



# 3周1 550 m 亚高原训练对优秀青年男子越野滑雪运动员生理机能和身体成分影响研究

## Effects of Three Weeks 1 550 m Moderate Altitude Training on Physiological Capacity and Body Composition of High Level Young Male Cross-Country Skiers

蔡旭旦<sup>1,4</sup>, 毛丽娟<sup>2</sup>, 张蓓<sup>3,4</sup>, 黎涌明<sup>2</sup>, 陈小平<sup>5,6\*</sup>

CAI Xudan<sup>1,4</sup>, MAO Lijuan<sup>2</sup>, ZHANG Bei<sup>3,4</sup>, LI Yongming<sup>2</sup>, CHEN Xiaoping<sup>5,6\*</sup>

### 基金项目:

国家重点研发计划“科技冬奥”重点专项(2018YFF0300901); 国家自然科学基金项目(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); 国家自然科学基金资助项目(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。

### \*通信作者简介:

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。

### 作者单位:

1. 南京师范大学, 江苏南京 210023;
  2. 上海体育学院, 上海 200438;
  3. 国家体育总局冬季运动管理中心, 北京 100763;
  4. 中国奥委会奥运备战办公室, 北京 100763;
  5. 国家体育总局体育科学研究所, 北京 100061;
  6. 宁波大学, 浙江 宁波 315211
1. Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China;  
2. Shanghai University of Sport, Shanghai 200438, China;  
3. China Winter Sports Administration, General Administration of Sport of China, Beijing 100763, China;  
4. Olympic Games Preparation Office of China Olympic Committee, Beijing 100763, China;  
5. China Institute of Sport Science, Beijing 100061, China;  
6. Ningbo University, Ningbo 315211, China.

**摘要:**目的:探究3周海拔1 550 m亚高原训练对优秀青年男子越野滑雪运动员生理机能和身体成分的影响,并且提出针对性的备战训练建议。方法:国家越野滑雪集训队10名优秀青年男子越野滑雪运动员[年龄(18.7±1.5)岁,身高(78.5±5.8)cm,体质量(66.6±4.7)kg]在亚高原(海拔1 550 m)进行3周训练,并在亚高原训练前后对运动员的生理机能和身体成分进行系列测试。使用重复方差分析对运动员数据进行自身比较。结果:运动员由平原初上亚高原时,乳酸阈测试血乳酸浓度显著提升( $P<0.05$ ),最大摄氧量和红细胞浓度显著降低( $P<0.05$ )。经过3周训练后,运动员的乳酸阈测试血乳酸浓度和最大摄氧量显著下降( $P<0.05$ ),全身总质量、上肢肌肉质量和下肢脂肪质量显著提升( $P<0.05$ )。结论:由平原初上亚高原时,运动员乳酸阈能力和最大摄氧能力显著降低。3周亚高原训练后,运动员的乳酸阈能力和上肢肌肉水平显著提升,最大摄氧能力下降幅度明显。建议:在进行亚高原训练时,我国优秀青年越野滑雪运动员应当注重对心肺摄氧能力的训练,并且注意提升周平均高强度训练(high intensity training, HIT)训练总时间,以维持和提升最大摄氧能力。

**关键词:** 亚高原训练;越野滑雪;北京冬奥会

**Abstract:** Objective: To explore the effects of 3 weeks of 1 500 m moderate altitude training on the physiological capacity and body composition of high level young male cross-country skiers, and providing specific training suggestions. Methods: Ten high level young cross-country skiers [Age: (18.7±1.5) years old; height: (178.5±5.8) cm; weight: (66.6±4.7) kg] of Chinese national cross-country skiing team trained at moderate altitude (altitude 1 550 m) for 3 weeks, and taking part the tests of physiological capacity and body composition before and after the moderate altitude training. Repeated-measures ANOVA was used to compared with athletes themselves. Results: When the athletes arriving the moderate altitude from the plain, the blood lactate concentration of lactate threshold test improved significantly ( $P<0.05$ ), the maximal oxygen uptake volume and red cell concentration decreased significantly ( $P<0.05$ ). After 3 weeks training at moderate altitude, the blood lactate concentration of lactate threshold test and the maximal oxygen uptake volume decreased significantly ( $P<0.05$ ); the whole body mass, arms' lean mass and legs' fat mass of athletes improved significantly ( $P<0.05$ ). Conclusions: When arrived moderate altitude from the plain, the lactate threshold capacity and maximal oxygen uptake capacity of athletes decreased significantly. After 3 weeks training at moderate altitude, the lactate threshold capacity and the arms' lean mass of athletes improved significantly, the maximal oxygen uptake capacity of athletes decreased significantly. It suggest that during the training process of moderate altitude, Chinese high level young cross-country skiers should pay attention on the training of oxygen uptake capacity of cardiovascular system and improve the weekly HIT hours to maintain and improve the maximal oxygen uptake capacity.

**Keywords:** moderate altitude training; cross-country skiing; Beijing 2022 Olympic Winter Games

**中图分类号:** G863.13 **文献标识码:** A

第二十四届冬季奥林匹克运动会(以下简称“北京2022年冬奥会”)越野滑雪、北欧两项和冬季两项等项目的比赛将在河北崇礼赛区奥运场地(平均海拔均1 650 m)举行,以上项目的金牌总数(合计26枚)占北京2022年冬奥会金牌总数的23.9%(蔡旭旦等,2020a;张蓓等,2020;Sandbakk et al.,2021)。因此,了解海拔1 500~2 000 m高原环境对雪上体能类项目运动员生理机能和运动能力的影响,对我国雪上体能类项目高水平备战北京2022年冬奥会具有重要意义(蔡旭旦等,2020b;陈小平,2004)。在高原环境的划分上,国内外研究通常将海拔500~1 500 m的高原环境称为“低高原”(low altitude),将海拔1 500~3 000 m的高原环境称为“中高原”(moderate altitude),将海拔3 000 m以上高原环境称为“高高原”(high altitude)(王刚等,2015;姚一鸣等,2018;赵晋等,2005;Bailey et al.,1998;Foss et al.,2017;Schobersberger et al.,2010)。因此,本研究中“亚高原”的定义特指海拔1 500~3 000 m的高原环境,即国内外研究者通常定义的“中高原”海拔范围。

20世纪中叶以来,有研究发现,随着海拔高度的提升,空气中的氧气浓度和大气压强会随之降低,并且摄取氧气难度增加是高原环境导致人体运动能力下降的主要原因(胡扬,2006;冯连世,2005;Jackson et al.,1988;Lenfant et al.,1971;Wehrlin et al.,2006)。此外,从平原初上高原人体的运动能力会出现不同程度的降低,经过约14天的适应期后运动能力会逐渐恢复(高炳宏等,2005;王金昊等,2020;Ingjer et al.,1992;Schuler et al.,2007)。但目前鲜见海拔1 500 m~2 000 m亚高原对雪上体能类项目运动员生理机能和运动表现影响的研究(Ingjer et al.,1992;Lunghi et al.,2019)。

为了更好地备战北京2022年冬奥会,我国在河北坝上地区(平均海拔1 550 m)建立了与崇礼赛区海拔高度类似的国家级雪上项目训练基地。如何准确掌握海拔1 550 m高度训练对高水平越野滑雪运动员生理机能的影响,日益成为我国备战北京2022年冬奥会亟需解决的重要问题(蔡旭旦等,2020b;陈小平,2004)。为此,本

研究将主要探究3周海拔1 550 m亚高原训练对优秀青年男子越野滑雪运动员生理机能和身体成分的影响,并且提出针对性的备战训练建议。

## 1 研究对象与方法

### 1.1 研究对象

以国家越野滑雪集训队10名优秀青年男子越野滑雪运动员为研究对象,均为经我国“跨项目选材计划”选拔后参与越野滑雪训练的优秀跨项目运动员(蔡旭旦,2020;Carlsson et al.,2017)(表1)。在参与本研究前后,研究对象的国际雪联积分(以下简称“FIS积分”)均已达到了北京2022年冬奥会越野滑雪项目B类标准(长距离FIS积分达到300分以下)的参赛要求。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,自愿参加并签署知情同意书。

表1 受试者基本信息

| 参数                        | 受试者信息      |
|---------------------------|------------|
| 年龄/岁                      | 18.7±1.5   |
| 身高/cm                     | 178.5±5.8  |
| 体质量/kg                    | 66.6±4.7   |
| BMI/(kg·m <sup>-2</sup> ) | 20.9±0.8   |
| 长距离FIS积分                  | 180.3±61.9 |
| 实际训练年限/年                  | 4.6±1.8    |
| 越野滑雪训练年限/年                | 1.6±2.1    |

### 1.2 研究方法

#### 1.2.1 亚高原训练测试安排

2019年9月20日—10月25日,国家越野滑雪集训队10名优秀青年男子越野滑雪运动员分别在平原(北京,海拔55 m)和亚高原(河北坝上,海拔1 550 m)进行5周(2周平原训练、3周亚高原)训练和测试。在5周训练中,运动员执行的是在挪威、芬兰等越野滑雪强国通行的北欧传统越野滑雪训练方案,由随队科研人员对每日训练计划进行记录(蔡旭旦,2020;Sandbakk et al.,2017)(图1)。

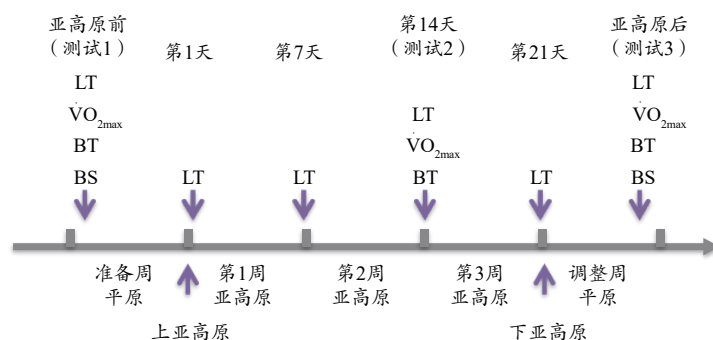


图1 优秀青年男子越野滑雪运动员3周亚高原训练前后测试计划示意图

Figure 1. Test Program of 3 Weeks Moderate Altitude Training of High Level Young Male Cross-Country Skiers

注:LT.乳酸阈测试;VO<sub>2max</sub>.最大摄氧量;BT.血液测试;BS.身体成分测试。

### 1.2.2 乳酸阈测试

所有运动员在乳酸阈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的监督下完成。热身流程包括:10 min 跑步机低强度慢跑[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。

运动员热身结束后,使用递增负荷测试法在跑步机(RL2500E, Rodby, Sweden)上进行乳酸阈测试(蔡旭旦等, 2020a; Talsnes et al., 2020)。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该角度,跑步机的起始速度设置为 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,跑步机的速度提升 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, USA)记录运动测试过程中的心率变化。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测试运动员的血乳酸水平,询问并记录运动员的 RPE。当运动员的血乳酸水平大于 4 mmol/L 时,停止本测试,记录运动员当前的跑动速度和 RPE 值(Talsnes et al., 2020)。

### 1.2.3 最大摄氧量测试

本研究中的 3 次最大摄氧量测试均是在乳酸阈测试结束后进行的。乳酸阈测试结束后,运动员休息 5 min,随后在跑步机上进行最大摄氧量测试(蔡旭旦等, 2020a; Talsnes et al., 2020)。在测试过程中,通过使用便携式气体代谢分析仪(MetaMax 3B, Cortex, Germany)测定运动员的最大摄氧量(maximal oxygen uptake volume,  $\dot{V}O_{2max}$ )。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。测试开始后,每过 1 min 提升跑步机速度 1 km/h,直至运动员力竭。整个测试过程中,运动员持续佩戴换气面罩,以测定运动员的摄氧量(oxygen uptake volume,  $\dot{V}O_2$ ),并使用运动心率手表记录运动员测试过程中的心率。测试结束后即刻测定运动员血乳酸浓度,记录 RPE 值。同时,记录运动员的跑步机最终速度、最终速度阶段跑动时间,以及  $\dot{V}O_{2max}$  绝对值(maximal oxygen uptake absolute volume,  $\dot{V}O_{2max}$  Ab)和  $\dot{V}O_{2max}$  相对值(maximal oxygen uptake relative volume,  $\dot{V}O_{2max}$  RI)(Talsnes et al., 2020)。

### 1.2.4 血液测试和身体成分测试

本研究中的 3 次血液测试均在训练计划休息日的次日(通常为周一)早晨 6:00—7:00 进行。运动员在安静空腹状态下,由医务人员取静脉血,使用全自动血液分析仪(GensSystem, Beckman Coulter, USA)测试各项血液指标。使用 iDXA 分析仪(Luna iDXA, General Electric Company, USA)对运动员的全身及身体各环节(上肢、躯干、下肢)的脂肪、肌肉和骨骼质量进行测试,并且以绝对质

量的方式呈现测试数据。

### 1.3 数据统计分析

使用 IBM SPSS 17.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, United States) 和 Excel 2013 软件 (Microsoft Corporation, Redmond, Washington, United States) 进行数据统计与分析,所有数据均采用平均值±标准差(Mean±SD)的形式呈现。在数据处理过程中,首先对数据进行正态分布和方差齐性检验,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。以  $P < 0.05$  为差异显著,  $P < 0.01$  为差异非常显著。使用 Cohen's  $d$  公式计算运动员 3 周亚高原训练前后测试变化指标的相应量(effect size, ES), ES 值的评价标准如下: 0~0.2 为微不足道的效应, 0.2~0.6 为小效应, 0.6~1.2 为中等效应, 1.2~2.0 为大效应, >2.0 为极大效应(Cohen, 1988; Hopkins et al., 2009)。本研究使用的 Cohen's  $d$  公式:

$$ES = \frac{\text{平均值1} - \text{平均值2}}{\text{合并后的标准差}}$$

## 2 研究结果

### 2.1 受试者训练信息统计

优秀青年男子越野滑雪运动员在本次 3 周亚高原训练中,训练总时间达 57.6 h,平均每周总训练时间为 19.2 h (图 2)。其中,3 周亚高原训练低强度训练(low intensity training, LIT)、中等强度训练(moderate intensity training, MIT)、HIT 周平均训练时间分别为 12.6、0.9 和 0.3 h。LIT、MIT、HIT 训练总时间分别占 3 周亚高原总训练时间的 65.6%、4.5% 和 1.7%,同时分别占 3 周亚高原耐力训练总时间(LIT、MIT、HIT 训练总时间之和)的 91.4%、6.3% 和 2.4%。3 周亚高原训练力量训练、速度训练周平均训练时间分别为 4.6、0.8 h,力量训练、速度训练总时间分别占 3 周亚高原总训练时间的 13.8% 和 2.5%。

### 2.2 乳酸阈、最大摄氧量测试结果

#### 2.2.1 初上亚高原及 3 周亚高原训练后对乳酸阈曲线影响结果

与亚高原训练前的乳酸阈测试心率曲线和血乳酸浓度曲线相比,优秀青年男子越野滑雪运动员初上亚高原第 1 天在速度 9、10 km/h 阶段血乳酸浓度显著提升( $P < 0.05$ ; 图 3A、图 3B)。在亚高原训练后,与亚高原训练前乳酸阈测试心率曲线和血乳酸曲线相比,优秀青年男子越野滑雪运动员的乳酸阈测试各阶段心率水平显著提升( $P < 0.05$ ),同时在速度 7、8 km/h 阶段中的血乳酸浓度显著下降( $P < 0.05$ )。与亚高原训练第 1 天乳酸阈测试心率曲线相比,优秀青年男子越野滑雪运动员亚高原训练第 21 天在速度 10 km/h 阶段的心率水平上表现出显著提升( $P < 0.05$ ; 图 3C、图 3D),同时在速度 8、10 和 11 km/h 阶段的血乳酸浓度显著下降( $P < 0.05$ )。

#### 2.2.2 乳酸阈、最大摄氧量测试结果

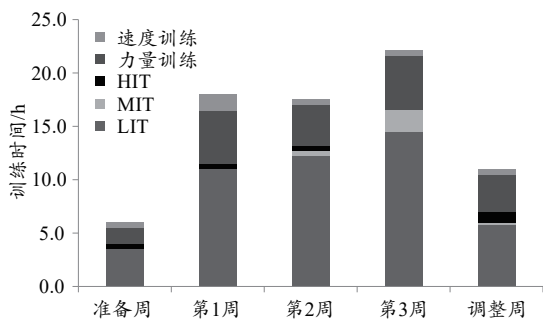


图2 优秀青年男子越野滑雪运动员3周亚高原训练前后训练信息统计

Figure 2. Training Information of High Level Young Male Cross-Country Skiers during 3 Weeks Moderate Altitude Training Process

注:HIT.高强度训练,血乳酸浓度为4.0~10.0 mmol/L,心率大于87%最大心率( $HR_{max}$ );MIT.中等强度训练,血乳酸浓度为2.5~4.0 mmol/L,心率处于81%~87%  $HR_{max}$ ;LIT.低强度训练,血乳酸浓度小于2.5 mmol/L,心率低于81%  $HR_{max}$ 。

与亚高原训练前测试相比,优秀青年男子越野滑雪运动员亚高原训练第14天的乳酸阈、 $\dot{V}O_{2max}$ 测试的乳酸阈功率、 $\dot{V}O_{2max}$ 速度(velocity of maximal oxygen uptake,  $v\dot{V}O_{2max}$ )、 $\dot{V}O_{2max}$  Ab、 $\dot{V}O_{2max}$  RI和最大心率等指标显著下降( $P<0.05$ ;表2)。与亚高原训练前测试相比,优秀青年男子越野滑雪运动员亚高原训练后的乳酸阈心率、乳酸阈RPE等指标显著提升( $P<0.05$ ), $v\dot{V}O_{2max}$ 、 $\dot{V}O_{2max}$  Ab、 $\dot{V}O_{2max}$  RI、最大呼吸交换率和最大血乳酸等指标显著下降( $P<0.05$ )。与亚高原训练第14天测试相比,优秀青年男子越野滑雪运动员亚高原训练后的乳酸阈速度、乳酸阈功率、乳酸阈心率、乳酸阈RPE、 $\dot{V}O_{2max}$  Ab、 $\dot{V}O_{2max}$  RI和最大心率等指标显著提升( $P<0.05$ ),但是最大呼吸交换率显著下降( $P<0.05$ )。优秀青年男子越野滑雪运动员最大呼吸交换率指标的3周亚高原训练前后结果变化绝对值之间的ES处于大效应区间范围,乳酸阈心率、 $v\dot{V}O_{2max}$ 、 $\dot{V}O_{2max}$  RI和最大血乳酸等指标的ES处于中等效应区间范围。

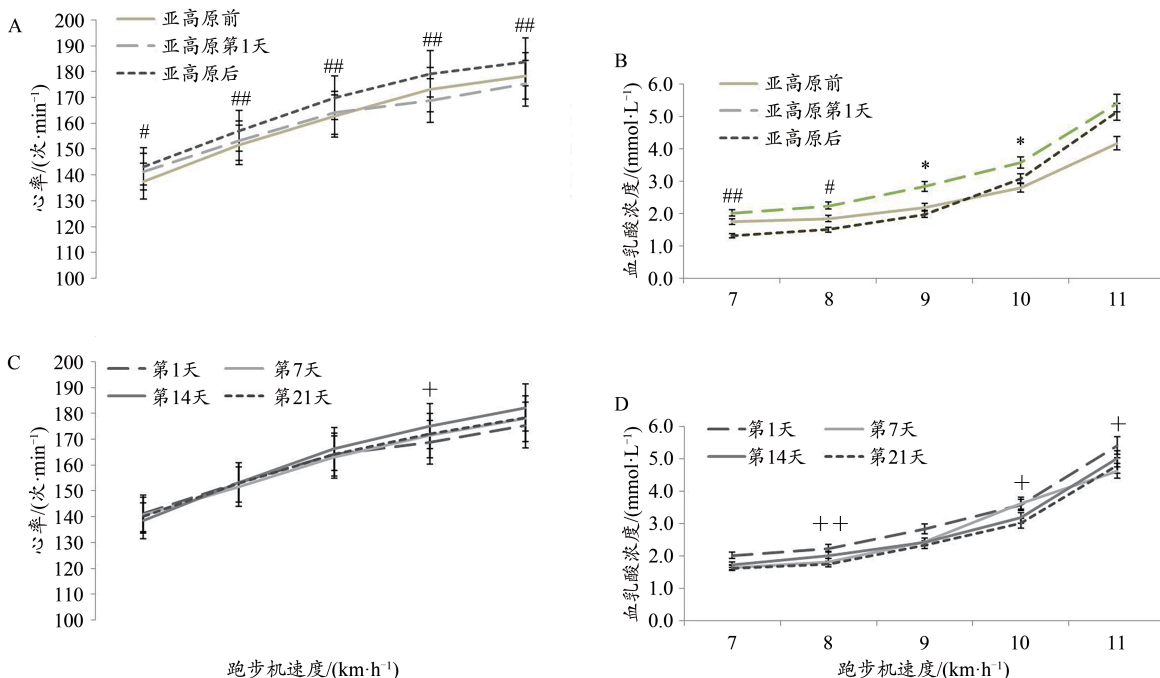


图3 优秀青年男子越野滑雪运动员3周亚高原训练前后乳酸阈测试心率曲线(A、C)和血乳酸浓度曲线(B、D)变化结果

Figure 3. Changing Results of Heart Rate Curves (A, C) and Blood Lactate Concentration Curves (B, D) of Lactate Threshold Test of High Level Young Male Cross-Country Skiers before and after 3 Weeks Moderate Altitude Training Process

注:\*表示亚高原前与亚高原第1天测试结果相比存在显著性差异,\* $P<0.05$ ,\*\* $P<0.01$ ;#表示亚高原前与亚高原后测试结果相比存在显著性差异,# $P<0.05$ ,### $P<0.01$ ;+表示亚高原训练第1天与第21天测试结果相比存在显著性差异,+ $P<0.05$ ,++ $P<0.01$ 。

### 2.3 血液指标测试结果

与亚高原训练前测试相比,优秀青年男子越野滑雪运动员亚高原训练第14天的血尿素指标显著提升( $P<0.05$ ;表3),红细胞、红细胞压积等指标显著下降( $P<0.01$ )。与亚高原训练前测试相比,优秀青年男子越野滑雪运动员亚高原训练后的单核细胞百分率显著降低( $P<0.01$ )。与亚高原训练第14天相比,优秀青年男子越野滑

雪运动员亚高原训练后的单核细胞百分率显著下降( $P<0.01$ )。优秀青年男子越野滑雪运动员单核细胞百分率指标的3周亚高原训练前后结果变化绝对值之间的ES处于大效应区间范围,皮质醇、红细胞和红细胞压积等指标的ES处于中等效应区间范围。

### 2.4 身体成分测试结果

与亚高原训练前身体成分测试结果相比,优秀青年

男子越野滑雪运动员亚高原训练后的全身总质量、上肢总质量、上肢肌肉质量和下肢脂肪质量显著提升 ( $P < 0.05$ ; 表 4)。优秀青年男子越野滑雪运动员 3 周亚高原训练前后各环节身体成分测试结果变化的 ES 均处于微小或者小效应区间范围。

表 2 优秀青年男子越野滑雪运动员 3 周亚高原训练前后乳酸阈、最大摄氧量测试结果

Table 2 Test Results of Lactate Threshold Test and Maximal Oxygen Uptake of High Level Young Male Cross-Country Skiers during 3 Weeks Moderate Altitude Training Process

| 测试指标   | 亚高原前(测试1)  | 亚高原第14天(测试2)            | 亚高原后(测试3)                  | 测试1~3 ES |
|--|------------|-------------------------|----------------------------|----------|
| 乳酸阈速度/( $m \cdot s^{-1}$ )                                 | 3.0±0.2    | 2.9±0.2                 | 3.1±0.3 <sup>###</sup>     | 0.56     |
| 乳酸阈功率/W  | 117.5±10.3 | 111.3±6.2 <sup>*</sup>  | 122.6±14.8 <sup>##</sup>   | 0.40     |
| 乳酸阈心率/( $次 \cdot min^{-1}$ )                               | 181.3±9.9  | 179.0±9.2               | 191.2±9.0 <sup>***</sup>   | 0.94     |
| 乳酸阈RPE(1~10)   | 4.3±1.9    | 4.3±1.7                 | 5.2±1.6 <sup>*#</sup>      | 0.51     |
| $v\dot{V}O_{2max}$ /( $m \cdot s^{-1}$ )                   | 4.5±0.2    | 4.2±0.2 <sup>**</sup>   | 4.2±0.3 <sup>**</sup>      | 1.15     |
| $\dot{V}O_{2max}$ Ab/( $L \cdot min^{-1}$ )                | 4.85±0.34  | 4.31±0.34 <sup>**</sup> | 4.65±0.39 <sup>**###</sup> | 0.55     |
| $\dot{V}O_{2max}$ RI/( $mL \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$ ) | 72.9±3.8   | 66.6±3.3 <sup>**</sup>  | 70.0±3.8 <sup>**###</sup>  | 0.72     |
| 最大呼吸交换率  | 1.24±0.09  | 1.23±0.05               | 1.11±0.03 <sup>**###</sup> | 1.43     |
| 最大血乳酸/( $mmol \cdot L^{-1}$ )                              | 13.0±1.4   | 11.4±2.2                | 11.4±2.5 <sup>*</sup>      | 0.79     |
| 最大心率/( $次 \cdot min^{-1}$ )                                | 198.7±10.8 | 192.7±8.0 <sup>**</sup> | 199.3±8.2 <sup>###</sup>   | 0.06     |
| 最大RPE(1~10)  | 7.9±1.9    | 8.8±1.1                 | 8.7±0.8                    | 0.55     |

注: \*表示与测试1测试结果相比存在显著性差异( $P < 0.05$ ,  $**P < 0.01$ ); #表示与测试2测试结果相比存在显著性差异( $\#P < 0.05$ ,  $###P < 0.01$ ); 下同。

表 3 优秀青年男子越野滑雪运动员 3 周亚高原训练前后血液指标变化结果

Table 3 Changing Results of Blood Indexes of High Level Young Male Cross-Country Skiers during 3 Weeks Moderate Altitude Training Process

| 测试指标                                     | 亚高原前(测试1)   | 亚高原第14天(测试2)              | 亚高原后(测试3)                | 测试1~3 ES |
|--|-------------|---------------------------|--------------------------|----------|
| 睾酮(T)/( $nmol \cdot L^{-1}$ )            | 26.5±6.3    | 25.3±7.2                  | 24.7±5.9                 | 0.30     |
| 皮质醇(C)/( $nmol \cdot L^{-1}$ )           | 528.2±93.3  | 476.8±82.0                | 462.2±47.2               | 0.83     |
| 肌酸激酶(CK)/( $U \cdot L^{-1}$ )            | 196.1±110.8 | 232.8±89.8                | 175.9±71.7               | 0.22     |
| 血尿素(BUN)/( $mmol \cdot L^{-1}$ )         | 6.7±1.0     | 7.6±1.0 <sup>*</sup>      | 6.6±1.2                  | 0.03     |
| 白细胞(WBC)/( $\times 10^3 \cdot ul^{-1}$ ) | 5.9±1.3     | 5.6±1.9                   | 6.0±1.5                  | 0.03     |
| 淋巴细胞百分率(%MXD)                            | 37.2±7.3    | 35.8±10.8                 | 38.2±10.1                | 0.12     |
| 单核细胞百分率(%MXD)                            | 8.3±2.7     | 7.4±2.0                   | 4.3±1.4 <sup>**###</sup> | 1.35     |
| 中性粒细胞百分率(%NEUT)                          | 54.6±6.6    | 54.8±12.4                 | 55.7±10.7                | 0.13     |
| 红细胞(RBC)/( $\times 10^6 \cdot ul^{-1}$ ) | 5.5±0.3     | 5.2±0.3 <sup>**</sup>     | 5.3±0.3                  | 0.60     |
| 血红蛋白(HGB)/( $g \cdot L^{-1}$ )           | 161.5±10.1  | 157.7±7.5                 | 162.0±9.7                | 0.05     |
| 红细胞压积(HCT)                               | 0.482±0.023 | 0.461±0.021 <sup>**</sup> | 0.467±0.023              | 0.63     |

### 3 研究讨论

#### 3.1 受试者训练信息

3 周亚高原训练前后训练信息统计结果表明,我国优秀青年男子越野滑雪运动员在 5 周训练中整体训练强度分布呈现比较明显的“两极化趋势”(蔡旭旦, 2020; Sandbakk et al., 2017)。

与世界顶级越野滑雪运动员高原训练期间的周平均训练时间相比,我国优秀青年男子越野滑雪运动员 3 周亚高原训练期间周平均 LIT 训练时间偏低(约 12 h), MIT 训练时间偏低(约 0.3 h), HIT 训练时间基本类似,力量训练时间偏高(约 3.2 h),速度训练时间偏高(约 0.5 h)(Solli et al., 2017)。以上现象出现的原因可能与我国优秀青年

男子越野滑雪运动员的越野滑雪专项训练时间过短,与世界顶级越野滑雪运动员相比越野滑雪技术动作经济性不足,无法在正确的心率区间维持长时间的越野滑雪专项低强度持续滑行训练有关(蔡旭旦等, 2020a; Sandbakk et al., 2010, 2011)。同时,还可能与参与本研究的优秀青年男子越野滑雪运动员均是优秀跨项目运动员,需要针对性提升专项肌肉质量和力量等原因有关(Stöggl et al., 2010; 蔡旭旦, 2020; 张蓓等, 2020)。

建议我国优秀青年越野滑雪运动员在未来的亚高原训练中,应当逐步提升周平均 LIT 训练总时间,缩小与世界顶级越野滑雪运动员在周平均 LIT 训练总时间上的差距,提升越野滑雪专项有氧能力。

表4 优秀青年男子越野滑雪运动员3周亚高原训练前后身体成分测试结果

| 测试指标/kg     | 亚高原前(测试1)  | 亚高原后(测试3)   | 测试1~3 ES |
|-------------|------------|-------------|----------|
| <b>全部质量</b> |            |             |          |
| 全身          | 65.96±4.51 | 66.53±4.67* | 0.1      |
| 上肢          | 7.90±0.56  | 8.13±0.58** | 0.4      |
| 躯干          | 31.08±2.25 | 31.37±2.20  | 0.1      |
| 下肢          | 22.39±2.04 | 22.43±2.04  | 0.0      |
| <b>肌肉质量</b> |            |             |          |
| 全身          | 55.61±4.09 | 56.09±4.46# | 0.1      |
| 上肢          | 6.60±0.53  | 6.77±0.57*  | 0.3      |
| 躯干          | 27.25±2.12 | 27.65±2.20  | 0.2      |
| 下肢          | 18.47±1.79 | 18.38±1.81  | 0.1      |
| <b>脂肪质量</b> |            |             |          |
| 全身          | 7.53±1.37  | 7.61±1.07   | 0.1      |
| 上肢          | 0.91±0.14  | 0.95±0.14#  | 0.3      |
| 躯干          | 2.99±0.75  | 2.91±0.55   | 0.1      |
| 下肢          | 2.77±0.53  | 2.90±0.46*  | 0.3      |
| <b>骨骼质量</b> |            |             |          |
| 全身          | 2.83±0.15  | 2.83±0.14   | 0.0      |
| 上肢          | 0.40±0.03  | 0.40±0.03   | 0.3      |
| 躯干          | 0.83±0.04  | 0.81±0.04#  | 0.4      |
| 下肢          | 1.14±0.07  | 1.15±0.07   | 0.1      |

注:\*表示与测试1测试结果相比存在显著性差异(\* $P < 0.05$ , \*\* $P < 0.01$ );#表示与测试1测试结果相比存在显著性差异的趋势但是不显著( $P = 0.05 \sim 0.10$ )。

### 3.2 乳酸阈、最大摄氧量测试结果

#### 3.2.1 初上亚高原及3周亚高原训练后对乳酸阈曲线影响结果

3周亚高原训练前后的乳酸阈测试结果表明,运动员在由平原初上亚高原时乳酸阈能力显著下降,该现象出现的原因可能与由平原初上亚高原时运动员对于氧含量下降和气压降低等环境变化适应不足有关(Schuler et al., 2007; Wehrlin et al., 2006)。由亚高原返回平原时,运动员的乳酸阈能力显著增强,其原因可能与经过3周亚高原训练后运动员机体的氧气运输和氧气利用能力获得提升有关(胡扬, 2010; Ingjer et al., 1992)。在3周亚高原训练期间,运动员对亚高原环境逐渐适应,在抵达亚高原第21天前运动员的乳酸阈能力显著增强,运动员机体对于亚高原的低氧、低压环境产生的适应性变化可能是该现象出现的原因之一(Burtscher et al., 2018; Chapman et al., 2013; Schuler et al., 2007)。

建议我国优秀青年越野滑雪运动员在制定年度训练计划时,应当将高原或亚高原训练作为年度训练计划的重要组成部分,以针对性提升运动员的乳酸阈能力。同时,在未来参与亚高原举办的重大赛事之前,我国越野滑

雪运动员应当在类似海拔的亚高原至少进行3周左右的赛前训练,以提升运动员对于亚高原比赛环境的适应水平和比赛表现。

#### 3.2.2 乳酸阈、最大摄氧量测试结果

乳酸阈、 $\dot{V}O_{2max}$ 测试结果表明,运动员在亚高原的乳酸阈能力和最大摄氧能力与亚高原训练前相比显著降低,其原因可能与亚高原大气压强和氧气含量显著低于平原的环境特点有关(Chapman et al., 2016; Wehrlin et al., 2006)。空气大气压强和氧气含量的降低导致运动员单位时间氧气摄入量和 $\dot{V}O_{2max}$ 的降低(Wehrlin et al., 2006)。与亚高原训练前平原测试相比,运动员的亚高原训练后平原乳酸阈能力显著提升,但是最大摄氧能力显著降低。其原因可能与亚高原低氧、低压的环境特点导致运动员在高强度间歇训练中不能对运动员的心肺摄氧功能产生足够刺激,无法提升运动员的最大摄氧能力有关(胡扬, 2010; Chapman et al., 2016; Ingjer et al., 1992)。此外,3周亚高原训练中HIT训练时间的不足,以及亚高原训练后的疲劳累积,也是该现象出现的可能原因之一(冯连世, 1999a, 1999b; Solli et al., 2017)。

建议我国优秀青年越野滑雪运动员在未来亚高原训练中应当注重心肺摄氧能力的训练,并且注意提升周平均HIT训练总时间,以提升最大摄氧能力。本研究的ES测试结果表明,最大呼吸交换率、乳酸阈心率、 $v\dot{V}O_{2max}$ 、 $\dot{V}O_{2max}$  RI和最大血乳酸等指标能够较好反映优秀青年男子越野滑雪运动员在3周亚高原训练前后的生理机能变化差异性。

#### 3.3 血液指标测试结果

血液测试结果表明,运动员在亚高原训练2周后体内疲劳累积较亚高原训练前相比明显提升,其原因可能与运动员机体对亚高原低氧、低压的环境特点适应不足,导致相同负荷下的训练疲劳累积提升有关(Schuler et al., 2007)。此外,亚高原空气干燥,运动员水分丢失速度提升,也可能是运动员红细胞、红细胞压积等指标明显降低的原因之一(耿青青等, 2004; Garvican-Lewis et al., 2015; Płoszczyca et al., 2018)。运动员在亚高原训练后体内疲劳累积逐渐消除、身体机能逐渐恢复,其原因可能与平原富氧、常压的环境有助于运动员各项身体机能的恢复有关(Pialoux et al., 2010)。此外,亚高原训练后训练负荷的降低,也是该现象出现的可能原因之一(胡扬, 2006; Pialoux et al., 2010)。

建议我国优秀青年越野滑雪运动员在执行亚高原训练计划时,应当注意合理安排训练负荷,防止过度疲劳情况的发生。此外,考虑到亚高原空气干燥缺水的环境特点,运动员在亚高原训练期间应当注意及时补充水分,防止体内水分丢失过多影响训练质量和竞技状态。

#### 3.4 身体成分测试结果

身体成分测试结果表明,亚高原训练期间运动员的

上肢肌肉质量和下肢脂肪质量出现显著提升,其原因可能与亚高原训练期间教练团队为运动员制定了针对性的上肢力量训练计划有关(Bigard et al., 1991; Solli et al., 2017)。下肢力量训练比例不高,可能是运动员下肢脂肪质量提升的原因之一(Bigard et al., 1991; Ferliche et al., 2017)。

以上现象说明,优秀青年越野滑雪运动员在亚高原训练期间可以把力量训练作为训练重点,以提升全身肌肉的总质量。建议我国优秀青年越野滑雪运动员在执行力量训练时,应当注重上肢、下肢力量的均衡发展,确保运动员的上肢、下肢肌肉质量和肌肉力量同步提升。

## 4 结论与建议

### 4.1 结论

1)优秀青年男子越野滑雪运动员在由平原地区初上亚高原地区时,乳酸阈能力和最大摄氧能力明显下降。在3周亚高原训练期间,运动员的身体机能对亚高原环境逐渐适应,乳酸阈能力逐渐提升。3周亚高原训练后,在平原地区运动员的乳酸阈能力得到显著提升,最大摄氧能力显著降低。

2)优秀青年男子越野滑雪运动员在3周亚高原期间,与平原地区相比单位血液中红细胞水平显著降低,身体疲劳累积显著提升。3周亚高原训练后,在平原地区运动员单位血液内的红细胞水平缓慢回升,身体疲劳程度逐渐降低。

3)优秀青年男子越野滑雪运动员在3周亚高原训练后,与亚高原训练前相比,全身总质量、上肢肌肉质量和下肢脂肪质量显著提升,其他各环节、组织质量无显著性变化。

### 4.2 建议

1)我国优秀青年越野滑雪运动员在备战亚高原比赛时,应制定针对性的赛前备战训练方案,提升初上亚高原比赛环境的适应能力。此外,在进行亚高原训练时,运动员应当注重对心肺摄氧能力的训练,并且注意提升周平均HIT训练总时间,以维持和提升最大摄氧能力。

2)我国优秀青年越野滑雪运动员在执行亚高原训练计划时,应当注意合理安排训练负荷,防止过度疲劳;同时,还应当注意及时补充水分,防止体内水分丢失过多影响训练质量和竞技状态。

3)我国优秀青年越野滑雪运动员在执行力量训练计划时,应当注重上肢、下肢力量的均衡发展,确保上肢、下肢肌肉质量和肌肉力量同步提升。

### 4.3 研究局限

本研究的局限在于对优秀青年男子越野滑雪运动员执行亚高原训练的追踪时间较短(仅为3周),缺乏对女子运动员亚高原训练生理机能变化的研究。在未来的研究中,将会针对更加长期的亚高原训练计划和更大样本量

的受试者进行深入研究。

## 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, 2020a. 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.
- 蔡旭旦, 毛丽娟, 张蓓, 等, 2020b. 不同来源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[J]. 中国体育科技, 56(12): 44-55.
- 陈小平, 2004. 有氧训练: 提高我国耐力项目运动水平的关键[J]. 体育科学, 24(11): 45-50.
- 冯连世, 1999a. 高原训练及其研究现状(待续)[J]. 体育科学, 19(5): 64-66.
- 冯连世, 1999b. 高原训练及其研究现状(续完)[J]. 体育科学, 19(6): 66-71.
- 冯连世, 2005. 高原训练与低氧训练[J]. 体育科学, 25(11): 2.
- 高炳宏, 王道, 陈坚, 等, 2005. LoHi 和 HiHiLo 训练对女子赛艇运动员运动能力影响的比较研究[J]. 体育科学, 25(11): 33-39.
- 耿青青, 石鸿儒, 2004. 高原训练中机体红细胞、促红细胞生成素、2,3-二磷酸甘油酸的适应性变化及研究设想[J]. 体育科学, 24(5): 29-31.
- 胡扬, 2006. 关于高原训练中若干问题的思考[J]. 北京体育大学学报, 29(7): 865-868.
- 胡扬, 2010. 高原训练的多元化发展: 从 HiHi 到 HiLo 再到 HiHi+HiLo[J]. 体育科学, 30(11): 74-78.
- 王刚, 高炳宏, 高欢, 等, 2015. 亚高原训练对不同高原训练经历男子赛艇运动员有氧运动能力的影响[J]. 中国体育科技, 51(4): 42-48.
- 王金昊, 曹忠荣, 邱俊, 等, 2020. 5 周亚高原训练对国家现代五项队运动员身体机能和运动表现的影响[J]. 中国体育科技, 56(7): 99-107.
- 姚一鸣, 邱俊强, 2018. 18 D 亚高原训练对花样滑冰运动员生理机能及运动表现的影响[J]. 北京体育大学学报, 41(12): 90-95.
- 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.
- 赵晋, 孔垂辉, 2005. 亚高原环境对运动训练的影响综述[J]. 北京体育大学学报, 28(1): 78-79.
- BAILEY D M, DAVIES B, ROMER L, et al., 1998. Implications of moderate altitude training for sea-level endurance in elite distance runners[J]. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 78(4): 360-368.
- BIGARD A X, BRUNET A, GUEZENNEC C Y, et al., 1991. Skeletal muscle changes after endurance training at high altitude[J]. *J Appl Physiol*, 71(6): 2114-2121.
- BURTSCHER M, NIEDERMEIER M, BURTSCHER J, et al., 2018. Preparation for endurance competitions at altitude: Physiological, psychological, dietary and coaching aspects. A narrative review[J]. *Front Physiol*, doi: 10.3389/fphys.2018.01504.
- CARLSSON T, WEDHOLM L, NILSSON J, et al., 2017. The effects of strength training versus ski-ergometer training on double-pooling capacity of elite junior cross-country skiers[J]. *Eur J Appl Physiol*, 117(8): 1523-1532.

- CHAPMAN R F, KARLSEN T, GE R L, et al., 2016. Living altitude influences endurance exercise performance change over time at altitude[J]. *J Appl Physiol*, 120(10): 1151-1158.
- CHAPMAN R F, LAYMON A S, LEVINE B D, 2013. Timing of arrival and pre-acclimatization strategies for the endurance athlete competing at moderate to high altitudes [J]. *High Alt Med Biol*, 14(4): 319-324.
- COHEN J, 1988. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* [M]. 2nd ed ed. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum: 567.
- FERICHE B, GARCÍA-RAMOS A, MORALES-ARTACHO A J, et al., 2017. Resistance training using different hypoxic training strategies: A basis for hypertrophy and muscle power development [J]. *Sports Med Open*, 3(1): 1-14.
- FOSS J L, CONSTANTINI K, MICKLEBOROUGH T D, et al., 2017. Short-term arrival strategies for endurance exercise performance at moderate altitude[J]. *J Appl Physiol*, 123(5): 1258-1265.
- GARVICAN-LEWIS L A, HALLIDAY I, ABBISS C R, et al., 2015. Altitude exposure at 1 800 m increases haemoglobin mass in distance runners[J]. *J Sports Sci Med*, 14(2): 413-417.
- 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, MYHRE K, 1992. Physiological effects of altitude training on elite male cross-country skiers[J]. *J Sport Sci*, 10(1): 37-47.
- JACKSON C G R, SHARKEY B J, 1988. Altitude, training and human performance[J]. *Sports Med*, 6(5): 279-284.
- LENFANT C, SULLIVAN K, 1971. Adaptation to high altitude[J]. *New Engl J Med*, 284(23): 1298-1309.
- LUNGI A, BROCHERIE F, MILLET G P, 2019. Influence of altitude on elite biathlon performances[J]. *High Alt Med Biol*, 20(3): 312-317.
- PIALOUX V, BRUGNIAUX J V, ROCK E, et al., 2010. Antioxidant status of elite athletes remains impaired 2 weeks after a simulated altitude training camp[J]. *Eur J Nutr*, 49(5): 285-292.
- PŁOSZCZYCA K, LANGFORT J, CZUBA M, 2018. The effects of altitude training on erythropoietic response and hematological variables in adult athletes: A narrative review[J]. *Front Physiol*, doi: 10.3389/fphys.2018.00375.
- 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., 2011. The physiology of world-class sprint skiers[J]. *Scand J Med Sci Spor*, 21(6): e9-e16.
- SANDBAKK Ø, SOLLI G S, TALSNES R K, et al., 2021. Preparing for the nordic skiing events at the Beijing Olympics in 2022: Evidence-based recommendations and unanswered questions[J]. *J Sci Sport Exerc*, doi:10.1007/s42978-021-00113-5.
- SCHOBERSBERGER W, LEICHTFRIED V, MUECK-WEYMANN M, et al., 2010. Austrian moderate altitude studies (AMAS): Benefits of exposure to moderate altitudes (1 500~2 500 m)[J]. *Sleep Breath*, 14(3): 201-207.
- 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 Spor*, 17(5): 588-594.
- SOLLI G S, TØNNESEN E, SANDBAKK Ø, 2017. The training characteristics of the world's most successful female cross-country skier[J]. *Front Physiol*, doi: 10.3389/fphys.2017.01069.
- STÖGGL T, ENQVIST J, MÜLLER E, et al., 2010. Relationships between body composition, body dimensions, and peak speed in cross-country sprint skiing[J]. *J Sports Sci*, 28(2): 161-169.
- 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*, doi: 10.3389/fspor.2020.00103.
- WEHRLIN J P, HALLÉN J, 2006. Linear decrease in  $\dot{V}O_{2max}$  and performance with increasing altitude in endurance athletes [J]. *Eur J Appl Physiol*, 96(4): 404-412.

(收稿日期:2021-08-03; 修订日期:2022-01-04; 编辑:尹航)

