创新和实践价值方面,本研究在国内率先使用世界高水平的越野滑雪运动生理机能评定体系对我国运动员进行系统测试,在实践上能够帮助我国在较短时间内选拔出高潜力越野滑雪运动员备战2022年北京冬奥会。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

以2018年11月—2019年5月在挪威梅尔克滑雪学校进行越野滑雪专项集训的越野滑雪国家集训队24名跨项目运动员为研究对象,其中15名运动员的原运动项目为中长跑,9名运动员的原运动项目为皮划艇或赛艇(表1)。参与本研究前,上述运动员已经进行了2个月的越野滑雪专项适应训练,掌握了基本滑行技能。在本研究所有分析中,原中长跑、皮划艇和赛艇运动员均混合在一起进行分析。所有运动员均在其原专项中取得二级及二级以上的运动水平。测试前所有运动员均知晓本研究的目的,了解测试流程和注意事项,均自愿参加本研究并签署知情同意书。

1.2 研究方法

1.2.1 测试方案

24名跨项目运动员分别于2018年11月(测试1)、2019年2月(测试2)和2019年5月(测试3)在挪威梅尔克滑雪学校实验室进行3次运动生理机能和越野滑雪专项运动能力评定测试。具体测试方案如下:

1.2.1.1 热身流程

所有运动员在测试前均执行标准化的热身流程,所有热身活动均在专业的体能教练监督下完成。热身流程包

括:在跑步机(Nordic Track, Icon Fitness, 美国)上低强度慢跑10 min[自感努力程度(rating of perceived exertion, RPE)=2],随后完成10次俯卧撑,5次原地下蹲跳跃。

表1 跨项目运动员基本信息

参数	M±SD		
	整体	男子	女子
人数	24	15	9
年龄/岁	19.2±1.8	18.7±1.5	19.9±2.2
身高/cm	174.9±10.2	179.9±8.5	166.5±7.8
体重/kg	65.4±9.9	68.5±10.1	60.3±8.1
BMI/(kg·m ⁻²)	21.3±1.6	21.1±1.6	21.7±1.8
原项目训练年限/年	3.6±2.0	3.5±2.0	2.8±2.2

1.2.1.2 乳酸阈和最大摄氧能力测试(第1测试日)

运动员热身结束后,使用递增负荷测试法在跑步机(RL2500E, Rodby, 瑞典)上进行乳酸阈测试,以测试乳酸阈能力(Sjdin et al., 1982)。设置跑步机的倾斜角度为6°(10.5%),并在整个测试过程中维持这个角度。男运动员的测试起始速度为8 km/h,女运动员的测试起始速度为7 km/h。运动员在每一级速度上匀速跑动5 min,跑动结束后,间歇休息30 s。随后,跑步机速度提升1 km/h,进行下一级5 min跑步测试,如此循环。使用运动心率手表(Forerunner 935, Garmin, 美国)记录运动员测试过程中的心率变化(Talsnes et al., 2020)。在每一级的5 min跑步过程中,记录运动员最后30 s的心率水平。在每一级跑台测试结束后即刻,使用台式血乳酸测试仪(Biosen, EKF Industrial Electronics, 德国)测试运动员的血乳酸浓度,询问并记录运动员的RPE值。当运动员的血乳酸浓度大于4 mmol/L时停止测试,记录运动员当前的跑动速度和RPE值(Talsnes et al., 2020; Sjdin et al., 1982)。

在乳酸阈能力测试结束后,运动员休息5 min,随后继续在跑步机上进行最大摄氧量(maximal oxygen uptake volume, $\dot{V}O_{2max}$)测试,以测试最大摄氧能力(Ingjer, 1992; Sjdin et al., 1982; Talsnes et al., 2020)。在测试过程中,使用增强型气体交换仪(Oxycon Pro, Jaeger, 德国)测定运动员的 $\dot{V}O_{2max}$ 。同时,使用运动心率手表测定并记录运动员测试过程中的心率变化。 $\dot{V}O_{2max}$ 测试的跑步机倾斜角度设置为6°(10.5%),跑步机起始速度设置为低于乳酸阈速度1 km/h。开始测试后,每过1 min提升跑步机速度1 km/h,直至运动员力竭(Talsnes et al., 2020)。整个测试过程中,运动员持续佩戴换气面罩,以测定其摄氧量(oxygen uptake volume, $\dot{V}O_2$)。测试结束后即刻测定运动员血乳酸浓度,同时记录运动员的心率、RPE值、跑步机最终速度、最终速度阶段跑动时间、最大摄氧量绝对值(maximal oxygen uptake absolute volume, $\dot{V}O_{2max}$ Ab)和最大摄氧

量相对值(maximal oxygen uptake relative volume, $\dot{V}O_{2max}$ Rl) (Talsnes et al., 2020)。

1.2.1.3 专项乳酸阈、专项动作技术经济性和专项滑行运动表现测试(第2测试日)

在第1测试日结束后,运动员进行为期2天的调整训练,确保运动员身体机能完全恢复后进行第2测试日的相关测试(蔡旭旦, 2020)。运动员到达实验室后首先完成热身运动,随后使用递增负荷测试法在冰雪项目专用大跑台(RL5500, Rodby, 瑞典)上进行专项乳酸阈测试,以测试越野滑雪专项乳酸阈能力(Carlsson et al., 2014; Talsnes et al., 2020)。在测试前,运动员穿着越野滑雪夏季训练专用的滑轮装备(IDT Sports, Lena, 挪威),手持跑台专用测试手杖,佩戴头盔,进行测试。设置跑台初始坡度为 1° ,跑台传送速度为9 km/h,并且在整个专项乳酸阈测试过程中维持该速度。运动员使用固定的越野滑雪专项技术动作(一步一撑)在每一级上匀速滑行5 min,5 min滑行结束后间歇休息30 s。随后,跑台的角度提升 1° ,进行下一级5 min滑行测试,如此循环至测试结束(Carlsson et al., 2014; Talsnes et al., 2020)。使用运动心率手表记录运动员测试过程中的心率变化。在每一级的5 min滑行过程中,记录运动员最后30 s的心率水平。每一级5 min滑行结束后即刻,测定运动员血乳酸浓度,询问并记录运动员的RPE值。当运动员的血乳酸浓度大于4 mmol/L时停止测试,记录运动员当前的滑行角度和RPE值(Sjdin et al., 1982)。

在专项乳酸阈测试过程中,当跑台角度为 3° 时进行次最大强度测试,以测试运动员的越野滑雪专项技术动作经济性(Carlsson et al., 2014; Sandbakk et al., 2010)。在该级5 min滑行时间内,令运动员佩戴气体交换面罩,测定运动员在该跑台角度(3°)和速度(9 km/h)条件下的越野滑雪专项技术动作耗氧量(oxygen cost, O_{2cost})和心率水平(Carlsson et al., 2014; Sandbakk et al., 2010)。同时,使用高清摄像机(HDR-SR12E, Sony, 日本)从侧方拍摄运动员在该级滑行中第3~4分钟的滑行录像,用于计算运动员的CL、CR和周期时间(cycle time, CT)(Carlsson et al., 2014; Sandbakk et al., 2010)。

专项乳酸阈测试结束后,运动员休息5 min,随后继续在跑台上进行专项摄氧量峰值测试,以测试越野滑雪专项滑行运动表现(Sandbakk et al., 2011b)。在测试过程中,使用增强型气体交换仪测定运动员的摄氧量峰值(peak oxygen uptake volume, $\dot{V}O_{2peak}$)。 $\dot{V}O_{2peak}$ 测试的跑台倾斜角度设置为 4° ,跑步机起始速度设置为9 km/h(Sandbakk et al., 2011b)。开始测试后,测试人员每过1 min提升跑台速度1 km/h,直至运动员力竭。在整个测试过程中,运动员持续佩戴换气面罩,以测定运动员的 $\dot{V}O_2$ (Sandbakk et al., 2011b)。测试结束后即刻测定运动员血乳酸

浓度,同时记录运动员的心率、RPE值、跑台最终速度、最终速度阶段滑行时间、摄氧量峰值绝对值(peak oxygen uptake absolute volume, $\dot{V}O_{2peak}$ Ab)和摄氧量峰值相对值(peak oxygen uptake relative volume, $\dot{V}O_{2peak}$ Rl)(Talsnes et al., 2020)。

1.2.1.4 专项最大做功能力和专项持续做功能力测试(第3测试日)

在第2测试日结束后,运动员进行为期1天的调整训练,确保运动员身体机能完全恢复,接着进行第3测试日的相关测试(蔡旭旦, 2020)。在完成热身运动后,运动员在滑雪测功仪(Concept2 SkiErg, Morrisville VT, 美国)上使用同时推进技术(double poling, DP)进行30 s全力做功测试(温盖特测试),以测试越野滑雪专项最大做功能力(Hegge et al., 2015, 2016)。记录运动员在30 s内的平均输出功率和最大输出功率,并使用增强型气体交换仪测定运动员在整个测试过程中的 $\dot{V}O_2$ 。使用运动心率手表记录运动员整个滑雪测功仪测试过程中的心率变化。在测试完成后即刻记录运动员的心率和RPE值,测试运动员的血乳酸浓度(Hegge et al., 2016)。

运动员在完成专项最大做功能力测试后,休息5 min,随后进行5 min持续滑行测试,以测试越野滑雪专项持续做功能力(Hegge et al., 2015, 2016)。在整个测试过程中,要求运动员使用DP技术以稳定配速尽可能高功率地完成整个5 min的测功仪滑行,并使用增强型气体交换仪测定运动员在整个测试过程中的 $\dot{V}O_2$ 。测试完成后即刻测定运动员血乳酸浓度,记录运动员的心率和RPE值(Hegge et al., 2016)。

整个专项最大做功能力和专项持续做功能力测试过程中,设置滑雪测功仪的阻力为7档,保证运动员以合适的功率和强度完成测试。测试过程中运动员始终保持上身抬高的姿势,使用DP技术动作完成全部测试。运动员与滑雪测功仪之间的距离是固定的,并且在地上设置醒目的标识,以保证每一次测试的距离保持一致。运动员的输出功率由滑雪测功仪内置软件进行测量。

1.2.1.5 专项力量测试(第1测试日)

运动员在 $\dot{V}O_{2max}$ 测试后休息20 min,确保上肢肌肉能力充分恢复,随后开始专项力量测试,以测试越野滑雪专项最大力量和专项力量耐力(蔡旭旦, 2020; Losnegard et al., 2011; Talsnes et al., 2020)。

1.2.1.5.1 专项最大力量(1 repetition maximum, 1RM)测试的基本要求

1)1RM测试之前进行针对性的热身;2)第1次尝试的负重约等于预期1RM的95%负重;3)每完成1次规范动作的尝试后,重量增加1~5 kg,直到受试者经过2~3次尝试后无法按照标准完成规定动作时停止增加重量;4)每次测试动作之间休息2~4 min;5)所有1RM测试必须在同样的测试

器械上完成,每名运动员的身体姿势保持一致。

1.2.1.5.2 坐姿下拉最大力量测试

本动作开始前,运动员坐于板凳上,背部斜靠在卧推凳上,上身与地面倾斜角度约为45°。运动员手持负重绳索,肘关节呈90°弯曲,两手静止于额头前方,距离额头约10 cm高。随后,运动员向斜下方拉动负重绳索,双手移动至髋部位置。动作结束后,肘关节应保持微屈状态(约160°~170°),以模拟越野滑雪中的DP动作。只有当运动员一次性、无停顿地完成该坐姿下拉动作时,方可认定该动作符合标准(Losnegard et al., 2011)。

1.2.1.5.3 跪姿下拉最大力量测试

本动作开始前,运动员呈跪姿状态,上身立起,躯干距离测试器械约50 cm。运动员手持负重绳索,双手置于额前约20 cm的位置,肘关节弯曲(约90°~100°)。随后,运动员向下拉动绳索,伸肘关节,两手同时拉动绳索移动至髋关节。只有当运动员一次性、无停顿完成该跪姿下拉动作时,方可认定该动作符合标准(Losnegard et al., 2011)。

1.2.2 日常训练监控

2018年11月—2019年5月,本课题组跟随队伍进行日常训练数据的收集、记录工作,详细记录每一名运动员的训练计划安排和课次RPE。在6个月的训练结束后,研究者对跨项目运动员的训练完成情况进行统计,并比较前3个月与后3个月训练在训练计划执行情况上的差异,为阶段性生理机能测试结果评估提供训练学上的数据支撑(Borg, 1988; Egan et al., 2006)。

1.2.3 数理统计分析

使用IBM SPSS 17.0软件(SPSS Inc., 美国)和Excel 2013软件(Microsoft Corporation, 美国)对所有数据进行统计学处理,所有数据均采用均值±标准差(Mean±SD)形式呈现。在数据处理过程中,首先对数据进行正态分布检验和方差齐性检验,符合正态分布的数据进一步使用重复方差分析(Repeated-measures ANOVA)进行运动员自身比较(测试1、测试2和测试3)。以P<0.05为差异显著,P<0.01为差异非常显著。使用Cohen's d公式计算6个月越野滑雪专项训练前后测试变化指标的效应量(effect size, ES),ES值的评价标准如下:0<ES≤0.2:微小效应,0.2<ES≤0.6:小效应,0.6<ES≤1.2:中等效应,1.2<ES≤2.0:大效应,>2.0:极大效应(Cohen, 1988; Hopkins et al., 2009)。本研究使用的Cohen's d公式如下所示:

$$ES值 = \frac{平均值1 - 平均值2}{合并后的标准差}$$

2 研究结果

2.1 训练信息统计

据本研究统计,在6个月训练中,跨项目运动员在训练形式上以北欧地区传统的越野滑雪专项训练为主(92.5%)。在训练强度上,低强度训练(low intensity train-

ing, LIT)占比较高(84.8%),中等强度训练(moderate intensity training, MIT)和高强度训练(high intensity training, HIT)占比较低(4.2%、11.0%),呈现出两极化的训练时间分布趋势。在训练模式上,以跑步(34.3%)、滑雪(61.0%)等训练形式为主。

表2是跨项目运动员前3个月(测试1到测试2之间)与后3个月(测试2到测试3之间)的训练信息统计汇总。结果显示,与前3个月的训练相比,跨项目运动员后3个月的总训练天数和总训练时间显著降低(P<0.01)。此外,与前3个月训练相比,跨项目运动员后3个月的传统越野滑雪训练、越野滑雪专项小练习、耐力训练、力量训练、速度训练、LIT和MIT训练时间显著降低(P<0.01)。

表2 跨项目运动员前3个月、后3个月越野滑雪专项训练信息统计
Table 2 Cross-country Skiing Training Program of the First 3 Months and the Last 3 Months

参数	前3个月		后3个月	
	时间	占比/%	时间	占比/%
总训练日/天	76±3	83.1±2.8	63±4 ^{&&}	70.9±3.4 ^{&&}
总休息日/天	14±1	15.2±1.0	23±2 ^{&&}	25.6±2.3 ^{&&}
总生病、受伤日/天	2±2	1.7±2.6	3±2 ^{&}	3.4±2.4 ^{&}
总训练时间/h	203±10	100	175±14 ^{&&}	100
整体训练形式分布				
传统越野滑雪训练/h	186±7	91.3±1.4	164±10 ^{&&}	93.7±4.3 ^{&&}
越野滑雪专项小练习/h	18±3	8.7±1.4	12±8 ^{&&}	6.3±4.3 ^{&&}
传统越野滑雪训练形式分布				
耐力/h	148±5	79.8±1.1	138±8 ^{&&}	84.1±1.5 ^{&&}
力量/h	27±2	14.4±1.0	19±2 ^{&&}	11.6±1.2 ^{&&}
速度/h	11±1	5.8±0.4	7±1 ^{&&}	4.2±0.5 ^{&&}
传统越野滑雪训练耐力训练强度分布				
LIT/h	125±5	84.2±0.6	117±7 ^{&&}	84.9±0.8 ^{&&}
MIT/h	7±1	5.0±0.5	5±1 ^{&&}	3.6±0.6 ^{&&}
HIT/h	16±1	10.8±0.5	16±2	11.5±0.8 ^{&&}
传统越野滑雪训练耐力和速度训练动作模式分布				
跑步/h	61±3	38.1±1.5	40±4 ^{&&}	27.7±2.1 ^{&&}
自由式滑雪/h	59±4	37.0±1.6	53±3 ^{&&}	36.7±2.1
传统式滑雪/h	36±2	22.7±0.9	42±5 ^{&&}	29.1±3.4 ^{&&}
自由式滑轮/h	2±0	1.4±0.1	6±2 ^{&&}	3.8±1.2 ^{&&}
传统式滑轮/h	1±1	0.8±0.3	4±2 ^{&&}	2.8±1.2 ^{&&}

注:越野滑雪专项小练习:特指跨项目运动员每周周一至周五早晨进行的越野滑雪专项技术动作模仿练习;LIT:血乳酸浓度小于2.5 mmol/L,心率低于81% HR_{max};MIT:血乳酸浓度2.5~4.0 mmol/L,心率81~87% HR_{max};HIT:血乳酸浓度4.0~10.0 mmol/L,心率大于87% HR_{max};与前3个月训练相比,&表示P<0.05,&&表示P<0.01。

2.2 乳酸阈和最大摄氧能力测试结果

表3是跨项目运动员乳酸阈和最大摄氧能力测试结果汇总。在乳酸阈能力测试结果中,与测试1相比,跨项

目运动员在测试2的乳酸阈速度、乳酸阈功率和乳酸阈心率等指标上显著下降($P < 0.01$)。但是,上述3个指标在测试3中与测试1相比均无显著性差异。同时,上述3个

指标的6个月越野滑雪专项训练前后变化ES值处于微小效应区间范围。

表3 跨项目运动员乳酸阈和最大摄氧能力测试结果(蔡旭旦, 2020; Talsnes et al., 2020)

Table 3 Results of Lactate Threshold Test and Maximal Oxygen Uptake Capability Test of TTs (蔡旭旦, 2020; Talsnes et al., 2020)

测试指标	测试1	测试2	测试3	测试1-3 ES
乳酸阈能力测试结果				
乳酸阈速度/($m \cdot s^{-1}$)	2.68 ± 0.30	2.57 ± 0.26**	2.70 ± 0.29	0.07
乳酸阈功率/W	126.3 ± 25.0	121.3 ± 24.2**	128.3 ± 24.6	0.08
乳酸阈心率/(次· min^{-1})	174.1 ± 10.9	171.1 ± 11.1**	175.1 ± 8.8	0.11
乳酸阈RPE	5.1 ± 1.2	5.3 ± 1.6	5.4 ± 1.1	0.30
最大摄氧能力测试结果				
$v\dot{V}O_{2max}$ /($m \cdot s^{-1}$)	4.05 ± 0.43	4.18 ± 0.37**	4.16 ± 0.35*	0.28
$\dot{V}O_{2max}$ Ab/($L \cdot min^{-1}$)	4.22 ± 0.84	4.34 ± 0.84**	4.26 ± 0.76	0.05
$\dot{V}O_{2max}$ RI/($mL \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$)	64.4 ± 7.5	66.3 ± 7.4**	65.0 ± 7.3	0.08
最大呼吸交换率	1.13 ± 0.04	1.15 ± 0.03#	1.13 ± 0.04	0.00
最大血乳酸浓度/($mmol \cdot L^{-1}$)	10.2 ± 2.7	11.2 ± 1.6	11.4 ± 1.9#	0.51
最大心率/(次· min^{-1})	193 ± 9	194 ± 9	194 ± 8	0.12
最大RPE(1~10)	8.0 ± 1.7	8.9 ± 1.2*	8.7 ± 1.2#	0.47

注:与测试1测试结果相比,*表示 $P < 0.05$,**表示 $P < 0.01$,#表示存在显著性差异的趋势但是不显著, $0.05 \leq P \leq 0.1$,下同。

在最大摄氧能力测试结果中,与测试1相比,跨项目运动员的 $v\dot{V}O_{2max}$ 在测试2和测试3中均有显著提升(测试2, $P < 0.01$; 测试3, $P < 0.05$),该指标的6个月越野滑雪专项训练前后变化ES值处于小效应区间范围。与测试1相比,跨项目运动员的 $\dot{V}O_{2max}$ Ab和 $\dot{V}O_{2max}$ RI在测试2中均显著提升($P < 0.01$),在测试3中有所提升但是没有显著性差异。同时,这2个指标的6个月越野滑雪专项训练前后变化ES值处于微小效应区间范围。

2.3 专项乳酸阈、专项技术动作经济性和专项滑行运动表现测试结果

表4是跨项目运动员越野滑雪专项乳酸阈、专项技术动作经济性和专项滑行运动表现测试结果。在专项乳酸阈和专项技术动作经济性测试结果中,与测试1相比,跨项目运动员在测试3中次最大强度测试的氧气消耗量绝对值(oxygen cost absolute volume, O_{2cost} Ab)、氧气消耗量相对值(oxygen cost relative volume, O_{2cost} RI)、呼吸交换率(respiratory exchange rate, RER)、心率(heart rate, HR)、血乳酸浓度(blood lactate concentration, BLA)、GE、CL、CR和CT,以及乳酸阈功率(onset of blood lactate accumulation power, OBLA Power)和乳酸阈倾斜角度(onset of blood lactate accumulation incline, OBLA Incline)等指标均显著下降($P < 0.01$)。在上述指标中,次最大强度心率、次最大强度RPE、次最大强度CT、OBLA Power和OBLA Incline等指标的6个月越野滑雪专项训练前后变化ES值处于中等效应区间范围。次最大强度BLA、次最大强度CL和次最大强度CR等指标的6个月越野滑雪专项训练前后变化ES值处于大效应区间范围。

在专项滑行运动表现测试结果中,跨项目运动员测试2、测试3的 $v\dot{V}O_{2peak}$ 和摄氧量峰值功率(power at peak oxygen uptake volume, $\dot{V}O_{2peak}$ Power)均显著提升($P < 0.01$)。同时,这2个指标的6个月越野滑雪专项训练前后变化ES值处于大效应的区间范围。与测试1相比,跨项目运动员的 $\dot{V}O_{2peak}$ Ab和 $\dot{V}O_{2peak}$ RI在测试2中显著提升($P < 0.05$),但是在测试3中无显著性变化。此外,上述2个指标的6个月越野滑雪专项训练前后变化ES值处于微小效应区间范围。

与测试1相比,跨项目运动员在测试2、测试3的专项滑行运动表现测试最大BLA、最大心率和最大RPE等指标上连续显著提升($P < 0.05$)。在上述3个指标中,最大BLA和最大心率的6个月越野滑雪专项训练前后变化ES值处于中等效应区间范围;最大RPE的6个月越野滑雪专项训练前后变化ES值处于大效应区间范围。

图1 A、B、C是跨项目运动员越野滑雪专项技术动作经济性关键指标变化结果。由图可见,与测试1相比,跨项目运动员在测试2的次最大强度 O_{2cost} Ab、次最大强度 O_{2cost} RI、次最大强度心率和次最大强度BLA等指标中表现出下降趋势,但是无显著性差异;在测试3中,跨项目运动员在上述4个指标上与测试1相比显著下降($P < 0.01$)。与测试1相比,跨项目运动员在测试2、测试3的次最大强度CL和次最大强度CT等指标上连续显著提升($P < 0.01$)。图1 D是跨项目运动员越野滑雪专项滑行运动表现关键指标变化结果。由图可见,与测试1相比,跨项目运动员在测试2、测试3的 $v\dot{V}O_{2peak}$ 和 $\dot{V}O_{2peak}$ Power等指标上连续显著提升($P < 0.01$)。

表4 越野滑雪专项乳酸阈、专项技术动作经济性和专项滑行运动表现测试结果(蔡旭旦, 2020; Talsnes et al., 2020)

Table 4 Results of Cross-country Skiing Specific Lactate Threshold Test, Specific Movement Economy Test and Specific Movement Performance Test of TTs (蔡旭旦, 2020; Talsnes et al., 2020)

测试指标	测试1	测试2	测试3	测试1-3 ES
专项乳酸阈和专项技术动作经济性测试结果				
次最大强度 $\dot{V}O_{2cost} Ab/(L \cdot \min^{-1})$	2.86±0.44	2.83±0.41	2.74±0.41**	0.28
次最大强度 $\dot{V}O_{2cost} RI/(mL \cdot \min^{-1} \cdot kg^{-1})$	43.8±4.0	43.3±3.1	42.0±3.0**	0.51
次最大强度 RER	0.95±0.05	0.95±0.04	0.92±0.04**	0.22
次最大强度心率/(次·min ⁻¹)	164±12	163±13	157±11**	0.61
次最大强度 BLA/(mmol·L ⁻¹)	3.4±1.0	3.2±0.9	2.3±0.8**	1.21
次最大强度 RPE(1~10)	3.4±0.7	3.3±0.8	2.9±0.8 [‡]	0.66
次最大强度 GE/%	12.8±1.1	12.8±1.0	13.4±0.9**	0.59
次最大强度 CL/m	5.10±0.40	5.69±0.48**	5.76±0.51**	1.44
次最大强度 CR/Hz	0.49±0.04	0.44±0.04**	0.44±0.04**	1.25
次最大强度 CT/s	2.04±0.16	2.28±0.20**	2.31±0.21**	1.16
OBLA Power/W	140±36	138±32	165±35**	0.70
OBLA Incline/°	3.44±0.74	3.46±0.72	4.30±0.74**	1.01
专项滑行运动表现测试结果				
$v\dot{V}O_{2peak}/(m \cdot s^{-1})$	3.85±0.26	4.19±0.35**	4.35±0.37**	1.56
$\dot{V}O_{2peak} Power/(W)$	241±45	261±46**	270±47**	1.54
$\dot{V}O_{2peak} Ab/(L \cdot \min^{-1})$	3.93±0.75	4.07±0.73 [‡]	4.02±0.73	0.12
$\dot{V}O_{2peak} RI/(mL \cdot \min^{-1} \cdot kg^{-1})$	60.0±6.1	62.1±7.1**	61.3±7.2	0.19
最大 RER	1.09±0.04	1.09±0.04	1.11±0.05 [#]	0.44
最大 BLA/(mmol·L ⁻¹)	8.6±2.1	9.8±1.8 [‡]	10.0±2.2**	0.65
最大心率/(次·min ⁻¹)	189±9	192±8**	191±7 [‡]	0.24
最大 RPE(1~10)	6.5±1.4	8.5±1.5**	8.7±1.5**	1.41

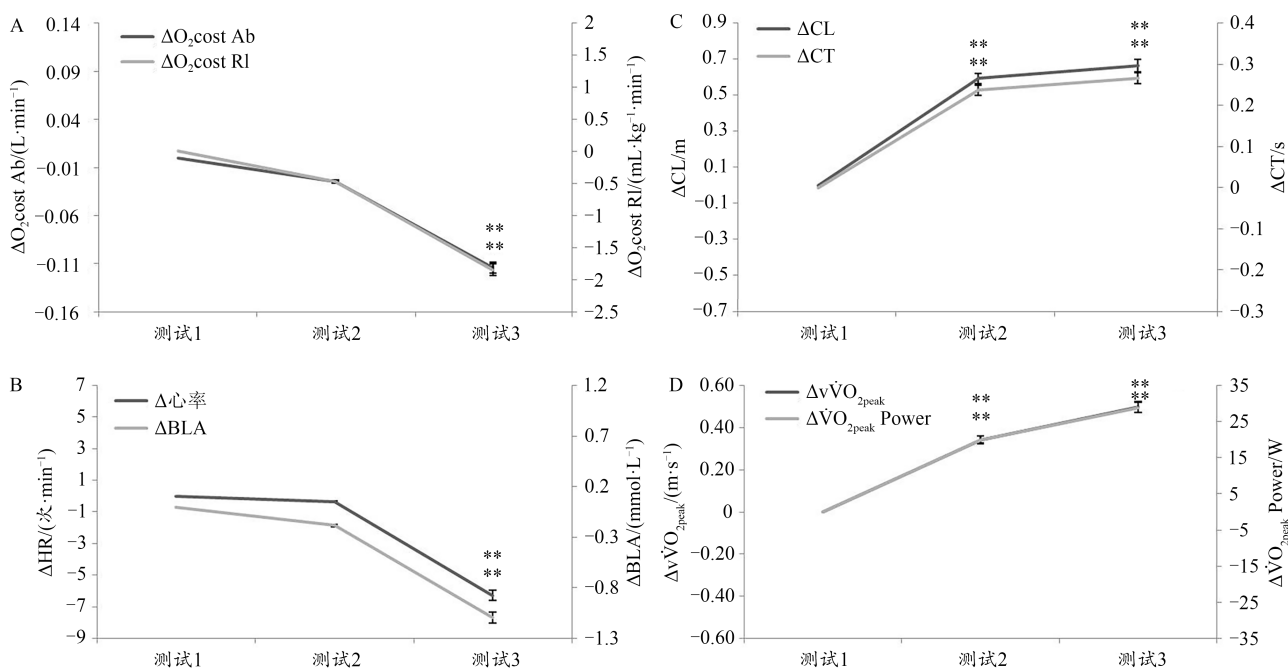


图1 跨项目运动员越野滑雪专项技术动作经济性(A、B、C)和专项滑行运动表现(D)关键指标变化结果

Figure 1. The Key Indicators of Cross-country Skiing Specific Movement Economy Test (A、B、C) and Specific Movement Performance Test (D) of TTs

2.4 专项最大做功能力、专项持续做功能力和专项力量测试结果

表5是跨项目运动员越野滑雪专项最大做功能力、专项持续做功能力和专项力量测试结果。在专项最大做功能力测试结果中,与测试1相比,跨项目运动员在测试2、

测试3的30 s平均功率、30 s最大功率、30 s平均相对功率、30 s最大相对功率、30 s最大距离和30 s RPE等指标中连续显著提升($P < 0.05$)。其中,30 s平均功率指标的6个月越野滑雪专项训练前后变化ES值处于中等效应区间范围。

表5 跨项目运动员越野滑雪专项最大做功能力、专项持续做功能力和专项力量测试结果(蔡旭旦, 2020; Talsnes et al., 2020)

测试指标	测试1	测试2	测试3	测试1-3 ES
专项最大做功能力测试结果				
30 s 平均功率/W	332±86	342±84*	394±100**	0.66
30 s 最大功率/W	394±100	434±147*	425±127**	0.27
30 s 平均相对功率/(W·kg ⁻¹)	5.02±0.82	5.18±0.86*	5.25±0.90**	0.27
30 s 最大相对功率/(W·kg ⁻¹)	5.97±0.96	6.57±1.87*	6.40±1.41**	0.36
30 s 最大距离/m	146.2±13.2	147.8±13.0*	148.1±13.1**	0.15
30 s 最大心率/(次·min ⁻¹)	160±14	162±13	162±8	0.16
30 s BLA/(mmol·L ⁻¹)	7.5±1.3	7.8±1.4	7.6±1.5	0.10
30 s RPE	5.5±1.9	6.3±2.2*	6.3±2.0*	0.38
专项持续做功能力测试结果				
5 min 平均功率/W	196±43	207±43**	211±45**	0.34
5 min 最大功率/W	265±59	276±59	273±56	0.14
5 min 平均相对功率/(W·kg ⁻¹)	2.99±0.41	3.14±0.44**	3.20±0.44**	0.49
5 min 最大相对功率/(W·kg ⁻¹)	4.03±0.62	4.18±0.55	4.14±0.61	0.19
5 min 最大距离/m	1 230±96	1 252±94**	1 258±95**	0.29
5 min 最大心率/(次·min ⁻¹)	181±10	183±8	181±7	0.00
5 min BLA/(mmol·L ⁻¹)	12.5±1.9	13.0±2.6	12.7±2.5	0.09
5 min RPE	7.7±1.8	8.4±1.5*	8.6±0.9*	0.63
5 min $\dot{V}O_{2peak}$ Ab/(L·min ⁻¹)	3.76±0.83	3.83±0.78	3.86±0.76*	0.12
5 min $\dot{V}O_{2peak}$ RI/(mL·min ⁻¹ ·kg ⁻¹)	57.3±8.3	58.3±8.5	58.7±7.2#	0.18
5 min RER	1.03±0.05	1.05±0.04#	1.03±0.04	0.00
专项力量测试结果				
坐姿下拉最大力量/kg	57.8±11.1	62.3±12.0**	64.2±11.7**	0.56
跪姿下拉最大力量/kg	60.5±11.4	65.4±11.3**	66.6±11.5**	0.53
最大引体向上次数/次	9.1±4.3	11.5±5.3**	12.7±5.6**	0.68
最大屈臂撑起次数/次	17.6±8.4	23.3±10.4**	24.6±9.2**	0.75

在专项持续做功能力测试结果中,与测试1相比,跨项目运动员在测试2、测试3的5 min平均功率、5 min平均相对功率、5 min最大距离和5 min RPE等指标上连续显著提升($P<0.01$)。其中,5 min RPE指标的6个月越野滑雪专项训练前后变化ES值处于中等效应区间范围。

在专项力量测试结果中,与测试1相比,跨项目运动员在测试2、测试3的坐姿下拉最大力量、跪姿下拉最大力量、最大引体向上次数和最大屈臂撑起次数等指标上连续显著提升($P<0.01$)。其中最大引体向上次数和最大屈臂撑起次数等指标的6个月越野滑雪专项训练前后变化ES值处于中等效应区间范围。

3 讨论

3.1 训练信息结果讨论

整体上看,跨项目运动员在6个月越野滑雪专项训练过程中执行的是北欧地区传统的越野滑雪训练方案,训练负荷结构有着较为明显的两极化趋势,有助于运动员发展有氧能力(陈小平等, 2014; 褚云芳等, 2014)。与

世界顶级越野滑雪运动员的年度训练计划相比,跨项目运动员6个月越野滑雪专项训练计划的总时间略低于世界顶级越野滑雪运动员6个月训练总时间(387 h vs. 400 h)(蔡旭旦等, 2021; Sandbakk et al., 2017)。在不同强度训练分布比例上,与世界顶级越野滑雪运动员年度训练计划相比,跨项目运动员的LIT比例相对较高(81.9% vs. 72.5%),而MIT和HIT的分布比例相对较低(4.2% vs. 12.5%; 11.0% vs. 15.0%)。以上现象出现的原因,可能与跨项目运动员的越野滑雪专项技术动作不够成熟,需要大量的低强度滑行训练以提升各项技术动作的熟练程度有关(陈小平等, 2006, 2014)。这一训练安排也与跨项目运动员在6个月训练中重点提升越野滑雪专项技术动作水平的训练目标相一致。

在训练负荷分布上,与后3个月的训练安排相比,跨项目运动员在前3个月的训练中表现出更高的训练总量和训练负荷。在滑雪训练总时间上,跨项目运动员在两个训练阶段基本相同,这也可能是跨项目运动员在6个月训练中越野滑雪专项技术动作经济性显著提升的原因之

一(陈小平, 2006)。以上现象可以说明,长时间、低强度的持续滑雪训练可能是提升跨项目运动员越野滑雪专项技术动作经济性的有效方式之一。

3.2 乳酸阈和最大摄氧能力测试结果讨论

跨项目运动员乳酸阈能力测试结果表明,前3个月跨项目运动员的乳酸阈做功能力得到了有效提升,但是该能力在后3个月无显著性变化。以上现象出现的原因,可能与后3个月跨项目运动员训练总时间减少,以及耐力训练、低强度训练和跑步训练时间大幅度降低有关(陈小平, 2006)。

跨项目运动员最大摄氧能力测试结果表明,前3个月的训练中跨项目运动员的最大摄氧能力得到了有效提升,但是该能力在后3个月无显著性变化。以上现象出现的原因,可能与跨项目运动员前3个月的总训练时间、耐力训练、低强度训练和跑步训练总时间较后3个月更长有关(陈小平等, 2013; 褚云芳等, 2014)。建议我国跨项目运动员在未来训练中除完成越野滑雪专项训练以外,还需要重视执行跑步训练,以维持和提升最大摄氧能力。

在测试指标的效应量方面,乳酸阈和最大摄氧能力测试的11个指标均处于小效应及以下范围,说明这些指标仅能在一定程度上反映6个月越野滑雪专项训练对于跨项目运动员的积极影响。

与世界顶级越野滑雪运动员的 $\dot{V}O_{2max} RI$ 和 $\dot{V}O_{2max} Ab$ 相比[男子:(84.3 ± 5.2)ml/(kg·min)、(6.4 ± 0.6)L/min;女子:(67.4 ± 1.7)ml/(kg·min)、(4.1 ± 0.31)L/min]跨项目运动员[男子:(71.4 ± 3.6)ml/(kg·min)、(4.9 ± 0.6)L/min;女子:(57.8 ± 3.4)ml/(kg·min)、(3.5 ± 0.4)L/min]仍存在较大差距(Tønnessen et al., 2015)。以上现象说明,我国跨项目运动员的最大摄氧能力(特别是最大绝对摄氧能力)与世界顶级越野滑雪运动员相比差距明显,需要进行长期针对性训练,以从心肺摄氧量能力、氧气运输能力和肌肉组织利用氧气能力等多方面提升最大摄氧能力。

3.3 专项乳酸阈、专项技术动作经济性和专项滑行运动表现测试结果讨论

跨项目运动员越野滑雪专项乳酸阈和专项技术动作经济性测试结果表明,在6个月训练中跨项目运动员的专项技术动作水平大幅提升,专项技术动作经济性和做功效率大幅提高。以上现象出现的主要原因,可能与6个月训练中跨项目运动员完成了358 h左右的传统越野滑雪训练,以及近30 h的越野滑雪专项小练习训练有关(陈小平, 2006, 2014)。充足的专项滑雪训练时间和越野滑雪专项技术动作模仿练习,确保了跨项目运动员能够不断提升越野滑雪专项技术动作水平(陈小平, 2006)。

跨项目运动员专项滑行运动表现测试结果表明,在6个月训练后,跨项目运动员越野滑雪专项最大做功能力和最大做功功率均大幅提高。以上现象出现的原因,可

能与6个月训练中跨项目运动员的越野滑雪专项力量以及专项技术动作水平大幅提升有关(陈小平, 2006; 陈小平等, 2014)。

在测试指标的效应量方面,次最大强度BLA、次最大强度CL、次最大强度CT、 $v\dot{V}O_{2peak}$ 、 $\dot{V}O_{2peak}$ Power和最大RPE等指标能够较为准确地反映跨项目运动员6个月训练中越野滑雪专项动作技术水平和专项滑行能力的提升情况,可以作为评估跨项目运动员越野滑雪专项滑行能力提升的重要指标。

与世界顶级越野滑雪运动员的 $\dot{V}O_{2peak} Ab$ 和 $\dot{V}O_{2peak} Power$ [男子:(5.88 ± 0.4)L/min、(347 ± 29)W;女子:(4.24 ± 0.24)L/min、(208 ± 16)W]相比,我国跨项目运动员[男子:(4.5 ± 0.4)L/min、(180 ± 36)W;女子:(3.3 ± 0.5)L/min、(140 ± 17)W]差距明显(Sandbakk et al., 2010, 2014, 2016a)。其原因可能与我国跨项目运动员越野滑雪专项肌群肌肉力量不足和专项技术水平不高有关(蔡旭旦, 2020; 张蓓等, 2020)。建议我国跨项目运动员在未来应继续坚持越野滑雪专项训练,并且执行有针对性的专项力量训练和营养摄入计划,以提升专项肌群肌肉力量和专项滑行运动表现,进而提升比赛表现。

3.4 专项最大做功能力、专项持续做功能力和专项力量测试结果讨论

跨项目运动员越野滑雪专项最大做功能力和专项持续做功能力测试结果表明,在6个月训练中跨项目运动员DP技术动作模式下的30 s最大做功能力和长时间持续做功能力均显著提升。以上现象出现的原因,可能与跨项目运动员在6个月训练中接受了358 h左右的传统越野滑雪训练和接近50 h的越野滑雪专项力量训练有关(陈小平, 2006, 2014)。长时间的专项滑雪训练和专项力量训练有效提升了跨项目运动员专项肌群的肌肉力量和专项技术动作水平,进而提升了跨项目运动员的专项最大做功能力和专项持续做功能力(陈小平, 2006)。

跨项目运动员专项力量测试结果表明,在6个月训练中跨项目运动员的越野滑雪专项肌群最大力量和力量耐力水平显著提升。以上现象出现的原因,可能与跨项目运动员在6个月训练中进行了大量的专项滑雪训练和专项力量训练有关(陈小平, 2006; 陈小平等, 2014; 褚云芳等, 2014)。长时间的专项滑雪训练和专项力量训练,提升了跨项目运动员肩部肌群、背阔肌和肱三头肌等越野滑雪专项肌群的肌肉力量和协调发力能力,进而提升了跨项目运动员的专项力量水平(张蓓等, 2020)。

在测试指标的效应量方面,30 s平均功率、最大引体向上次数和最大屈臂撑起次数等3个指标能够较好地反映跨项目运动员6个月训练中越野滑雪专项能力的提升效应。

与世界顶级越野滑雪运动员30 s平均功率和坐姿下

拉最大力量测试结果[男子:(440±128)W、(98.2±15.8)kg; 女子:(220±50)W、(34±2)kg]相比,我国跨项目男运动员[(398±60)W、(69.1±10.9 kg)]差距明显,跨项目女运动员[(398±60)W、(56.1±9.4 kg)]接近甚至优于世界优秀越野滑雪女子运动员(Faiss et al., 2015; Øfsteng et al., 2018; Østerås et al., 2016; Skattebo et al., 2016)。以上现象出现的原因可能与我国跨项目男运动员在全身肌肉质量和专项肌群力量上与世界顶级越野滑雪运动员差距较大有关(蔡旭旦, 2020; 张蓓等, 2020)。建议我国跨项目运动员,特别是男子跨项目运动员,在未来应执行针对性的专项力量训练和营养补充计划,以提升越野滑雪专项肌群的肌肉质量和专项最大做功能力。

4 结论与建议

4.1 结论

1) 在6个月的越野滑雪专项训练过程中,跨项目运动员的专项技术动作经济性、专项滑行运动表现、专项最大做功能力、专项持续做功能力、专项最大力量和专项力量耐力等运动能力均显著提升,充分说明了跨项目运动员参与越野滑雪专项训练的可行性和训练有效性。

2) 追踪测试发现,次最大强度BLA、次最大强度CL、次最大强度CR、 $v\dot{V}O_{2peak}$ 、 $v\dot{V}O_{2peak}$ Power和最大RPE等指标可以作为评估跨项目运动员越野滑雪专项滑行能力进步的重要指标。

3) 与世界顶级越野滑雪运动员相比,跨项目运动员在最大摄氧能力、专项技术动作水平、专项峰值摄氧能力、专项持续做功功率和专项最大力量等运动能力上差距明显。

4.2 建议

1) 建议我国越野滑雪国家集训队应建立定期、全面的运动生理机能评估体系,以监控跨项目运动员的一般运动能力和越野滑雪专项运动能力发展情况。同时,建议教练团队将次最大强度BLA、次最大强度CL、次最大强度CR、 $v\dot{V}O_{2peak}$ 、 $v\dot{V}O_{2peak}$ Power和最大RPE等指标作为评估跨项目运动员越野滑雪专项动作技术水平和专项滑行能力提升的重点指标。

2) 建议我国跨项目运动员在训练中应注意保持越野滑雪专项训练的系统性,每周应完成16~20 h的越野滑雪专项训练,以稳定提升越野滑雪专项技术动作水平、专项做功能力和专项力量。同时,我国跨项目运动员还应重视执行跑步训练,以维持和提升机体的有氧能力和最大摄氧能力。

3) 建议我国跨项目运动员,特别是男子跨项目运动员,在未来应注意执行针对性的越野滑雪专项力量训练和营养补充计划,以提升越野滑雪专项肌群的肌肉质量和做功能力,缩小在这些指标上与世界顶级越野滑雪运

动员的差距。

参考文献:

- 蔡旭旦, 2020. 中国跨项目运动员越野滑雪长期训练运动能力变化: 基于运动机能监控的研究[D]. 上海: 上海体育学院.
- 蔡旭旦, 毛丽娟, 陈小平, 2020. 冬季运动科学研究典型案例及对我国备战2022年北京冬奥会的启示[J]. 中国体育科技, 56(1): 12-23.
- 蔡旭旦, 毛丽娟, 陈小平, 2021. 2018—2019赛季越野滑雪世界格局及对我国高水平越野滑雪训练的启示[J]. 中国体育科技, 57(9): 11-19.
- 陈小平, 2006. 论运动技术和技术训练: 我国训练理论和实践中存在的问题及对策[J]. 体育科研, 27(5): 35-45.
- 陈小平, 2014. 中国青少年训练: 问题·对策·趋势[J]. 武汉体育学院学报, 48(11): 80-86.
- 陈小平, 褚云芳, 2013. 田径运动训练经典理论与方法的演变与发展[J]. 体育科学, 33(4): 91-97.
- 陈小平, 褚云芳, 纪晓楠, 2014. 竞技体能训练理论与实践热点及启示[J]. 体育科学, 34(2): 3-10.
- 褚云芳, 陈小平, 2014. 对耐力训练中“有氧”与“无氧”若干问题的重新审视[J]. 体育科学, 34(4): 84-91.
- 黎涌明, 陈小平, 2017. 英国竞技体育复兴的体系特征及对我国奥运战略的启示[J]. 体育科学, 37(5): 3-10.
- 黎涌明, 陈小平, 冯连世, 2018. 运动员跨项选材的国际经验和科学探索[J]. 体育科学, 38(8): 3-13.
- 田麦久, 刘爱杰, 易剑东, 2018. 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, 1(5): 69-77.
- 张蓓, 蔡旭旦, 毛丽娟, 等, 2020. 中国跨项目越野滑雪运动员身体成分特征及对我国备战2022年北京冬奥会的启示[J]. 中国体育科技, 56(12): 36-43.
- AINEGREN M, CARLSSON P, TINNSTEN M, et al., 2013. Skiing economy and efficiency in recreational and elite cross-country skiers [J]. *J Strength Cond Res*, 27(5): 1239-1252.
- ANDERSSON E, BJÖRKLUND G, HOLMBERG H-C, et al., 2017. Energy system contributions and determinants of performance in sprint cross-country skiing [J]. *Scand J Med Sci Spor*, 27(4): 385-398.
- BOLGER C M, KOCBACH J, HEGGE A M, et al., 2015. Speed and heart-rate profiles in skating and classical cross-country skiing competitions [J]. *Int J Sport Physiol*, 10(7): 873-880.
- BORG G, 1988. Borg's Perceived Exertion and Pain Scales [M]. Champaign: Human Kinetics.
- BULLOCK N, GULBIN J P, MARTIN D T, et al., 2009. Talent identification and deliberate programming in skeleton: Ice novice to winter Olympian in 14 months [J]. *J Sport Sci*, 27(4): 397-404.
- CARLSSON M, CARLSSON T, KNUTSSON M, et al., 2014. Oxygen uptake at different intensities and sub-techniques predicts sprint performance in elite male cross-country skiers [J]. *Eur J Appl Physiol*, 114(12): 2587-2595.
- COHEN J, 1988. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* [M]. 2nd ed. NJ: Lawrence Erlbaum: 567.
- EGAN A D, WINCHESTER J B, FOSTER C, et al., 2006. Using session RPE to monitor different methods of resistance exercise [J]. *J Sport Sci Med*, 5(2): 289.
- FAISS R, WILLIS S, BORN D P, et al., 2015. Repeated double-pole sprint training in hypoxia by competitive cross-country skiers

- [J]. *Med Sci Sport Exer*, 47(4): 809-817.
- HALSON S, MARTIN D T, GARDNER A S, et al., 2006. Persistent fatigue in a female sprint cyclist after a talent-transfer initiative[J]. *Int J Sport Physiol*, 1(1): 65-69.
- HAUGNES P, KOCBACH J, LUCHSINGER H, et al., 2019. The interval-based physiological and mechanical demands of cross-country ski training[J]. *Int J Sport Physiol*, 14(10): 1371-1377.
- HEGGE A M, BUCHER E, ETTEMA G, et al., 2016. Gender differences in power production, energetic capacity and efficiency of elite cross-country skiers during whole-body, upper-body, and arm poling[J]. *Eur J Appl Physiol*, 116(2): 291-300.
- HEGGE A M, MYHRE K, WELDE B, et al., 2015. Are gender differences in upper-body power generated by elite cross-country skiers augmented by increasing the intensity of exercise? [J]. *Plos One*, 10(5): e127509.
- HOLMBERG H-C , 2015. The elite cross-country skier provides unique insights into human exercise physiology [J]. *Scand J Med Sci Spor*, 25(4): 100-109.
- HOPKINS W G, MARSHALL S W, BATTERHAM A M, et al., 2009. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science[J]. *Med Sci Sport Exer*, 41(1): 3-13.
- INGJER F, 1992. Development of maximal oxygen uptake in young elite male cross-country skiers: a longitudinal study [J]. *J Sport Sci*, 10(1): 49-63.
- KARLSSON Ø, GILGIEN M, GLØERSEN Ø N, et al., 2018. Exercise intensity during cross-country skiing described by oxygen demands in flat and uphill terrain[J]. *Frontiers Physiol*, (9): 846.
- LOSNEGARD T, 2019. Energy system contribution during competitive cross-country skiing[J]. *Eur J Appl Physiol*, 119(8): 1675-1690.
- LOSNEGARD T, MIKKELSEN K, R NNESTAD 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 Spor*, 21(3): 389-401.
- ØFSTENG S, SANDBAKK Ø, VAN BEEKVELT M , et al., 2018. Strength training improves double-poling performance after prolonged submaximal exercise in cross-country skiers [J]. *Scand J Med Sci Spor*, 28(3): 893-904.
- ØSTERÅS S, WELDE B, DANIELSEN J, et al., 2016. Contribution of upper-body strength, body composition, and maximal oxygen uptake to predict double poling power and overall performance in female cross-country skiers [J]. *J Strength Cond Res*, 30(9): 2557-2564.
- SANDBAKK Ø, ETTEMA G, HOLMBERG H-C , 2012. The influence of incline and speed on work rate, gross efficiency and kinematics of roller ski skating[J]. *Eur J Appl Physiol*, 112(8): 2829-2838.
- SANDBAKK Ø, ETTEMA G, HOLMBERG H-C , 2014. Gender differences in endurance performance by elite cross-country skiers are influenced by the contribution from poling [J]. *Scand J Med Sci Spor*, 24(1): 28-33.
- SANDBAKK Ø, ETTEMA G, LEIRDAL S, et al., 2011a. Analysis of a sprint ski race and associated laboratory determinants of world-class performance[J]. *Eur J Appl Physiol*, 111(6): 947-957.
- SANDBAKK Ø, HEGGE A M, ETTEMA G, 2013. The role of incline, performance level, and gender on the gross mechanical efficiency of roller ski skating[J]. *Front Physiol*, (4): 293.
- SANDBAKK Ø, HEGGE A M, LOSNEGARD T, et al., 2016a. The physiological capacity of the world's highest ranked female cross-country skiers[J]. *Med Sci Sport Exer*, 48(6): 1091-1100.
- 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 Sport Physiol*, 12(8): 1003-1011.
- SANDBAKK Ø, HOLMBERG H-C, LEIRDAL S, et al., 2010. Metabolic rate and gross efficiency at high work rates in world class and national level sprint skiers [J]. *Eur J Appl Physiol*, 109(3): 473-481.
- SANDBAKK Ø, HOLMBERG H-C, LEIRDAL S, et al., 2011b. The physiology of world-class sprint skiers[J]. *Scand J Med Sci Spor*, 21(6): e9-e16.
- SANDBAKK Ø, LOSNEGARD T, SKATTEBO Ø, et al., 2016b. Analysis of classical time-trial performance and technique-specific physiological determinants in elite female cross-country skiers [J]. *Front Physiol*, (7): 326.
- SJDIN B, JACOBS I, SVEDENHAG J, 1982. Changes in onset of blood lactate accumulation (OBLA) and muscle enzymes after training at OBLA[J]. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 49(1): 45-57.
- SKATTEBO Ø, HALLÉN J, RØNNESTAD B R, et al., 2016. Upper body heavy strength training does not affect performance in junior female cross-country skiers [J]. *Scand J Med Sci Spor*, 26(9): 1007-1016.
- TALSNES R K, HETLAND T A, CAI X, et al., 2020. Development of performance, physiological and technical capacities during a six-month cross-country skiing talent transfer program in endurance athletes[J]. *Front Sports Act Living*, (2): 103.
- TØNNESSEN E, HAUGEN T A, HEM E, et al., 2015. Maximal aerobic capacity in the winter-Olympics endurance disciplines: Olympic-medal benchmarks for the time period 1990-2013[J]. *Int J Sport Physiol Perform*, 10(7): 835-839.

The Development of Physical Capacity of Talent-Transferring Athletes in Long Term Cross-Country Skiing Training —Based on Sports Physiological Evaluations

CAI Xudan^{1,8}, MAO Lijuan², ZHANG Bei^{7,8}, TALSNES Rune Kjøsen^{3,4}, SANDBAKK Øyvind³, HETLAND Tor-Arne⁴, LI Yongming², FENG Lianshi⁹, CHEN Xiaoping^{5,6*}

1. School of Sport Sciences, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China;

2. School of Physical Education and Training, Shanghai University of Sport, Shanghai 200438, China;

3. Centre for Elite Sports Research, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim 7491, Norway;

4. Meråker High School, Trondheim 7530, Norway; 5. China Institute of Sport Science, Beijing 100061, China;

6. Faculty of Physical Education, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

7. China Winter Sports Administration, General Administration of Sport of China, Beijing 100763, China;

8. Olympic Games Preparation Office of China Olympic Committee, Beijing 100763, China;

9. China Social Sports Guidance Centre, General Administration of Sport of China, Beijing 100763, China

Abstract: Objective: To explore the impact of long-term cross-country skiing training on the general and specific physiological capacity in cross-country skiing (i.e., 'physical capacity') of talent-transferred athletes (TTs), and then to evaluate the feasibility and effectiveness of cross-country training in TTs. Methods: 24 TTs who participated in cross-country skiing training at Meråker High School in Norway completed 3 exercise physiological and cross-country skiing specific capacity tests in different time points. The repeated measures of ANOVA was used to do data analysis. Results: During the 6-month training program, the $v\dot{V}O_{2max}$, sub-maximal CL, OBLA Power, $v\dot{V}O_{2peak}$, 30 s mean power, 5 min mean power and seated pulling down 1 repetition maximum of TTs were increased significantly ($P < 0.05$). Conclusions: During the 6-month training program, the economy of specific movement of skiing, specific performance of skiing, maximal work capacity of skiing and specific maximal strength of skiing of TTs were increased significantly, these findings fully demonstrated the feasibility and effectiveness of cross-country skiing training in TTs. It was suggested that the Chinese national team should set up a regular and systematic sports physiological testing system for TTs during cross-country skiing training, so as to monitor the development of general and specific sports capability of TTs.

Keywords: cross-country skiing; talent-transferring; Olympic Winter Games; physiological evaluations

本刊声明

《体育科学》为国家社会科学基金资助期刊,不收取任何费用,特此声明。

《体育科学》编辑部

2021年8月10日