



冰球比赛特征、体能需求及其测试方法综述 Review of Game Characteristic, Physical Fitness Demand and Test Methods of Ice Hockey

路 恒, 毛丽娟, 王 然*

LU Heng, MAO Lijuan, WANG Ran*

摘 要:系统梳理与分析国内外冰球项目的比赛特征、体能需求及其测试方法。研究发现:1)冰球比赛中运动员需要进行4~10次上场轮换,每次上场时间为30~90 s,上场比赛期间需要交替进行低、中、高强度运动,在长时间中低强度滑行过程中需要频繁穿插多方向爆发式移动;2)冰球是一项高强度间歇性团体球类项目,比赛的整体负荷较高,运动员需要具备较高的力量、爆发力、速度、灵敏、无氧耐力和有氧耐力等体能素质;3)建议使用陆上深蹲最大力量测试反映力量素质,使用陆上下肢水平与垂直爆发力测试反映爆发力素质,使用陆上与冰上冲刺测试反映速度素质,使用陆上与冰上5-10-5折返跑、冰上S形绕弯测试反映灵敏素质,使用冰上重复冲刺滑行测试反映无氧耐力素质,使用冰上30-15间歇折返滑行测试反映有氧耐力素质。

关键词:冰球;比赛特征;冰上运动表现;体能测试

Abstract: This study systematically combs and analyzes the game characteristics, physical fitness demand and testing methods of ice hockey domestic and foreign. It suggests that: 1) Athletes need 4 to 10 shifts during ice hockey games, each playing time is 30 to 90 s, athletes need to alternate low, medium and high intensity sports during the game, and frequent multi-directional explosive movements need to be interspersed during a long period of low and medium intensity sliding; 2) ice hockey as a high-intensity intermittent team ball project with the high overall load during the game. Ice hockey players need to have a high level of strength, power, speed, sensitivity, anaerobic endurance, aerobic endurance and other physical qualities; 3) it is recommended to use off-ice squat maximum strength test to reflect strength quality, using off-ice upper and lower limb horizontal and vertical explosive force test to reflect explosive quality, using off and on-ice sprint test to reflect speed quality, using off and on-ice 5-10-5 turn back run test and on-ice S corner test to reflect sensitivity quality, using on-ice repeated sprint gliding test to reflect anaerobic endurance quality, using on-ice 30-15 intermittent ice glide test to reflect aerobic endurance qualities.

Keywords: ice hockey; game characteristic; on-ice performance; physical fitness test

中图分类号:G862.3 **文献标识码:**A

基金项目:

上海市科学技术委员会项目(21010503500);上海市扬帆人才项目(19YF1445800);国家重点研发计划“科技冬奥”重点专项(2018YFF0300903)

第一作者简介:

路恒(1994-),男,硕士,主要研究方向为体能训练测试与评估,E-mail:luheng@sus.edu.cn。

*通信作者简介:

王然(1987-),男,教授,博士,博士研究生导师,主要研究方向为体能训练的生理适应机制,E-mail:wangran@sus.edu.cn。

作者单位:

上海体育学院,上海 200438
Shanghai University of Sport, Shanghai 200438, China.

冰球又称冰上曲棍球,是一项对体能要求极高的团体球类项目,需要运动员交替进行快节奏间歇性的攻防对抗,且其体能训练占其总训练时长的比例非常高(Cox et al., 1995)。体能测试能够反映运动员体能素质与冰上运动表现,有助于教练员和科研人员做出正确的训练与比赛决策。因此,本研究旨在通过梳理国内外相关研究,厘清冰球的比赛特征、体能需求及其测试方法,筛选出适合冰球运动员的体能测试方法。

本研究在中国知网、万方数据、PubMed、Web of Science、EBSCO 等数据库中,检索2000年1月—2022年1月与冰球的比赛特征、体能需求及测试方法相关的研究文献,共获得142篇文献,其中44篇(中文1篇,英文43篇)文献与本研究主题密切相关。通过系统归纳提炼,探析冰球的比赛特征、体能需求及其测试方法。

1 比赛特征

1.1 时间

一场冰球比赛共进行 3 局, 每局比赛持续时间为 20 min, 每局比赛间歇 15 min (Brocherie et al., 2018)。对冰球比赛的时间分析表明, 冰球比赛总时间一般在 70~90 min, 每名运动员的有效上场比赛时间通常为 15~25 min, 但有时也会超过 35 min (麻正茂, 2009; Noonan, 2010; Stanula et al., 2014, 2016)。此外, 冰球比赛中每局都有 4~10 次运动员轮换, 运动员每次轮换上场比赛时间约为 30~90 s, 每次轮换后在场下休息 2~5 min (Brocherie et al., 2018; Jackson et al., 2016, 2017)。

1.2 外部负荷

外部负荷指运动员在比赛或训练过程中完成的工作总和, 常用评价指标包括功率输出、移动距离和加速度等 (Bourdon et al., 2017)。冰球比赛中的移动过程根据动作特征可分为不同的运动模式 (站立、正滑、倒滑以及争球对抗等), 通过不同动作模式时长占比确定高、中、低 3 个强度区的分布。Jackson 等 (2016, 2017) 通过分析加拿大高水平冰球运动员的移动特征, 发现比赛过程中低强度正滑的时间占比最多 (45.8%~68.0%), 其次是中等强度正滑 (17.0%~34.3%), 而高强度滑行及争球对抗的时间占比较少 (6.0%~14.0%), 与 Brocherie 等 (2018) 研究结论一致。冰球运动员在比赛过程中大部分时间进行中低强度移动, 只有较少时间进行高强度滑行或争球对抗, 表明冰球是一种具有高强度间歇特点且需要运动员重复进行短距离冲刺的运动项目。

1.3 内部负荷

内部负荷指运动员在训练或比赛过程中承受的生物压力, 常用评价指标包括心率、乳酸浓度以及主观疲劳感觉等 (Bourdon et al., 2017)。现有关于冰球比赛内部负荷特征的研究大多通过测量比赛过程中运动员的心率反映其比赛时承受的内部负荷 (Schneider et al., 2018)。近年来, 关于冰球比赛心率特征的研究结果较为一致, 冰球运动员在比赛过程中的平均心率为 150~180 次/min (85%~96% HR_{max}), 峰值心率通常超过 180 次/min (>94% HR_{max})。Stanula 等 (2014, 2016) 根据第一通气阈和呼吸补偿点对应的心率将冰球比赛分为低 (79.5%~84.8% HR_{max})、中 (80.0%~92.4% HR_{max})、高 (>92.9% HR_{max}) 3 个强度区间, 并计算出低、中、高强度区间的时间占比分别为 54.9%~55.6%、22.4%~26.4% 和 18.7%~22.0%。

目前, 通过血乳酸浓度反映冰球运动员比赛时承受内部负荷大小的研究相对较少。现有研究表明, 冰球运动员比赛过程中的血乳酸浓度范围在 4~18 mmol/L (麻正茂, 2009; Green et al., 1976; Noonan, 2010)。其中, Green 等 (1976) 报道, 血乳酸浓度值 (1.2~8.9 mmol/L) 为最后一次轮换后的 3~8 min 内采集血液样本测得, 且并

未提供运动强度的相关信息。Noonan (2010) 采集了冰球运动员第一局与最后一局每次轮换间歇期内的血液样本, 测得血乳酸浓度范围为 4.4~13.7 mmol/L, 平均值为 8.15 mmol/L, 其中血乳酸浓度峰值为 13.7 mmol/L, 出现在比赛中“以少打多” (penalty kill) 的情况时。

虽然冰球运动员在比赛中处于中低强度区间的时间远大于高强度区间, 但其心率及乳酸特征表明冰球比赛施加给运动员的内部负荷较大, 对运动员的心肺功能要求较高。

1.4 位置

冰球比赛过程中每队上场人员分别为 3 名前锋 (左边锋、右边锋和中锋)、2 名后卫 (左后卫和右后卫) 以及 1 名守门员。在高水平冰球比赛中, 不同位置冰球运动员的代谢特征各不相同 (Jackson et al., 2017)。研究表明, 波兰冰球运动员前锋在中等强度心率区间的时间比后卫多 19%~21%, 而后卫在高强度心率区间的时间比前锋多 20%~26% (Stanula et al., 2014, 2016), 与 Lignell 等 (2018) 的研究结论一致。此外, 有研究通过加速度计、惯性测量系统、GPS 定位系统等设备测量冰球比赛的外部负荷, 结果均表明前锋的滑行强度更高 (Allard et al., 2022; Douglas et al., 2019a, 2019b; Jackson et al., 2016)。因此, 从心率等内部负荷指标来看, 后卫的比赛强度高于前锋; 从速度、距离等外部负荷指标来看, 前锋的比赛强度高于后卫。但无论冰球运动员在场上的任何位置, 其大部分时间都在进行中低强度运动, 期间穿插进行短时的高强度运动。

上述冰球的比赛特征表明, 冰球运动员在比赛过程中需要多次上场轮换, 每次上场比赛的时间较短, 比赛整体负荷较大, 在上场比赛期间需要交替进行低、中、高强度运动。冰球运动员在长时间的中低强度滑行过程中需要频繁穿插多方向爆发式移动, 因此需要具备良好的体能素质才能在比赛中占据优势。

2 体能需求及测试方法

冰球作为一项在冰上进行的间歇性团体球类项目, 要求运动员既要熟练掌握控球、传球及射门等技术, 又要具备高超的滑行技能, 而力量、爆发力、速度、灵敏、无氧耐力和有氧耐力等体能因素均会影响运动员冰上运动技术的实施, 因此有必要厘清冰球的体能需求与测试方法, 以准确评价冰球运动员的体能水平。

2.1 力量

2.1.1 力量需求

冰球运动员在比赛过程中常进行短时高强度爆发式滑行动作, 其上、下肢肌肉力量不仅是比赛中执行控球、射门、滑行、加速冲刺及变向动作的基础, 更是防御和阻挡对手的必要条件 (Montgomery, 1988)。较高的力量水平有助于运动员在滑行时降低重心、保持动态稳定、抵抗

对手的干扰(Twist et al., 1993a)。上肢力量的重要性更多体现在球门前区域,提高上肢力量有助于后卫在球门前进行有效拦截,也有助于前锋在进攻时保持身体姿态,避免被对手拦截(Twist et al., 1993b)。由于冰球运动员在执行专项技术动作时需紧握球杆,因此较高的握力水平有助于提高运动员在比赛过程中身体接触时的握杆能力和击球精度(Twist et al., 1993a)。冰上滑行阶段的力学分析表明,下肢力量对冰球运动员至关重要,尤其是股四头肌在滑行蹬伸时的收缩发力(夏骄阳等, 2009a, 2009b; Montgomery, 1988)。此外,模拟滑行冲刺时的表面肌电信号分析结果显示,股四头肌和腓绳肌激活程度最高(Behm et al., 2005)。

2.1.2 力量测试

目前,关于肌肉力量与冰上运动表现之间关系的研究较少,现有研究常用1次最大重复重量(1 maximum repetition, 1RM)测试评价运动员的肌肉力量水平。研究表明,不同水平的男子冰球运动员的深蹲1RM、倒蹬腿1RM与冰上冲刺速度之间的相关性较低($|r| \leq 0.3$)(Behm et al., 2005; Runner et al., 2016)。硬拉相对力量与85.6 m滑行时间之间呈中等程度负相关($r = -0.48$)(Boland et al., 2019)。但对美国大学生体育协会(National Collegiate Athletic Association, NCAA)冰球运动员的研究表明,深蹲1RM与冰上灵敏能力、冲刺速度以及重复冲刺能力之间均有较高的相关性($r = -0.73 \sim -0.82$)(Janot et al., 2015)。Peyer等(2011)研究发现,NACC一级联赛男子冰球运动员在力量水平上存在差异,且冰球运动员上、下肢力量水平指标与其比赛表现显著相关($r = 0.50 \sim 0.55$)。提示,可以通过运动员的全身肌肉力量水平预测冰球比赛成绩。虽然以往研究对通过1RM测试预测冰球运动员冰上运动表现的认同程度并不一致,但良好的肌肉力量是冰球运动员在赛场上制胜的重要因素,因此仍建议通过深蹲1RM测试评价冰球运动员的肌肉力量水平。

2.2 爆发力

2.2.1 爆发力需求

冰球运动员在比赛过程中需要执行多次快速启动、加速、急停、变向、射门、击球等动作,而爆发力是高效执行这些动作的基础(Stone et al., 2004),通过上、下肢爆发式动作进行滑行加速或击球射门对于冰球比赛的成功至关重要。运动员需要依靠上肢爆发力在对方球门前快速射门或者在己方球门前快速截击对手,依靠下肢爆发力在滑行前进时用身体阻挡对手,依靠躯干旋转爆发力完成强打(slapshots)等动作(Twist et al., 1993a)。

2.2.2 爆发力测试

冰球运动员的下肢爆发力关系到其冰上运动表现,通常采用垂直纵跳、立定跳远等测试评价并预测运动员的冰上运动表现。研究表明,垂直纵跳高度、峰值功率及冲量

等爆发力测试指标与冰上不同距离的冲刺速度、冰上无氧能力及冰上灵敏能力之间具有中高程度相关性($r = -0.51 \sim -0.92$)(Behm et al., 2005; Bracko et al., 2001; Delisle-Houde et al., 2019; Farlinger et al., 2007; Haukali et al., 2015; Janot et al., 2015; Krause et al., 2012; Runner et al., 2016)。以上结果均表明,冰球运动员的陆上垂直方向下肢爆发力可以预测其冰上冲刺、灵敏等多种滑行能力。除垂直纵跳外,相关研究中也常用水平方向跳远评价冰球运动员的爆发力。研究表明,陆上立定跳远、立定三级跳远与冰上冲刺能力及冰上灵敏能力之间均具有中高程度相关性($r = -0.45 \sim -0.78$)(Delisle-Houde et al., 2019; Farlinger et al., 2007; Krause et al., 2012; Runner et al., 2016)。但也有研究表明,立定跳远与冰上冲刺能力相关性较低($r < -0.24$)(Runner et al., 2016),其原因可能是运动员在冰面上的滑行能力不仅取决于其下肢爆发力,还涉及平衡和稳定等其他因素。虽然目前冰球运动员水平方向下肢爆发力与其冰上冲刺能力之间相关性结果不一,但考虑到两者在动作结构上的相似性,建议结合垂直纵跳和立定跳远等测试综合评价冰球运动员的下肢爆发力,并据此预测其滑行能力。

2.3 速度

2.3.1 速度需求

冰球是对运动员移动速度要求较高的团体球类项目。冰球运动员在比赛过程中的高强度滑行距离和前向冲刺滑行距离分别占总滑行距离的45%和18%(Brocherie et al., 2018; Lignell et al., 2018),最高滑行速度可达11 m/s(Simon, 2020)。更快的移动速度不仅有助于冰球运动员在进攻时争夺球权、摆脱防守并创造得分机会,也可以帮助其在防守时迅速回防并破坏对手进攻(Bracko et al., 2001)。

2.3.2 速度测试

目前,冰球运动员常用的速度测试包括陆上36 m冲刺、冰上6.1 m加速(图1A)、30~50 m冲刺(图1B)以及最大滑行速度(full speed)(图1C)测试等。冰上冲刺滑行与陆上冲刺跑动作虽有明显差异,但在身体姿态、关节角度和蹬伸方式上较为相似(魏惠琳等, 2019)。研究表明,冰上6.1 m加速与其他运动表现之间并未表现出显著的相关性($|r| < 0.35$)(Gilenstam et al., 2011; Janot et al., 2015),仅与陆上36 m冲刺呈中等程度相关性($r = 0.44$)(Bracko et al., 2001),原因可能是穿着比赛装备及滑冰鞋不利于运动员进行冲刺启动。相比之下,陆上36 m冲刺时间与冰上不同距离冲刺速度、重复冲刺能力以及冰上灵敏能力之间在不同水平冰球运动员中均具有较高相关性($|r| = 0.64 \sim 0.94$)(Behm et al., 2005; Bracko et al., 2001; Farlinger et al., 2007; Haukali et al., 2015; Janot et al., 2015; Krause et al., 2012)。此外,部分针对青少年冰球运动员的研究表明,陆上冲刺能力与冰上灵敏能力之间存在中

等程度相关性 ($r=0.52\sim 0.62$) (Bracko et al., 2001; Farlinger et al., 2007; Krause et al., 2012), 仅靠陆上冲刺速度可能无法准确预测冰上灵敏能力, 还需要结合其他体能测试进行综合评价。因此, 陆上冲刺速度和冰上冲刺速度与灵敏能力密切相关, 推荐使用冰上与陆上 36 m 冲刺及冰上最大滑行速度评价冰球运动员的速度。

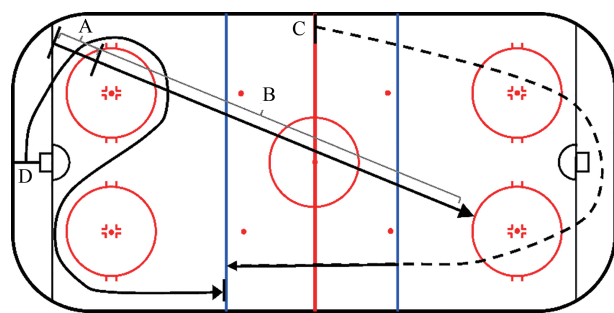


图1 冰上测试路线图

Figure 1. On-Ice Test Roadmap

注: A、6.1 m 加速测试; B、直线冲刺测试; C、最大速度测试; D、S 弯测试。

2.4 灵敏

2.4.1 灵敏需求

灵敏是运动员在比赛过程中根据实际情况做出反应, 快速、准确调整动作方向和速度的能力 (高崇等, 2021)。冰球比赛过程中, 运动员的启动、急停、快速转弯、左右交叉滑步、快速侧蹬步、之字形移动和变向等动作均为灵敏能力的体现。对前锋来讲, 灵敏能力关系到其进攻时对球杆和球的控制, 以及能否摆脱对手的防守; 对后卫而言, 灵敏能力关系到其防守时能否与对手保持一定的角度, 进而在正滑和倒滑之间迅速切换 (Twist et al., 1993a, 1993b)。

2.4.2 灵敏测试

目前, 冰球运动员常用的灵敏 (pro-agility) 测试包括冰上与陆上 5-10-5 折返跑测试 (图 2) 以及冰上 S 形绕弯测试 (图 1D)。研究表明, 陆上 5-10-5 折返跑测试与冰上的灵敏测试、30 m 前向冲刺、15.2 m 全速滑行及重复冲刺能力之间均表现出中高程度相关性 ($r=0.51\sim 0.87$) (Delisle-Houde et al., 2019; Janot et al., 2015)。冰上 S 形绕弯测试是本研究检索到的文献中出现频率最高的冰上灵敏能力测试。研究表明, 冰上 S 弯测试具有较高的重测信度 ($r=0.96$), 且与下肢力量、爆发力、陆上冲刺速度、灵敏、无氧耐力、冰上冲刺速度等一系列指标之间均具有较高相关性 ($|r|=0.52\sim 0.82$) (Behm et al., 2005; Bracko et al., 2001; Farlinger et al., 2007; Haukali et al., 2015; Krause et al., 2012)。因此, 灵敏能力也会直接影响高水平冰球运动员的冰上运动表现, 推荐使用 S 弯测试和冰上与陆上 5-10-5 折返测试评价冰球运动员的灵敏能力。

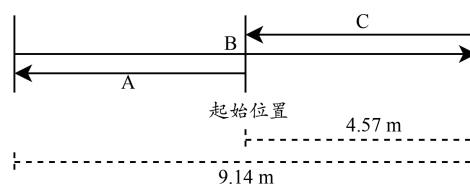


图2 5-10-5测试路线图

Figure 2. 5-10-5 Test Roadmap

注: A. 出发; B. 折返; C. 返回。

2.5 无氧耐力

2.5.1 无氧耐力需求

冰球比赛要求运动员上场时完成多次间歇性的中高强度移动, 因而对无氧耐力要求极高 (Léger et al., 1979)。磷酸原系统是进行 10 s 内高强度爆发式动作 (如加速、抢球、射门等) 的主要能量来源, 而持续时间在 10~60 s 的高强度运动会引起机体无机磷酸盐、 H^+ 和乳酸浓度增加以及 pH 值下降, 此时无氧糖酵解系统成为能量供应的主要来源 (陈小平, 2017; 黎涌明等, 2014a, 2014b; Gaitanos et al., 1993)。因此, 冰球比赛时一般通过轮换限制运动员单次上场时间, 一方面防止高强度运动时间过长导致乳酸积累, 另一方面利用间歇保证磷酸原系统恢复, 进而延缓运动表现的下降 (Montgomery, 1988)。

2.5.2 无氧耐力测试

实验室环境下常用 Wingate 无氧测试和重复冲刺骑行测试评价无氧耐力。Wingate 无氧测试要求运动员在功率自行车上进行 30 s 全力冲刺骑行并测量平均功率和峰值功率, 具有较高的信效度 (李博等, 2021; Bar-Or, 1987)。冰球运动员 Wingate 无氧测试结果与冰上运动表现之间的相关性存在差异。有研究报道, Wingate 无氧测试的峰值功率与冰上冲刺滑行速度之间呈显著正相关 (Delisle-Houde et al., 2019; Farlinger et al., 2007; Janot et al., 2015)。但也有研究得到了不同结论 (Nightingale et al., 2013; Potteiger et al., 2010)。上述差异的原因可能在于 Wingate 无氧测试并未考虑冰球的专项运动特征, 功率自行车骑行动作与冰面滑行动作在体质量支撑等方面存在较大差异。冰球比赛的持续时间至少为 60 min, 运动员需要具备在比赛时进行高强度重复冲刺以及在比赛间歇中快速恢复的能力才能获得比赛优势, 这种能力被统称为重复冲刺能力 (Peterson et al., 2016)。Wilson 等 (2010) 针对冰球比赛的间歇特征设计了功率自行车重复冲刺骑行测试 (5 s 全力冲刺骑行后进行 10 s 低强度骑行, 共重复 4 次), 结果表明, 5 s 峰值功率、平均功率及疲劳指数均表现出较高的重测信度 (intraclass correlation coefficient, ICC) ($0.82\sim 0.86$)。然而, 针对滑行技术的力学分析表明, 滑行动作在疲劳和非疲劳状态下存在较大差异, 运动员在疲劳状态下滑行时无法将支撑腿放在冰面最佳位置上进行蹬伸, 同时无法维持滑行的速度和步幅 (Marino et al., 2000)。相比之

下,功率自行车骑行动作具有更稳定的周期性特征,这种动作模式上的差异可能导致在实验室环境中使用功率自行车测得的无氧测试结果无法有效评价运动员的冰上运动表现,具有专项特征的冰上重复冲刺滑行测试可能更适用于冰球运动员无氧耐力测试(Bracko, 2001)。

现有研究使用了不同类型的冰上重复冲刺滑行测试。早期研究中使用的重复冲刺滑行(repeat repeat sprint skate, RRSS)测试要求运动员滑行6次(共计51 m),每次间歇30 s,通过总冲刺时间和单次冲刺时间计算运动员的无氧能力、速度指数及疲劳指数,RRSS测试具有较高的重测信度(ICC=0.78)且与Wingate无氧测试具有显著正相关关系($r=0.82$)(Arnett, 1996; Cox et al., 1995)。Bracko(2001)研究发现,优秀女子冰球运动员和普通女子冰球运动员在测试时间、功率和无氧能力上存在差异,表明RRSS可以区分不同水平运动员的无氧能力。Watson等(1986)开发了一种重复无氧滑行(sargent anaerobic skate, SAS)测试,要求运动员在40 s内尽全力往返滑行于赛场两端并测量滑行的总距离,该测试表现出中等水平的重测信度($r=0.65$),且与Wingate无氧测试间具有显著正相关关系($r=0.73$)。然而,RRSS和SAS均会引发运动员疲劳,使其无法在测试时尽全力滑行,进而导致测试指标的变异系数变大(Power et al., 2012)。Power等(2012)报道了一种新型重复冲刺滑行测试(repeat ice skating test, RIST),要求运动员在冰球场上完成6次49 m滑行,每次间歇10 s,该测试表现出较高的重测信度(ICC=0.98~0.99),但该测试的信效度数据研究对象为11~16岁的青少年冰球运动员,目前尚无精英冰球运动员的数据。总体看来,在测试冰球运动员无氧耐力时最好选用结合冰球专项动作特征且重测信度较高的测试,推荐采用RIST进行无氧耐力测试,但该测试在不同水平运动员群体中的信效度仍有待研究。

2.6 有氧耐力

2.6.1 有氧耐力需求

冰球的比赛特征表明,运动员在冰球比赛中承受的全体负荷较高,必须具备良好的有氧耐力才能在高强度比赛的间歇快速恢复,并在长时间比赛中保持较高的运动表现(陈小平, 2004; Burr et al., 2008; Zajac et al., 2010)。运动员在高强度间歇性运动中的恢复快慢与有氧耐力关系密切,良好的有氧耐力有助于减少乳酸积累以及糖原消耗(Karlsson et al., 1972)。此外,磷酸肌酸的再合成也需要氧气参与,运动后运输到肌肉的氧气增加有助于提高磷酸肌酸再合成的速率(Colliander et al., 1988)。研究表明,有训练经历的运动员磷酸肌酸再合成速率更快,运动表现也更高(Takahashi et al., 1995)。Green等(2006)研究表明,有氧耐力较高的NCAA冰球运动员在比赛中表现出较高的抗疲劳水平和较长的高水平运动表现维持时

间,因此在比赛中得分的机会也更多。

2.6.2 有氧耐力测试

既往研究通常采用气体代谢分析仪在跑台或功率自行车上测试冰球运动员的最大摄氧量($\dot{V}O_{2max}$)以评价其有氧耐力(Cox et al., 1995; Montgomery, 1988),此类测试的信效度较高,但存在步骤繁琐且仪器昂贵等缺点。冰球运动员在比赛中需要频繁加速、急停和变向,多变的动作强度和动作持续时间不同于功率自行车上相对稳定的周期性动作,冰球运动员在比赛中的肌肉激活程度和能量代谢特征与功率自行车测试间存在较大差异(Stanula et al., 2013)。因此,在功率自行车上使用递增负荷测试可能无法准确量化冰球运动员的心率强度区间(Akubat et al., 2011)。研究表明,跑台上测得的 $\dot{V}O_{2max}$ 与 HR_{max} 均高于功率自行车测试(Maeder et al., 2005)。Durocher等(2010)对NCAA冰球运动员进行了陆上功率自行车以及冰上滑行测试,结果表明,冰上测试的 $\dot{V}O_{2max}$ [冰上:(46.9 ± 1.0) $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$,陆上:(43.6 ± 0.9) $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, $P < 0.05$]和 HR_{max} [冰上:(192.2 ± 1.8)次/min,陆上:(186.0 ± 1.5)次/min, $P < 0.01$]显著高于陆上测试,且冰上测试与陆上测试的 $\dot{V}O_{2max}$ 之间相关性极低($r=-0.002$, $P=0.99$)。Stanula等(2014, 2016)也观察到冰球运动员在比赛期间测得的 HR_{max} (190.7~195.6次/min)高于其使用功率自行车进行递增负荷测试时测得的 HR_{max} (183.6~190.5次/min)。因此,通过陆上测试评价冰球运动员的有氧耐力应优先选择基于跑台的递增负荷测试。

考虑到冰球项目的高强度间歇特征,有学者建议选取与其动作特征相似的冰上测试评价运动员的有氧耐力,同时建议运动员在测试时穿着冰球专用服装(Bracko, 2001)。Petrella等(2007)对406名9~25岁的冰球运动员在48.8 m的赛道上进行连续有氧滑行测试(faught aerobic skating test, FAST)直至力竭,并通过实验室跑台递增负荷测试建立回归模型,结果表明,FAST可以显著预测冰球运动员的 $\dot{V}O_{2max}$ 。Leone等(2007)对30名冰球运动员进行45 m多级往返间歇滑行测试(skating multistage aerobic test, SMAT),结果表明,SMAT在评价冰球运动员有氧耐力时具有较高的信度($r=0.92$)和效度($r=0.97$)。Allisse等(2018)确认了SMAT的信效度,并在此基础上引入滑行跨步指数(skating stride index, SSI)以进一步提升该方法预测有氧耐力的准确性。但Buchheit等(2011)认为,FAST是一种连续滑行测试,其动作模式不符合冰球的专项动作特征,会导致运动员背部肌肉过早疲劳,而SMAT测试时可能会动用运动员的无氧供能系统从而高估其有氧耐力。因此,Buchheit等(2011)将传统的30-15间歇折返跑测试(30-15 intermittent fitness test, 30-15_{IFT})调整为冰上30-15间歇折返滑行测试(30-15 intermittent ice test, 30-15_{ITT}),结果表明,30-15_{ITT}中的最大滑行速度以及次最大心

率和 HR_{max} 均表现出较好的重测信度 ($ICC>0.94$, $CV<1.6\%$), 且最大滑行速度与峰值摄氧量估算值具有较高相关性 ($r=0.71$, $P=0.009$), 表明 30-15_{IT} 具有较高的专项性, 适用于评价冰球运动员的有氧耐力。

2.7 冰球体能测试方法

在冰球比赛特征和体能需求分析的基础上, 本研究进一步筛选出适合冰球运动员的信效度较高的体能测试方法(表 1)。考虑到冰球运动员在冰上训练时间较短, 力量和爆发力等体能素质建议使用陆上体能测试进行评价, 而速度、灵敏、无氧耐力和有氧耐力等涉及运动员移动能力的体能素质建议结合冰上和陆上体能测试进行综合评价。建议: 1) 力量, 推荐使用深蹲 1RM 测试, 体能训练经验丰富的运动员推荐使用 1RM 测试, 新手运动员推荐使用 nRM 测试推算出 1RM。2) 爆发力, 推荐使用 CMJ、SJ 测试运动员的垂直爆发力, 使用立定跳远测试运动员的水平爆发力。3) 速度, 推荐使用光电门记录冰上与陆上 36 m 冲刺及 15.2 m 最大速度, 冰上 36 m 冲刺路线如图 1B 所示, 冰上最大速度路线如图 1C 所示, 运动员在场上从一侧中场出发, 逐渐加速至最大速度滑过对侧的 2 条蓝线, 记录 2 条蓝线之间的滑行时间(图 1)。4) 灵敏, 推荐使用光电门记录冰上与陆上 5-10-5 折返测试及冰上 S 形绕弯测试, 5-10-5 折返测试将 3 个标志桶排成一条直线, 每个标志桶之间相距 4.6 m, 要求运动员三点支撑站在中间, 听到出发口令后先向左侧标志桶移动后再折返至右侧标志桶, 随后更换方向进行第 2 次测试, 记录每次折返的时间。冰上 S 形绕弯测试要求运动员从球门后分别向左和向右出发, 沿争球区外沿进行 S 形绕弯至蓝线处, 同时要求运动员冰鞋不得触碰到争球区边线(图 1D)。5) 无氧耐力, 推荐使用重复冲刺滑行测试, 运动员从中心线向右侧出发, 滑行绕过球门后至对侧中心线(图 1C), 单次滑行距离为 49 m, 共滑行 6 次, 前 2 次间歇 10 s, 第 3 次滑行后休息 10 min, 随后继续后 3 次滑行, 间歇均为 10 s, 使用光电门记录运动员每次滑行的时间, 以计算 6 次滑行的平均时间。6) 有氧耐力, 推荐使用 30-15 间歇折返滑行测试, 该测试通过音乐控制运动员的滑行节奏, 要求运动员持杆在长度为 40 m(间隔 20 m 放置标志桶)的直线上折返滑行 30 s 后间歇 15 s, 初始滑行速度为 10.8 km/h, 随后每级速度递增 0.63 km/h, 每个 30 s 滑行中间有若干节奏点控制运动员的滑行距离, 30 s 音乐结束后运动员需滑至离其最近的 20 m 线处, 当运动员连续 3 次在 30 s 音乐结束时距最近的标志桶距离超过 3 m 则结束测试, 记录运动员的最大滑行速度。

3 总结与展望

比赛特征与体能需求分析表明, 冰球是一项高强度间歇性团体球类项目, 比赛过程中运动员上场轮换次数较多, 每次上场比赛时间较短, 上场比赛期间需要交替进

行低、中、高强度运动, 在长时间的中低强度滑行过程中需要频繁穿插多方向爆发式移动, 比赛时运动员的整体负荷较高, 需要具备较高的力量、爆发力、速度、灵敏、无氧耐力和有氧耐力等体能素质。陆上深蹲 1RM、CMJ、SJ、立定跳远、陆上与冰上 36 m 冲刺、冰上 15.2 m 最大速度、陆上与冰上 5-10-5 折返、冰上 S 弯、RIST、30-15_{IT} 等体能测试可以较好地预测冰球运动员的冰上运动表现, 建议基于上述体能测试方法综合评价冰球运动员的体能素质与冰上运动表现。

表 1 冰球运动员体能测试方法
Table 1 Physical Fitness Test Methods in Ice Hockey Players

体能素质	测试内容	测试类型	参考文献
力量	深蹲 1RM	陆上测试	Janot 等(2015)
爆发力	CMJ	陆上测试	Haukali 等(2015)
	SJ	陆上测试	
速度	立定跳远	陆上测试	Farlinger 等(2007)
	36 m 冲刺	陆上测试	Bracko 等(2001)
	36 m 冲刺	冰上测试	Janot 等(2015)
	最大滑行速度	冰上测试	
灵敏	5-10-5 折返	陆上测试	Delisle-Houde 等(2019)
	5-10-5 折返	冰上测试	
	S 弯测试	冰上测试	
无氧耐力	RIST	冰上测试	Janot 等(2015)
有氧耐力	30-50 _{IT}	冰上测试	Power 等(2012)
			Buchheit 等(2011)

注: CMJ. 反向纵跳; SJ. 静蹲跳; RIST. 冰上重复冲刺测试; 30-50_{IT}. 30-15 间歇折返滑行测试。

未来的研究需要进一步明确冰球的比赛时空特征、专项能量供应特征以及不同类型体能测试与冰上运动表现之间的关系, 为准确评价冰球运动员体能素质奠定基础。

参考文献:

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.

陈小平, 2017. 运动训练生物学基础模型的演变: 从超量恢复学说运动适应理论[J]. 体育科学, 37(1): 3-13.

高崇, 杨威, 廖开放, 等, 2021. 人体运动的灵敏: 定义与测试[J]. 成都体育学院学报, 47(6): 122-129.

黎涌明, 毛承, 2014a. 竞技体育项目的专项供能比例: 亟待纠正的错误[J]. 体育科学, 34(10): 93-97.

黎涌明, 纪晓楠, 资薇, 2014b. 人体运动的本质[J]. 体育科学, 34(2): 11-17.

李博, 刘翠佳, 杨威, 等, 2021. 滑得更快的科学: 速度滑冰的运动生物学特征[J]. 体育科学, 41(8): 34-42, 60.

麻正茂, 2009. 我国男子冰球运动员比赛负荷特征的研究[J]. 冰雪运动, 31(1): 19-24, 79.

魏惠琳, 王寅博, 邱招义, 2019. 短距离速度滑冰专项能力研究进展与发展趋势[J]. 北京体育大学学报, 42(10): 128-138.

夏娇阳, 张颖, 张晓明, 2009a. 优秀滑冰运动员膝关节肌力特征的比较研究[J]. 北京体育大学学报, 32(8): 130-131, 134.

- 夏骄阳,张颖,王新, 2009b. 优秀速度滑冰运动员下肢肌肉力量特征的力学分析[J]. 成都体育学院学报, 35(9): 77-80.
- AKUBAT I, ABT G, 2011. Intermittent exercise alters the heart rate-blood lactate relationship used for calculating the training impulse (TRIMP) in team sport players[J]. J Sci Med Sport, 14(3): 249-253.
- ALLARD P, MARTINEZ R, DEGUIRE S, et al., 2022. In-season session training load relative to match load in professional ice hockey[J]. J Strength Cond Res, 36(2): 486-492.
- ALLISSE M, BUI H T, LÉGER L, et al., 2018. Updating the skating multistage aerobic test and correction for $\dot{V}O_{2max}$ prediction using a new skating economy index in elite youth ice hockey players[J]. J Strength Cond Res, 34(11): 3182-3189.
- ARNETT M G, 1996. Effects of specificity training on the recovery process during intermittent activity in ice hockey [J]. J Strength Cond Res, 10(2): 124-126.
- BAR-OR O, 1987. The Wingate anaerobic test: An update on methodology, reliability and validity[J]. Sports Med, 4(6): 381-394.
- BEHM D G, WAHL M J, BUTTON D C, et al., 2005. Relationship between hockey skating speed and selected performance measures[J]. J Strength Cond Res, 19(2): 326-331.
- BOLAND M, DELUDE K, MIELE E M, 2019. Relationship between physiological off-ice testing, on-ice skating, and game performance in division I female ice hockey players [J]. J Strength Cond Res, 33(6): 1619-1628.
- BOURDON P C, CARDINALE M, MURRAY A, et al., 2017. Monitoring athlete training loads: Consensus statement[J]. Int J Sports Physiol Perform, 12(Suppl 2): S2161-S2170.
- BRACKO M R, 2001. On-ice performance characteristics of elite and non-elite women's ice hockey players [J]. J Strength Cond Res, 15(1): 42-47.
- BRACKO M R, GEORGE J D, 2001. Prediction of ice skating performance with off-ice testing in women's ice hockey players [J]. J Strength Cond Res, 15(1): 116-122.
- BROCHERIE F, GIRARD O, MILLET G P, 2018. Updated analysis of changes in locomotor activities across periods in an international ice hockey game[J]. Biol Sport, 35(3): 261-267.
- BUCHHEIT M, LEFEBVRE B, LAURSEN P B, et al., 2011. Reliability, usefulness, and validity of the 30-15 intermittent ice test in young elite ice hockey players[J]. J Strength Cond Res, 25(5): 1457-1464.
- BURR J F, JAMNIK R K, BAKER J, et al., 2008. Relationship of physical fitness test results and hockey playing potential in elite-level ice hockey players[J]. J Strength Cond Res, 22(5): 1535-1543.
- COLLIANDER E B, DUDLEY G A, TESCH P A, 1988. Skeletal muscle fiber type composition and performance during repeated bouts of maximal, concentric contractions [J]. Eur J Appl Physiol Occup Physiol, 58(1-2): 81-86.
- COX M H, MILES D S, VERDE T J, et al., 1995. Applied physiology of ice hockey[J]. Sports Med, 19(3): 184-201.
- DELISLE-HOUE P, CHIARLITTI N A, REID R E R, et al., 2019. Predicting on-ice skating using laboratory-and field-based assessments in collegiate ice hockey players[J]. Int J Sports Physiol Perform, 14(9): 1184-1189.
- DOUGLAS A S, ROTONDI M A, BAKER J, et al., 2019a. On-ice physical demands of world-class women's ice hockey: From training to competition[J]. Int J Sports Physiol Perform, 14(9): 1227-1232.
- DOUGLAS A S, KENNEDY C R, 2019b. Tracking in-match movement demands using local positioning system in world-class men's ice hockey[J]. J Strength Cond Res, 34(3): 639-646.
- DUROCHER J J, GUISEFREDI A J, LEETUN D T, et al., 2010. Comparison of on-ice and off-ice graded exercise testing in collegiate hockey players[J]. Appl Physiol Nutr Metab, 35(1): 35-39.
- FARLINGER C M, KRUISSELBRINK L D, FOWLES J R, 2007. Relationships to skating performance in competitive hockey players[J]. J Strength Cond Res, 21(3): 915-922.
- GAITANOS G C, WILLIAMS C, BOOBIS L H, et al., 1993. Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise [J]. J Appl Physiol, 75(2): 712-719.
- GILENSTAM K M, THORSEN K, HENRIKSSON-LARSEN K B, 2011. Physiological correlates of skating performance in women's and men's ice hockey[J]. J Strength Cond Res, 25(8): 2133-2142.
- GREEN H, BISHOP P, HOUSTON M, et al., 1976. Time-motion and physiological assessments of ice hockey performance[J]. J Appl Physiol, 40(2): 159-163.
- GREEN M R, PIVARNIK J M, CARRIER D P, et al., 2006. Relationship between physiological profiles and on-ice performance of a National Collegiate Athletic Association division I hockey team[J]. J Strength Cond Res, 20(1): 43-46.
- HAUKALI E, TJELTA L I, 2015. Correlation between "off-ice" variables and skating performance among young male ice hockey players[J]. Int J Appl Sports Sci, 27(1): 26-32.
- JACKSON J, SNYDMILLER G, GAME A, et al., 2016. Movement characteristics and heart rate profiles displayed by female university ice hockey players[J]. Int J Kinesiol Sports Sci, 4(1): 43-54.
- JACKSON J, SNYDMILLER G, GAME A, et al., 2017. Investigation of positional differences in fitness of male university ice hockey players and the frequency, time spent and heart rate of movement patterns during competition[J]. Int J Kinesiol Sports Sci, 5(3): 6-15.
- JANOT J M, BELTZ N M, DALLECK L D, 2015. Multiple off-ice performance variables predict on-ice skating performance in male and female division III ice hockey players[J]. J Sports Sci Med, 14(3): 522-529.
- KARLSSON J, NORDESJÖ L O, JORFELDT L, et al., 1972. Muscle lactate, ATP, and CP levels during exercise after physical training in man[J]. J Appl Physiol, 33(2): 199-203.
- KRAUSE D A, SMITH A M, HOLMES L C, et al., 2012. Relationship of off-ice and on-ice performance measures in high school male hockey players[J]. J Strength Cond Res, 26(5): 1423-1430.
- LÉGER L, SELIGER V, BRASSARD L, 1979. Comparisons among $\dot{V}O_{2max}$ values for hockey players and runners[J]. Can J Appl Sport Sci, 4(1): 18-21.
- LEONE M, LÉGER L A, LARIVIERE G, et al., 2007. An on-ice aerobic maximal multistage shuttle skate test for elite adolescent hockey players[J]. Int J Sports Med, 28(10): 823-828.
- LIGNELL E, FRANSSON D, KRUSTRUP P, et al., 2018. Analysis of high-intensity skating in top-class ice hockey match-play in rela-

- tion to training status and muscle damage[J]. *J Strength Cond Res*, 32(5): 1303-1310.
- MAEDER M, WOLBER T, ATEFY R, et al., 2005. Impact of the exercise mode on exercise capacity: Bicycle testing revisited [J]. *Chest*, 128(4): 2804-2811.
- MARINO W G, DROUIN D, 2000. Effects of fatigue on forward, maximum velocity in ice hockey skating[C]. Hong Kong, China: 18 International Symposium on Biomechanics in Sports.
- MONTGOMERY D D L, 1988. Physiology of ice hockey[J]. *Sports Med*, 5(2): 99-126.
- NIGHTINGALE S C, MILLER S, TURNER A, 2013. The usefulness and reliability of fitness testing protocols for ice hockey players: A literature review[J]. *J Strength Cond Res*, 27(6): 1742-1748.
- NOONAN B C, 2010. Intragame blood-lactate values during ice hockey and their relationships to commonly used hockey testing protocols[J]. *J Strength Cond Res*, 24(9): 2290-2295.
- PETERSON B J, FITZGERALD J S, DIETZ C C, et al., 2016. Off-Ice anaerobic power does not predict on-ice repeated shift performance in hockey[J]. *J Strength Cond Res*, 30(9): 2375-2381.
- PETRELLA N J, MONTELPARE W J, NYSTROM M, et al., 2007. Validation of the FAST skating protocol to predict aerobic power in ice hockey players[J]. *Appl Physiol Nutr Metab*, 32(4): 693-700.
- PEYER K L, PIVARNIK J M, EISENMANN J C, et al., 2011. Physiological characteristics of National Collegiate Athletic Association Division I ice hockey players and their relation to game performance[J]. *J Strength Cond Res*, 25(5): 1183-1192.
- POTTEIGER J A, SMITH D L, MAIER M L, et al., 2010. Relationship between body composition, leg strength, anaerobic power, and on-ice skating performance in division I men's hockey athletes[J]. *J Strength Cond Res*, 24(7): 1755-1762.
- POWER A, FAUGHT B E, PRZYSUCHA E, et al., 2012. Establishing the test-retest reliability & concurrent validity for the repeat ice skating test (RIST) in adolescent male ice hockey players[J]. *Meas Phys Educ Exerc Sci*, 16(1): 69-80.
- RUNNER A R, LEHNHARD R A, BUTTERFIELD S A, et al., 2016. Predictors of speed using off-ice measures of college hockey players[J]. *J Strength Cond Res*, 30(6): 1626-1632.
- SCHNEIDER C, HANAKAM F, WIEWELHOVE T, et al., 2018. Heart rate monitoring in team sports: A conceptual framework for contextualizing heart rate measures for training and recovery prescription[J]. *Front Physiol*, doi: 10.3389/fphys.2018.00639.
- SIMON, 2020. How Fast Can Ice Hockey Players Skate? [EB/OL]. [2021-09-01]. <https://bshockey.com/how-fast-can-hockey-players-skate/>.
- STANULA A J, GABRYŚ T T, SZMATLAN-GABRYŚ U, et al., 2013. Calculating lactate anaerobic thresholds in sports involving different endurance preparation[J]. *J Exerc Sci Fit*, 11(1): 12-18.
- STANULA A J, ROCZNIOK R K, 2014. Game intensity analysis of elite adolescent ice hockey players [J]. *J Hum Kinet*, 44(1): 211-221.
- STANULA A J, GABRYŚ T T, ROCZNIOK R K, et al., 2016. Quantification of the demands during an ice-hockey game based on intensity zones determined from the incremental test outcomes [J]. *J Strength Cond Res*, 30(1): 176-183.
- STONE M H, SANDS W A, CARLOCK J, et al., 2004. The importance of isometric maximum strength and peak rate-of-force development in sprint cycling[J]. *J Strength Cond Res*, 18(4): 878-884.
- TAKAHASHI H, INAKI M, FUJIMOTO K, et al., 1995. Control of the rate of phosphocreatine resynthesis after exercise in trained and untrained human quadriceps muscles[J]. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 71(5): 396-404.
- TWIST P, RHODES T, 1993a. Exercise physiology: The bioenergetic and physiological demands of ice hockey[J]. *Strength Cond J*, 15(5): 68-70.
- TWIST P, RHODES T, 1993b. Exercise physiology: A physiological analysis of ice hockey positions[J]. *Strength Cond J*, 15(6): 44-46.
- WATSON R C, SARGEANT T L, 1986. Laboratory and on-ice test comparisons of anaerobic power of ice hockey players[J]. *Can J Appl Sport Sci*, 11(4): 218-224.
- WILSON K, SNYDMILLER G, GAME A, et al., 2010. The development and reliability of a repeated anaerobic cycling test in female ice hockey players[J]. *J Strength Cond Res*, 24(2): 580-584.
- ZAJAC A, CZUBA M, POPRZECKI S, et al., 2010. Effects of growth hormone therapy and physical exercise on anaerobic and aerobic power, body composition, lipoprotein profile in middle aged men[J]. *J Hum Kinet*, 25(1): 67-76.

(收稿日期: 2021-12-08; 修订日期: 2022-08-01; 编辑: 尹航)