



短道速度滑冰运动生物学特征研究进展

马杰

(中国戏曲学院, 北京 100073)

摘要:短道速滑是我国冬季运动优势项目,但国内针对该项目的运动生物学理论研究还相对不足。通过查阅文献,对该项目技术、体能、战术、运动损伤等方面的生物学特征进行了梳理。短道速滑运动是一项对技术要求较高的竞速类项目,在弯道滑行时具有躯干前倾、身体内倾、姿势蹲屈、单支撑长于双支撑且右单支撑长于左单支撑等特点,冰刀切向力与压力中心点的控制与弯道速度保持有关。短道速滑运动对平衡协调能力要求较高;膝关节的伸展主要提供滑行动力而等长屈曲动作主要用于维持滑行姿势;右腿胫骨前肌与股直肌对速度贡献最大;滑行姿势与弯道技术限制了运动员的最大摄氧量水平并导致血流供输与氧利用出现左右腿差异。起动排位与启动加速对短距离项目影响较大,内道起动排位可为比赛建立优势,而跟滑战术对长距离项目更为重要;比赛中需重视根据场上对手的变化来调整自身的速度。短道速滑运动员的膝、踝、腰、大腿等是常见损伤部位。

关键词:短道速滑;生物学特征;技术;速度节奏

中图分类号:G862.1 **文献标识码:**A

短道速度滑冰简称短道速滑,既是体能主导类速度型项目,又是同场竞技类项目。自1992年该项目被正式列入冬奥会以来,我国短道速滑队在奥运会比赛中共获得10金15银8铜,其中金牌数占我国冬奥会金牌总数的77%。可见,该项目已成为我国传统优势项目。但与优异的成绩相比,国内关于该项目运动生物学层面的基础理论研究相对不足。运动生物学知识是训练理论的重要基础,它从自然科学角度对训练科学形成支撑,是制定训练目标和任务、选择训练方法和手段、监控训练过程以及监测训练效果的依据(陈小平,2010)。而运动生物学理论研究的不足可能是限制我国短道速滑竞技水平提升的因素,尤其在平昌冬奥会中我国短道速滑项目成绩出现下滑的形势下,加强对该项目运动生物学基础理论研究显得更为必要。

本研究以“短道速滑”为检索词,在中国知网核心期刊数据库(1993—2020年)中进行主题搜索,共查到29篇运动生物学相关文献。研究多集中于顶尖运动员的个案分析或对训练过程的分析,较少选取更大样本量进行项目一般特征的研究。此外,本研究以“short track”为关键词,通过Google Scholar、EESCO、Web of Science、百链云等数据库(1996—2020年)进行主题搜索,共查到81篇相关文献。研究多以实验形式开展,或对比赛的研究。本文围绕短道速滑运动中的技术、肌肉用力、机体代谢及比赛

中战术与速度节奏、运动员的运动素质与运动损伤等主题对现有文献进行综述并总结特征。

1 短道速滑运动的技术特征

划分技术阶段是研究技术的基本前提。国外文献一般以单侧下肢动作的变化为依据,将一个复步技术划分为随滑阶段、后蹬阶段、还原阶段(图1)(Khuyagbaatar et al., 2017; Konings et al., 2015; Tserenchimed et al., 2018),国内文献则通常将其分为2个单支撑阶段与2个双支撑阶段(纪仲秋等,2002;王帅等,2019)。

1.1 滑幅与滑频

目前鲜有文献对滑幅与滑频的专门研究。林辉杰(2017)采用符号检验法对国内500 m项目运动员的比赛进行分析后发现,与普通组相比,优异组运动员在全程比赛中具有较高步频与较小步幅的特点。此外,Hesford等(2012)在运动员完成500 m、1 000 m、1 500 m测试时发现,各项目第1圈的滑频由高到低依次为500 m、1 000 m、1 500 m,男子依次为(30±1)次、(29±1)次、(25±4)次,女子依次为(35±1)次、(32±3)次、(25±1)次,其中男子500 m、1 000 m低于女子,且500 m的差异显著($P<0.05$)。

收稿日期:2020-05-29; 修订日期:2021-01-21

作者简介:马杰(1989-),男,讲师,博士,主要研究方向为运动训练学,
E-mail:807761254@qq.com。

此差异产生的主要原因可能是女子在快速启动阶段的后

蹬力量不如男子,所以主要靠增加滑频来提高速度。

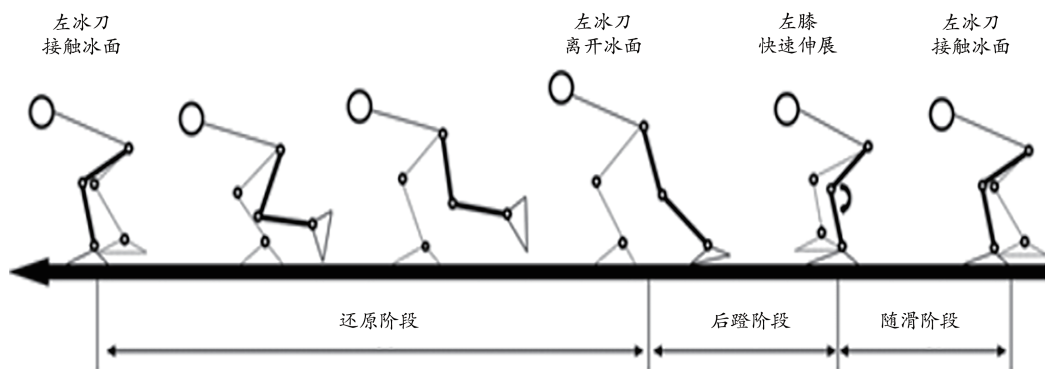


图1 左滑步技术周期的阶段划分(Tserenchimed et al., 2018)

Figure 1. Phase Division of the Technical Tycle Based on Left Skating Gait (Tserenchimed et al., 2018)

1.2 直道技术与弯道技术

短道速滑比赛场地由直道(28.8 m×2)与弯道(26.76 m×2)组成,全长为111.12 m。但由于弯道半径小,滑行速度快,为了克服弯道滑行时所产生的较大离心力,需要加大滑行半径,而滑行半径大又导致在完成弯道滑行后不能及时地实现由弯道技术向直道技术的快速转化,因此,从实际比赛看,弯道滑要占全程滑的一半多(Van et al., 2019)。受场地影响,直道段与弯道段的滑行表现有所差异,如弯道滑频高于直道(Khuyagbaatar et al., 2017),弯道最大速度小于直道,约小11.9%(Felseret al., 2016a)、13.4%(Felseret al., 2016b), $P=0.000$ 等。因此,直道技术与弯道技术应区别对待。

Khuyagbaatar等(2017)对15名专业男子运动员[(19.5±4.1)岁,(168.3±5.2)cm,(65.8±6.0)kg,训练年限(9.3±6.0)年]进行5圈模拟测试后发现,弯道段左髌、左膝、左踝最大伸展角度分别为 $102^{\circ}\pm 22^{\circ}$ 、 $138^{\circ}\pm 21^{\circ}$ 、 $80^{\circ}\pm 9^{\circ}$,右髌、右膝、右踝最大伸展角度分别为 $121^{\circ}\pm 20^{\circ}$ 、 $174^{\circ}\pm 9^{\circ}$ 、 $97^{\circ}\pm 9^{\circ}$,而直道段左髌、左膝、左踝最大伸展角度分别为 $101^{\circ}\pm 26^{\circ}$ 、 $136^{\circ}\pm 24^{\circ}$ 、 $87^{\circ}\pm 9^{\circ}$,右髌、右膝、右踝最大伸展角度分别为 $121^{\circ}\pm 20^{\circ}$ 、 $170^{\circ}\pm 11^{\circ}$ 、 $96^{\circ}\pm 9^{\circ}$ 。对比来看,弯道段右膝伸展幅度更大,左踝伸展幅度却较小;直道与弯道的右侧下肢的蹬伸幅度均大于左侧。并且,对关节间的协调关系分析发现,弯道时左右两侧的髌、膝关节均屈伸同步,右侧的膝、踝关节屈伸同步但左侧不同步;直道时右侧的髌、膝关节屈伸同步而左侧不同步,右侧膝、踝关节屈伸尤为同步而左侧不同步。弯道滑中左侧膝、踝关节屈伸未同步是因为膝关节由屈到伸的速度太快,在踝关节未完成伸展之前就已提拉离开冰面。这样做的目的是减少左侧下肢的冰面接触时间。右侧踝-膝关节屈伸非常同步(尤其在直道滑行时)则说明了踝、膝关节的动作高度协调,而这种协调关系则为下肢蹬伸的动力作用创造了条件。综上,右侧的蹬冰动力作用强于左侧。

针对直道技术,Tserenchimed等(2018)对8名优秀运动员[5男、3女,(16.6±2.5)岁,(162.6±8.3)cm,(60.2±10.4)kg,训练年限(4.8±3.2)年,2名男子分别为2013年与2014年世锦赛青年冠军]的直道段左膝技术进行研究发现,左膝角在进入随滑阶段时最小,而后逐渐增大,并在后蹬阶段伸展至最大,但在快速伸展前先出现了短时、小幅的减小现象。这种现象说明下肢爆发性蹬伸前在利用肌肉的预拉长-收缩效应。整个动作周期中,左膝持续外翻($9^{\circ}\sim 11^{\circ}$)的同时伴有内外旋($<5^{\circ}$)动作,共表现出屈曲、外展、内旋3方面力矩。其中,外翻幅度在随滑阶段较小而后蹬阶段最大。所有力矩均在随滑阶段逐渐增大,且内旋力矩在此阶段达到最大,而外翻力矩与屈曲力矩在后蹬阶段达到最大。此外,前剪切力、横向剪切力在随滑阶段持续增加,并在后蹬阶段达到最大值。

对于弯道滑,以恰当的滑行姿势获取滑行所需向心力,并保证紧贴弯道线很好地蹬冰且不被甩出则是提高速度的关键。基于对男子在短道场地与大道场地1000 m最快滑行时向心力的计算结果,发现前者向心力大于后者(866 N vs. 482 N)(Rundell et al., 1996a)。可见,短道速滑弯道技术更为复杂,难度更大。依据Khuyagbaatar等(2017)研究结果,运动员在弯道段高速滑行时至少需完成2个复步。由于运动员需要在弯道段完成多次蹬冰动作,所以又可将弯道段分成入弯道(EC)、弯道弧顶(C)、离开弯道(LC)、弯道与直道衔接(ES)4个位置(Kruk et al., 2019)。纪仲秋等(2002)与王帅等(2019)分别对比赛中弯道弧顶段(6名国内外优秀运动员500 m与1000 m比赛)与入弯道段(武大靖500 m比赛)的技术进行运动学分析,均发现运动员具有躯干前倾、身体内倾、姿势蹲屈且重心较低、单支撑时间长于双支撑、右单支撑长于左单支撑、入弯道时重心高度不断下降的特点。但是,单支撑与双支撑时的速度却不一致,前者发现双支撑时速度小于单支撑,后者却是双支撑大于单支撑。后者将双支撑两

侧膝角伸展增大视为速度增加的原因,而前者并未对膝角变化给予说明,但认为双支撑时浮腿着冰较早(加大冰面摩擦阻力)而蹬冰腿的侧蹬较晚是速度下降的主要原因,即双支撑时不存在双膝伸展的现象。可见,两项研究中的膝关节技术分处于弯道不同位置,而这却造成了彼此膝关节屈伸变化的技术差异,最终导致了单支撑与双支撑速度结果的不一致。因此,对于弯道技术问题,应按照场地位置再开展更为具体的分析。

为揭示弯道不同位置对滑行技术与速度的影响, Van等(2019)采用传感器对荷兰国家队的12名运动员(8男、4女,国际排名前70位)弯道4个位置的右侧蹬冰动作进行了力学分析。对比发现,右侧蹬冰用时由多到少依次为EC、C、ES、LC,蹬冰动作法向力的平均值由大到小依次为C、LC、EC、ES而峰值依次为C、EC、LC、ES,偏向力的平均值由大到小依次为C、LC、ES、EC而峰值依次为EC、LC、C、ES。相关性结果表明,弧顶段的切向力峰值与被试个人最好成绩用时正相关($r=0.74, P=0.096$)。男、女运动员法向力差异不大,但女子的切向力显著大于男子。再结合女子每圈平均用时高于男子后分析可知,过大的弧顶段切向力可能是限制女子弯道滑行速度的重要因素。此外,对冰刀压力中心点与足跟的间距分析后发现,蹬冰动作结束时,EC、C、ES的间距值(约为冰刀长度的79%~88%)要比ES(约为冰刀长度的55%)大。而相关性结果表明,LC间距的平均值、C间距的最大值和平均值以及EC间距的平均值都与个人最好成绩时的用时正相关($r=0.86, P=0.030; r=0.82, P=0.048; r=0.81, P=0.052; r=0.76, P=0.077$)。这提示,成绩越好的运动员更倾向于弯道段将压力中心点的位置控制在冰刀的后侧。

1.3 起动技术与跟滑技术

快速起动并抢先进入弯道可为短距离项目比赛的后续滑跑创建良好的基础。目前,规则范围内主要有内旋式、外旋式和侧向式3种“非点冰式”起跑姿势。我国多采用外旋式,而欧美国家则倾向于侧向式。王帅等(2019)通过虚拟再现技术对武大靖、查尔斯2位顶尖男运动员的侧向式起动技术分析后发现,预备姿势时保持较大的躯干前倾度与较小的膝关节后蹬角,起动时蹬冰腿髌、膝关节快速有力的蹬伸,充分利用支撑期下肢肌肉的快速拉长-收缩效应并发挥肌肉弹性势能的作用等都是有利于提高起动加速效果的因素。而对较长距离的比赛而言,跟滑技术更为重要。合理利用跟滑技术可有利于减小空气阻力。对跟滑技术的优势,Rundell等(1996a)对18名被试[10名国家队运动员,8名发展型运动员;14男,4女;(20.3±4.1)岁,(65.8±9.4)kg]进行研究发现,当被试分别以领滑、跟滑技术完成4 min 匀速(8.8 m/s)滑行时,与领滑运动相比,跟滑运动时所表现出来的心率最高值低6次,以及跟滑运动时心率最高值与被试个人最大心率值

的百分比约小3.3%(88.9%±3.9% vs 92.2%±4.4%, $P<0.05$),摄氧量最大值小5%~5.5%,所受空气阻力约小21%。并且,依据运动中的心率与血乳酸值推算出的跟滑时所产生的功率也比领滑约少10%。由此可见,跟滑技术可以避免快速运动中心率的快速升高与抑制血乳酸的快速堆积。由此,跟滑既是短道速滑运动中的一项技术,也成为比赛中常用的战术,尤其是在长距离比赛中的应用最多。

1.4 启示

前人研究成果为短道速滑的训练提供了4点启示:1)控制好弯道中冰刀的切向力可能是避免降速的途径之一;2)通过调整身体姿势尽可能将压力中心控制于冰刀后侧可能有利于运动员保持弯道速度;3)弯道滑时右蹬冰的动力作用可能大于左蹬冰,应更加重视右蹬冰的技术质量;4)充分发挥快速伸膝动作并利用好肌肉弹性势能有利于短距离项目启动阶段的加速,而在长距离比赛中应重视跟滑技术的合理使用,节省能量,为最后的冲刺保存实力。但对于弯道段单支撑与双支撑速度问题仍需进一步探讨。增加运动学与动力学数据的同步采集及两侧下肢蹬冰力学测试是未来研究需要完善的方向。

2 短道速滑运动员运动素质及运动中肌肉用力与代谢特征

2.1 平衡与协调能力

良好的平衡与协调能力可有利于短道速滑运动员在不稳定的条件下完成快速有力的交替蹬冰,进而获取理想的前进动力。小脑是控制人体平衡与协调的重要器官之一,因此有学者对短道速滑运动员小脑结构进行了研究。

Park等(2012)首先运用三维磁共振成像技术对男子短道速滑运动员(16人)与普通男子(18人)的小脑结构进行了比较,发现前者的小脑右侧半球和蚓部小叶VI-VII的相对体积大于后者($P<0.05$),且前者右侧的小脑半球体积明显大于左侧($P<0.05$)。该研究又对短道速滑运动员(男12,女11)与普通男子(男11,女14)以及男运动员与女运动员的小脑结构比较后发现,短道速滑运动员蚓部小叶VI-VII的相对体积显著大于普通人($P<0.05$),且女运动员显著大于男运动员($P<0.001$)(Park et al., 2013)。相关研究表明,小脑结构与运动中肢体动作的协调及其对动态平衡的控制能力息息相关(Ilgen et al., 2008; Ivry et al., 1988),而长期的冰上训练与比赛提高了短道速滑运动员的动作协调水平与身体平衡能力,进而可能引发了小脑结构的重塑。对短道速滑运动员小脑右侧半球相对体积更大的原因,Park等(2012, 2013)总结出2点:1)弯道逆时针运动对运动员右侧下肢的平衡与协调能力要求更高,大量的弯道滑行经历可能更加引发了小脑右侧半球结构的重塑;2)短道速滑比赛需要运动员时刻观察场上

情况来调整速度节奏,而常年的比赛经历使其具备了更好的视觉捕获能力与视觉动作控制能力。而Marple等(1999)研究结果显示,视觉捕获能力与视觉动作控制能力与小脑外侧结构的完整性和蚓部小叶VI-VII的激活有关。综合可见,小脑右侧半球结构对短道速滑运动员在冰上滑行时的平衡与协调而言非常重要,而小脑生物解剖学这一结构特点可作为短道速滑运动员选材的依据。

2.2 力量素质与运动中肌肉的用力特点

短道速滑比赛的滑行速度可达13 m/s,而这一高速的获得是运动员在冰面特殊条件下,通过合理的动作技术,将冰面反作用力有效传递至人体质心来实现的(Seo et al., 2009)。因此,短道速滑运动员在力量素质及滑行中的肌肉用力表现方面均体现出一定的专项特点。

膝关节、踝关节的工作能力和效率往往制约着短道速滑的竞技水平(陶玉晶等, 2010)。由运动特点看,短道速滑运动员沿逆时针运动,并在弯道滑行时主要以左腿支撑为主,因此左腿膝、踝关节的力量应强于右腿。但相对静态的右腿支撑切过弯道的动作又对右腿膝、踝关节屈肌肌群的力量提出较高的要求,所以两侧下肢同名肌群力量相对均衡应是高水平短道速滑运动员专项力量发展的方向与要求。关于短道速滑运动员膝、踝关节等速

测试中的峰力矩结果也证实了这一点(陶玉晶等, 2010; Felser et al., 2016a)。值得注意的是,运动员在冰上滑行时,膝、踝关节均是在高速状态下通过屈伸动作来产生力,因此,其相关肌肉群应具备在高速运动状态下的专项力量能力(陶玉晶等, 2010)。

Felser等(2016a)对17名青少年短道速滑运动员[14男、3女,(13.2±1.1)岁,(162±10)cm,(55.7±11.3)kg,训练年限1~10年]等速和等长条件下膝、踝关节的最大力矩与5 s加速用时、直道最大速度、弯道最大速度、每圈平均速度最大值等速度类指标的相关性进行了统计,统计结果共有88个,其中27个具有显著性差异(表1)。对具有显著性差异的统计结果分析后发现,对膝关节而言,等速条件下的伸展力矩(6个)和等长条件下屈曲力矩(7个)与速度指标显著相关的统计结果较多,而踝关节外翻力矩、背屈与趾屈力矩与速度指标显著相关。可见,膝关节快速有力的伸展是滑行运动的主要动力来源,而屈曲动作的等长收缩主要用于维持低重心的滑行姿势;踝关节作为蹬冰动作的末端关节,一方面将髌、膝关节的力量传递给冰刀,另一方面又控制着滑行的方向,因此对滑行速度起到重要的作用。

表1 等速与等长条件下膝、踝关节最大力矩与短道速滑速度表现相关性显著的指标情况(Felser et al., 2016a)
Table 1 Correlation Between Maximum Moment of Knee and Ankle Joint Under Different Conditions and the Velocity of Short Track Speed Skating (Felser et al., 2016a)

	等长测试条件	等速测试条件	
膝关节	右膝伸展力矩与5 m加速用时, $r=-0.465^*$	右膝伸展力矩与5 m加速用时, $r=-0.713^*$	
	右膝伸展力矩与每圈平均速度最大值, $r=0.561^*$	右膝伸展力矩与弯道最大速度, $r=0.628^{**}$	
	右膝屈曲力矩与5 m加速用时, $r=-0.468^*$	右膝伸展力矩与每圈平均速度最大值, $r=0.750^{**}$	
	右膝屈曲力矩与直道最大速度, $r=0.450^*$	右膝屈曲力矩与每圈平均速度最大值, $r=0.630^{**}$	
	右膝屈曲力矩与弯道最大速度, $r=0.431^*$	左膝伸展力矩与5 m加速用时, $r=-0.554^*$	
	右膝屈曲力矩与每圈平均速度最大值, $r=0.683^{**}$	左膝伸展力矩与弯道最大速度, $r=0.565^{**}$	
	左膝伸展力矩与5 m加速用时, $r=-0.591^{**}$	左膝伸展力矩与每圈平均速度最大值, $r=0.642^{**}$	
	左膝伸展力矩与弯道最大速度, $r=0.490^*$		
	左膝伸展力矩与每圈平均速度最大值, $r=0.597^{**}$		
	左膝屈曲力矩与直道最大速度, $r=0.535^*$		
	左膝屈曲力矩与弯道最大速度, $r=0.558^{**}$		
	左膝屈曲力矩与每圈平均速度最大值, $r=0.720^{**}$		
	踝关节	右踝外翻力矩与每圈平均速度最大值, $r=0.536^*$	右踝外翻力矩与直道最大速度, $r=0.576^{**}$
		左踝背屈力矩与直道最大速度, $r=0.498^*$	右踝外翻力矩与每圈平均速度最大值, $r=0.573^*$
左踝背屈力矩与每圈平均速度最大值, $r=0.486^*$		右踝背屈力矩与弯道最大速度, $r=0.423^*$	
		右踝趾屈力矩与5 m加速用时, $r=-0.517^*$	
		左踝外翻力矩与每圈平均速度最大值, $r=0.456^*$	

注: *代表 $P<0.05$, **代表 $P<0.01$ 。

此外, Felser等(2016a)在稳定条件(不穿滑冰鞋)与非稳定条件(穿滑冰鞋)下对被试完成单侧下肢卧蹬的最大等长收缩力量进行测试发现,尽管在非稳定条件下所测得的最大肌力比稳定条件下小,但与冰上滑行的速度表

现相关性更强。结合肌电图发现,非稳定条件下腓骨长肌、胫骨前肌和股直肌的肌电信号均方根值比稳定条件下增加了11.6%~16.3%。可见,短道速滑运动对运动员冰上滑行时的用力有着特殊要求,即在获得理想的动力

之前,需要先激发特定的工作肌保证关节运动的稳定性。对此, Felser 等(2016b)以9名青少年短道速滑运动员[7男、2女,(13.6±1.0)岁,(1.66±0.1)m,(58.2±10.4)kg,训练年限(6±2)年]为测试对象,对其在直道与弯道的最大速度测试及1 000 m全程测试中的肌电进行分析,发现最大速度测试中,右腿的股二头肌(17.1%, $P<0.01$)、比目鱼肌(33.8%, $P<0.01$)、股直肌肌电均方根在弯道滑时比直道滑时高,而左腿比目鱼肌(8.8%, $P<0.08$)、股直肌却与之相反;1 000 m测试中,右腿的股直肌、股二头肌、比目鱼肌在弯道滑时比直道滑时高18.6%、7.9%、18.8%($P<0.01$),左腿的股二头肌显著高于右腿(16.6%, $P<0.05$),同时还表现出左腿比目鱼肌高于右腿而股直肌低于右腿的倾向;两侧胫骨前肌在直道与弯道间无显著差异。可见,弯道与直道对技术需求的不同导致了工作肌的激活差异。针对不同肌肉对速度影响的大小,发现当平均速度下降约11.2%时,除左腿股二头肌外,其余骨骼肌肌电均方根均明显降低,其中,股直肌与胫骨前肌下降最为明显(左、右侧股直肌分别下降16.3%、27.3%,胫骨前肌分别下降24%、26.9%),且表现出右腿股直肌下降幅度大于左腿的倾向。逐步回归分析显示,右腿胫骨前肌与股直肌的肌电变化对速度下降的贡献率达96.2%。可见,右腿胫骨前肌与股直肌是短道速滑运动的主要动力源。

2.3 耐力素质及运动中的机体代谢特点

2.3.1 运动员耐力素质及运动中的摄氧量

单位时间内机体的摄氧量可反映运动员的耐力素质。张士祥等(1993)、李文宝(2013)运用功率自行车逐级负荷试验分别测试了国家短道速滑成人队女运动员与青少年队男、女运动员的最大摄氧量[$\dot{V}O_{2max}$,单位:mL/(kg·min)],前者结果为47.52±5.34~69.15±11.01,后者中男子为68.73±4.78、女子为56.76±3.91。刘俊一等(2011)利用气体分析仪测得国家女子短道速滑队主力运动员的 $\dot{V}O_{2max}$ 为44.51~55.97。由文献看,短道速滑运动员 $\dot{V}O_{2max}$ 高于普通成年男性(50~55)、成年女性(40~45)。但由于这些文献未提供受试者主项信息,所以不能对项目之间进行比较,并且 $\dot{V}O_{2max}$ 与运动成绩的关系也尚不清楚。大道速滑相关研究发现,项目距离越长,有氧耐力素质的相对贡献越大(Van et al., 1990),但优秀运动员 $\dot{V}O_{2max}$ 与成绩的关系不大(Kuipers et al., 2007)。针对短道速滑运动的这些问题还需进一步研究。

此外, Florentina 等(2016)通过气体分析仪对12名荷兰U23国家短道速滑队运动员[11男、1女,(19.7±2.6)岁,(179.8±6.5)cm]完成负荷相同(依据是平均心率与血乳酸浓度无差异)的666 m短道滑和800 m大道滑时的摄氧量峰值($\dot{V}O_{2peak}$)测试后发现,前者显著小于后者(57.8±3.7 vs 59.7±3.6, $P=0.019$),且前者主观疲劳度更高,恢复过程更长。可见,在短跑道滑行时机体的实际摄氧水平

不如大跑道滑行时高,进而导致运动疲劳更明显。对此本研究认为,重心更低的身体姿势及更小的弯道半径可能限制了短道速滑运动中运动员工作肌内的血流速度,进而影响了氧气的运输能力。

2.3.2 低重心姿势滑行中肌肉内血流变化与氧利用特点

研究表明,低重心的冰上滑行姿势会降低运动中机体的 $\dot{V}O_{2peak}$ (Foster et al., 1993)、加速血乳酸浓度堆积(Rundell et al., 1996a, 1996)、减小工作肌中血流量并加重脱氧现象(Rundell et al., 1997)等。这些特点与“血流限制假说”的现象较为相似。造成这一问题的主要原因是冰上滑行运动中的低重心滑行姿势、较长的随滑阶段持续时间导致了工作肌之间产生了较大的压力。这种压力限制了肌组织内血液的运输速度,使有氧代谢能力在运动中得不到充分利用进而对无氧代谢的需求开始增强(Hesford et al., 2012)。短道速滑运动后产生较高浓度的血乳酸可说明这一点,如Hesford等(2013)发现在完成500 m、1 000 m、1 500 m测试后,男、女运动员血乳酸浓度均出现较大幅度的增加。

为便于对短道速滑运动中机体血液变化及氧运输的分析,引入了便携式近红外肌氧检测技术(NIRS)。通过该技术,可以检测运动过程中特定肌肉(如股外侧肌)内血液指标的变化,进而分析氧利用特点。Hesford等(2012)首先对6名具有奥运会参赛资格的运动员[(23±1.8)岁,(1.8±0.1)m,(80.1±5.7)kg]开展了500 m测试分析。次年又对10名具有奥运会参赛资格的运动员[6男,(23±1.8)岁,(1.8±0.1)m,(80.1±5.7)kg;4女,(21±4)岁,(1.6±0.1)m,(65.2±4.3)kg]同时开展了500 m、1 000 m、1 500 m的测试分析(Hesford et al., 2013)。两项研究均发现,在起滑后的一定时间内(前8 s或前10~15 s)两侧股外侧肌内血红蛋白总浓度、氧合血红蛋白浓度、血氧饱和度均明显下降,脱氧血红蛋白浓度增加,出现快速脱氧现象,但这种脱氧现象与滑行总用时并不相关。当血氧饱和度下降至最低值后又开始逐渐恢复。恢复过程中,左侧恢复度总体好于右侧,并且这种差异在不同项目及性别间有所不同,其中男、女500 m左侧均明显好于右侧,但1 000 m与1 500 m中,女子的左侧均持续好于右侧,而男子却只分别在第10~50 s与第15~50 s间表现出左侧显著好于右侧。此外,结合运动录像还发现,在弯道弧顶段,左侧股外侧肌血红蛋白总浓度升高(氧合血红蛋白与脱氧血红蛋白浓度增加)而右侧却降低,这种现象在男子中更为明显。对比男、女500 m测试结果发现,男子总用时虽然少于女子,但弯道滑行用时却多于女子(1.14±0.11 vs 0.86±0.17 s, $P<0.000 1$),并且男子的弯道滑行用时与左侧股外侧肌血红蛋白总浓度、血氧饱和度均正相关($r=0.376$, $P=0.024$; $r=0.199$, $P=0.7$),而与右侧负相关($r=-0.25$, $P=0.133$; $r=-0.736$, $P=0.1$)。

同样是冰上竞速运动,大跑道滑时工作肌内的血流变化与氧利用情况却与短跑道滑有所不同。Florentina等(2016)研究发现,运动员在完成负荷相当的大道速滑和短道速滑测试后,股外侧肌血氧饱和度均出现先快速下降、后逐渐恢复的现象,但短道测试中左侧恢复度好于右侧的现象更为突出。并且由运动过程看,大道测试中的脱氧过程主要发生在直道段,其中技术周期的随滑阶段与后蹬阶段脱氧而还原阶段复氧的周期性特点非常明显。而短跑道弯道段却表现出明显的两侧不一致问题,即当左侧冰刀提拉离地时复氧而右侧在蹬冰用力时脱氧的现象非常明显。

2.4 启示

前人研究成果为短道速滑的训练提供以下几点启示:1)短道速滑运动员小脑右侧半球和蚓部小叶 VI-VII 的相对体积大于普通人的结果,可作为短道速滑运动员选材的参考指标,而短道速滑运动员右侧小脑半球的体积大于左侧,则提示在训练中应重视运动员视觉捕获与视觉动作控制能力的专门性练习;2)专项力量训练中,应重视短道速滑运动员膝关节伸展肌群的快速向心收缩练习、

膝关节屈曲肌群的等长收缩练习,前者主要用于提高滑行的前进动力,后者可利于保持滑行姿势,为快速滑行创造条件,同时还需重视踝关节的背屈、趾屈和本体感觉能力的练习;3)非稳定条件单侧下肢卧蹬最大等长收缩的力量测试结果与冰上滑行的速度结果相关性更强,这表明在发展基础力量的基础上,应特别重视对非稳定支撑条件下的力量作用效果的提升;4)弯道滑行时两侧下肢的肌电学结果差异,提示应更加重视右侧下肢肌群抗疲劳能力的练习;5)低重心滑行姿势导致工作肌之间所产生的压力较大,造成短道速滑运动员在滑行中出现血液运输氧气能力的不足,而这一现象又与血流限制假说相似,故建议在肌肉力量练习时尝试增加血流限制训练,尤其是针对右侧下肢。

3 短道速滑比赛中运动员战术行为特征

3.1 高水平运动员比赛中的战术行为特点

目前高水平短道速滑的比赛战术研究主要集中于500 m、1 000 m、1 500 m 3个奥运会项目,主要涉及运动员的起动位置、启动加速表现、各圈滑行的排位与用时以及滑行超越等内容(表2)。

表2 国内外关于短道速滑比赛运动员战术行为研究的文献

Table 2 Domestic and Foreign Research on Athletes' Tactical Behavior for Short Track Speed Skating

文献	赛事	具体项目		样本统计情况
		性别	距离	
Sean et al., 2006	1999—2004年世界杯赛	男、女	500 m	资格赛、次赛、1/4决赛、半决赛、决赛,有效样本548个
Muehlbauer et al., 2011	2006—2009年欧锦赛、世锦赛	男、女	500 m、1 000 m、1 500 m、3 000 m(仅决赛)	资格赛、次赛、1/4决赛、半决赛、决赛,有效样本707个(男386、女321)
Haug et al., 2015	2011—2014年世界杯赛 2010年、2014年奥运会	男、女	500 m	1/4决赛、半决赛、B轮决赛、A轮决赛,有效样本896个(男440、女456)
Noorbergen et al., 2016	2012—2013年世界杯赛、欧锦赛、世锦赛	男、女	500 m、1 000 m	资格赛、次赛、1/4决赛、半决赛、决赛,有效样本457个
Konings et al., 2016	2012—2013年世界杯赛、欧锦赛、世锦赛	男、女	1 500 m	资格赛、次赛、1/4决赛、半决赛、决赛,有效样本358个(男210、女148)
王向东等, 2018	2016—2018年世界杯赛	男、女	1 000 m	1/4决赛、半决赛、决赛(A组、B组),有效样本712个(男359、女353)
Konings et al., 2018	2011—2016年世界杯赛、欧锦赛、世锦赛 2014年奥运会	男、女	500 m、1 000 m、1 500 m	所有轮次的比赛,有效样本为10 483(500 m)、9 889(1 000 m)、7 890个(1 500 m),共28 262个
郑小凤等, 2020	2017—2018年世界杯赛、世锦赛、奥运会赛	男	1 500 m	中国队与韩国队,预赛、半决赛和决赛,有效样本共计107个

3.1.1 各项目起动位置与最终名次关系

依据比赛规则,在短道速滑第一轮(资格赛)比赛中,运动员的起动位置由国际排名而定,后续轮次的比赛则根据前一轮的比赛成绩,由高到低依次由内道向外道分布。起动位置的排位在一定程度上会对最终比赛结果造

成影响。学者们采用 Kendall 秩相关系数法对多场国际比赛中起动位置与最终名次的关系进行了分析。

多项研究表明,500 m 比赛中起动位置与最终名次呈较弱的正相关性,相关系数主要有0.27(男、女, $P < 0.001$) (Sean et al., 2006)、0.29(男, $P < 0.001$) (Muehlbauer et al.,

2011)、0.28(女, $P < 0.001$) (Muehlbaue et al., 2011)、0.38(男、女, $P < 0.05$) (Noorbergen et al., 2016)。并且, 第1个弯道(14 m)加速结束后的排位也与最终名次呈正相关, 相关系数为0.53(男, $P < 0.001$)、0.67(女, $P < 0.001$)、0.60(男、女, $P < 0.000 1$), 按比赛成绩进行高低分组后统计发现, 比赛成绩越高, 正相关性越强, 相关系数为0.46~0.65(男, $P < 0.000 1 \sim 0.04$)与0.54~0.76(女, $P < 0.000 1 \sim 0.002$) (Haug et al., 2015)。与500 m相比, 1 000 m、1 500 m比赛的起动位置与最终名次的相关性较弱。1 000 m比赛的相关系数主要有0.12(男, $P < 0.001$)、0.15(女, $P < 0.001$) (Muehlbaue et al., 2011)、0.191(男)、0.263(女) (王向东等, 2018), 1 500 m比赛的相关系数结果主要有 $r < 0.15$, $P < 0.05$ (Muehlbaue et al., 2011)、0.11(男、女, $P < 0.05$) (Konings et al., 2016)、0.13(男, $P < 0.01$) (郑小凤等, 2020)。总体看, 比赛距离越短, 起动位置及启动加速表现与比赛名次的相关性越强。此外, 针对不同轮次比赛中的相关性统计结果还表明, 随着比赛轮次的推进, 起动位置与最终名次的相关性具有增强的趋势 (Muehlbau et al., 2011; Noorbergen et al., 2016; Sean et al., 2006)。

3.1.2 各项目比赛中各圈次排位与最终名次关系

比赛过程中, 运动员会根据临场情况采取相应的战术调整, 而各圈次排位与最终名次的相关性可反映运动员比赛的战术行为。通过分析各圈次排位与最终名次的相关性也有利于揭示各项目比赛的关键圈次。在500 m比赛方面: Noorbergen等(2016)发现, 第1圈排位与最终名次的相关系数在0.50~0.70, 最后2圈则大于0.70。1 000 m比赛方面: Noorbergen等(2016)发现, 前5圈排位与最终名次相关性较低($r < 0.50$), 从第6圈起开始增强($0.50 \leq r < 0.70$), 最后2圈达到最高($r > 0.70$); 王向东等(2018)发现, 前6圈排位与比赛名次低度相关($0.167 \leq r \leq 0.467$), 相关度随着比赛的进行增强, 在第7圈时变为中度相关(男 $r=0.576$ 、女 $r=0.58$), 最后2圈时达到高度相关(第8圈, 男 $r=0.773$ 、女 $r=0.765$; 第9圈, 男 $r=0.962$ 、女 $r=0.976$)。1 500 m比赛方面: Konings等(2016)发现, 随比赛的进行, 每圈排位与最终名次相关性增强, 前10圈表现为不相关或低度相关($r < 0.5$), 从第11圈开始变为中度相关, 并在最后2圈时达到高度相关; 郑小凤等(2020)发现, 中国队与韩国队运动员在前8圈的相关性均较低, 第9~11圈达到中等相关($r=0.510$ 、 0.580 、 0.672 , $P < 0.01$), 最后3圈变为高相关($r=0.780$ 、 0.898 、 0.999 , $P < 0.01$)。Konings等(2017)还通过组间差异与组内差异计算了500 m、1 000 m、1 500 m比赛中每圈排位与最终名次间的组内相关系数(ICC_s值), 发现500 m项目除第1圈相关度为高(0.65)外, 其余圈次均为非常高或特高(> 0.69); 1 000 m项目的前5圈相关度均低(< 0.36), 第6、9圈均为高(0.61、0.63), 第7、8圈均为非常高(0.76、0.76); 1 500 m项目

目前前9圈相关度均低(< 0.36), 第10圈为中等(0.38), 最后4圈为高(0.54~0.69)。

3.2 各项目比赛中的滑行用时

现有文献主要从比赛总用时、每圈用时两个角度对滑行用时情况进行分析。Noorbergen等(2016)对500 m与1 000 m比赛研究后发现, 比赛轮次对比赛总用时具有主效应, 决赛阶段(包括1/4决赛、半决赛、决赛)用时少于非决赛阶段, 各名次运动员在决赛阶段的总用时差异比非决赛阶段的差异小, 其中500 m比赛在完成第1个半圈滑行后, 运动员间每圈滑行用时便出现显著差异, 而在1 000 m比赛中, 男子决赛阶段用时的减小幅度明显大于女子。王向东等(2018)对1 000 m比赛中1/4决赛到A轮决赛研究后发现, 各轮次比赛的总用时由多到少依次为半决赛、1/4决赛、A组决赛、B组决赛, 并除第6圈与第9圈外, 其余各圈用时在不同轮次的比赛间均具有显著差异($P < 0.01$), 而比较不同名次运动员的圈用时, 最后3圈出现显著差异($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$)。针对1 500 m比赛, Konings等(2016)发现, 决赛阶段的比赛总用时显著少于非决赛阶段($P < 0.001$), 而比赛轮次之间没有显著差异($P=0.251$); 各名次运动员在决赛阶段的总用时差异要比非决赛阶段小($P=0.024$), 且前9圈的每圈用时差距不大, 但从第10圈开始出现显著性差异($P < 0.05$)。郑小凤等(2020)对中国队与韩国队优秀男运动员1 500 m比赛总用时与各圈次用时研究后, 发现两者均表现出决赛阶段显著少于非决赛阶段。此外, Konings等(2017)引用变异系数(CV)作为分析变量并采用混合线性模型方法对500 m、1 000 m、1 500 m比赛中所有运动员总用时与每圈用时分析后发现, 同批运动员因比赛场次不同而导致比赛总用时变化的变异系数随比赛距离的增加而增大, 分别为1.6%(500 m)、2.8%(1 000 m)、4.1%(1 500 m), 其数值比值比赛艇(0.9%~1.1%) (Smith et al., 2011)、大道速滑(0.3%~1.3%) (Noordhof et al., 2016)项目的相关研究结果高。其中在1 000 m与1 500 m的前半程比赛中, 同批运动员因比赛场次不同而导致每圈用时变化的变异系数相对较高(3.3%~6.9%、8.7%~12.2%), 而同场比赛中因运动员不同而导致每圈用时变化的变异系数相对较低(1.1%~1.4%、1.3%~2.8%)。

3.3 各项目比赛中冠军运动员的战术行为

Noorbergen等(2016)发现, 500 m比赛中有51%的冠军运动员在比赛开始时就占据了起动位置的最内道, 63%在第1个半圈后领先, 且每圈用时在第2圈开始显著少于对手($P < 0.05$); 1 000 m比赛中有39%的冠军运动员在起动时处于最内道位置, 第6圈时有62%占据了第1的排位, 并从这一圈开始与对手的每圈用时出现显著差异; 1 500 m比赛的前5圈中, 冠军运动员的排位分布比较分散, 从第6圈开始潜在的冠军运动员(21%)呈现出主动向

前争取有利位置的趋势,第11~13圈时分别有56%、66%、75%占据到第1名的排位,但在每圈用时上,冠军运动员第10圈才开始与第6名运动员出现显著差异,直到比赛结束与第2、3名的差异也不显著。王向东等(2018)针对1 000 m比赛的研究发现,有38.1%的冠军运动员在起动时处于最内道位置,第7圈时有66.7%占据第1排位;前7圈中的每圈用时与其他运动员无显著差异,最后2圈才开始与第3、4名运动员具有显著差异。

3.4 青少年运动员比赛战术行为的发展

训练经历与比赛经验对竞速类项目运动员战术行为的发展具有重要影响。比赛距离越长,对速度节奏调控的依赖性越强。国外学者通过纵向分析1 500 m青少年比赛中各段落的相对用时,探讨了青少年运动员在比赛中战术行为的发展特点。Menting等(2019b)对2011—2016年世界杯赛、世锦赛、欧锦赛、世界锦标赛中U17、U19、U21、>21年龄组的9 715个样本进行比较后发现,年龄越高的组,前4圈的每圈相对用时越长,而最后3圈却相对更短。Menting等(2019a)对2010—2018年间至少参加过2次青少年世锦赛的140名男运动员(15~20岁)的573个样本纵向分析后发现,由15~20岁,第1~3圈、第4~7圈相对用时分别增长1.42%、0.66%,而第8~11圈、第12~14圈分别减少0.53%、1.54%。综上,青少年运动员在1 500 m项目比赛中的战术行为具有一定的变化特征,即随年龄的增长、训练与比赛经验的丰富,比赛中前程滑行变得更加保守,而后程速度在相对加快,这种变化具有向成年优秀运动员的方向发展的趋势。

3.5 启示

前人研究成果可提供以下几点启示:1)各项目比赛中起动位置及启动阶段的加速表现与最终名次的相关性结果表明,由内而外的起动排位方式赋予了内圈运动员滑行距离短的优势,这提示,运动员在比赛中力争有利起动位置的重要性,并且比赛距离越短、比赛轮次越靠后,起动位置的作用更明显;2)500 m全程比赛中应努力抢占领先位置,而1 000 m与1 500 m比赛中,应分别在前6圈或前7圈和前10圈充分利用跟滑战术,避免能量过早消耗,进而为比赛后期保存实力;3)随着比赛轮次的推进,比赛竞争越为激烈,运动员需更加重视对速度的合理分配。而据Konings等(2018)的研究,运动员在同一场比赛前半程采用相似的速度节奏,而不同场次间的速度节奏却不同,场次之间的各圈用时差异较大,且比赛距离越长,差异越明显。这提示,与其他竞速类项目比,短道速滑运动员在比赛中对速度的分配不仅要遵循传统的能量节省化理论(Foster et al., 2003),更需根据场上环境的变化来调整自己的速度,进而超越对手(Smits et al., 2014);4)青少年运动员1 500 m比赛中战术行为随年龄增长而变化提示,教练员应根据运动员身心能力的发展水平,适

时灌输相应的战术知识,逐渐养成合理的战术意识。

4 短道速滑运动员运动损伤特征

针对短道速滑运动员的运动损伤问题,国内外学者开展了流行病学调查。Quinn等(2003)对16个国家的150名优秀运动员的调查显示,赛季伤病率为61%,损伤数量由多到少依次为膝、脚、脊柱、腿、腹股沟,其中比赛发生率为29.7%,损伤类型有肩关节脱位/分离(9%)、腹股沟拉伤(6.1%)、脑震荡(6.1%)和膝盖挫伤(6.1%),冰上训练发生率为24.3%,损伤类型有腹股沟拉伤(22.2%)、膝盖挫伤(14.8%)、脚踝扭伤(7.4%)。Palmer等(2014)对英国国家队11名运动员(7男、4女)的跟踪性调查显示,伤病率为64%,训练与比赛中发生率分别为2.7 h/1 000 h、13次/100场,大腿(38%)、腰椎(19%)、膝(19%)为常见损伤部位。Kim等(2017)针对共计17名韩国优秀青少年(6男、2女)与成年运动员(6男、3女)的调查显示,前者损伤发生率为3.28次/1 000 h,后者为4.59次/1 000 h,最常见的损伤部位均为膝关节。石诗萌等(2019)对我国22名高水平运动员2016—2017赛季的损伤调查发现,损伤率为63.6%,损伤部位主要集中于膝关节(50%)、下背部(50%)、胸椎(14.3%)。

对于运动损伤的致因, Kim等(2017)基于问卷结果,认为主要原因是过度使用(渐进的或突然性的,38%)、非接触创伤(31%)和接触-静态物体(25%)。由短道速滑比赛特点看,身体碰撞是导致运动员高速滑行竞争时急性接触性损伤的一个重要原因,因此,如何在场地竞逐时既能通过利用技术、调整速度来抢占有利位置,又避免与对手发生身体碰撞,是运动员需要提高的能力。而对多数非接触性损伤现象而言,项目的技术特点可能是一个重要致因。目前从机制层面的损伤研究不多,但Tserenchimed等(2018)利用直道滑时膝关节的力学数据对常见膝关节损伤问题分析后认为,短道速滑的蹬冰动作具有侧向剪切运动的属性,而内旋力矩较大可能是造成运动员出现前十字交叉韧带损伤风险的重要因素。

5 研究展望

尽管国内外学者对短道速滑运动开展了积极的探讨,为运动训练提供了一定参考,但可能因为该项目被正式列为奥运项目的时间较晚,其理论研究仍需完善。因此,综合已有研究成果提出以下几点建议:1)缺乏关于短道速滑运动员形态学(身高、体重、BMI、肌肉形态等)的专门性研究。建议未来增加对不同性别和/或不同运动主项的运动员形态学比较研究,以及短道速滑与大道速滑的比较,以此更加明确运动员选材和培养的方向等。2)缺乏对弯道段不同位置蹬冰技术的深入研究,导致在弯道段下肢关节技术及单支撑与双支撑速度比较等问题上认

识不一致。建议未来增加运动学与动力学数据同步采集的方法,开展对两侧下肢蹬冰技术的分析,以及对场地不同位置的技术的比较分析。3)尽管基于比赛中运动员的速度、排位等分析已对各项目的战术特点形成一些基本认识,但关于运动员临场比赛战术调整时所遵循原则的探讨仍较少。在有限场地内与对手进行同场高速竞技,既需要遵循人体能量节省化的原则,还应掌握根据外部环境(对手、场地等)来果断有效地通过加速、超越等方式进行战术调整的能力,而在这种复杂多变环境中所进行的战术决断与调整是由运动员技术、体能及心理等能力所决定的。因此,有必要将三要素综合起来对该项目运动员战术能力的培养进行深入探讨。4)由运动中机体血流特点看,短道速滑运动与血流限制训练方法有表现相近之处,建议尝试开展短道速滑运动员血流限制训练干预的研究,探索其应用性。5)现有文献主要集中于个人项目,而针对接力项目的研究较少,后期也应给予重视。

加强短道速滑运动生物学研究有利于我国冬奥会的训练备战。中国是短道速滑项目的竞技强国并拥有许多国际优秀的运动员以及积攒了大量的成功比赛经验,这些为开展短道速滑运动的理论研究提供了难得的现实素材。然而,国内关于该项目的运动生物学研究成果还甚少。面对举办在即的北京冬奥会,可以根据运动生物学研究经验,对国内运动员实际水平进行检测与分析,全面把握运动员自身能力,同时进一步完善与拓展当前研究,将研究成果直接服务于我国短道速滑运动的训练与参赛。

参考文献:

陈小平,2010. 重塑我国训练理论的运动生物学基础[J]. 体育科学, 30(11):17-23.

纪仲秋,姜桂萍,王小虹,2002. 短道速度滑冰技术动作分析[J]. 中国体育科技,38(2):56-59.

李文宝,2013. 我国优秀青年短道速滑运动员耐力特征的实验研究[J]. 山东体育科技, 35(3):83-85.

林辉杰,2017.500 m短道速滑优秀运动员滑频、滑幅对运动成绩的影响研究[C]//第十九届全国运动生物力学学术交流大会论文摘要汇编. 石家庄:中国体育科学学会运动生物力学分会:94-95.

刘俊一,张强,徐莹,2011. 冬奥会前高原备战对国家女子短道速滑队主力运动员有氧运动能力的影响研究[J]. 中国体育科技, 47(1):107-111.

石诗萌,戴玮,张纯,等,2019. 功能性动作筛查(FMS~(TM))预测高水平短道速滑运动员运动损伤的效度研究[J]. 成都体育学院学报,45(2):103-109.

陶玉晶,张强,刘俊一,2010. 国家短道速滑队主力队员膝、踝关节屈、伸肌群等速测试中专项力量的特征研究[J]. 天津体育学院学报,25(5):381-384.

王帅,周继和,2019. 短道速滑奥运冠军武大靖500 m入弯道技战术的运动学分析[J]. 成都体育学院学报,45(4):79-84.

王向东,侯亚丽,徐文泉,等,2018. 短道速滑1000 m滑行的运动学特征研究[J]. 中国体育科技,54(5):127-131.

张士祥,张亚丽,1993. 我国优秀女子短跑道速滑运动员最大有氧能力及通气阈的追踪研究[J]. 北京体育学院学报,16(3):73-79.

郑小凤,何颖,2020. 中韩男子短道速滑1500 m战术定位与滑行节奏的对比研究[J]. 成都体育学院学报,46(1):121-126.

FELSER S, BENHRENS M, FISCHER S, et al., 2016a. Relationship between strength qualities and short track speed skating performance in young athletes[J]. Scand J Med Sci Sports, 26(2):1-7.

FELSER S, BEHRENS M, FISCHER S, et al., 2016b. Neuromuscular activation during short-track speed skating in young athletes[J]. Int J Sports Physiol Perform, 11(7):848-854.

FLORENTINA J H, MARCO K, CHRIS C, et al., 2016. Differences in muscle oxygenation, perceived fatigue and recovery between long-track and short-track speed skating [J]. Front Physiol, doi:10.3389/fphys.2016.00619.

FOSTER C, KONING D, HETTINGA F J, et al., 2003. Pattern of energy expenditure during simulated competition [J]. Med Sci Sports Exer, 35(5):826-831.

FOSTER C, RUNDELL K W, SNYDER A C, 1993. Evidence for restricted muscle blood flow during speed skating[J]. Med Sci Sports Exer, 31(10):1433-1440.

HAUG W B, DRINKWATER E J, MITCHELL L J, et al., 2015. The relationship between start performance and race outcome in elite 500-m short-track speed skating [J]. Int J Sports Physiol Perform, 10(7):902-906.

HESFORD C M, LAING S J, 2012. Asymmetry of quadriceps muscle oxygenation during elite short-track speed skating [J]. Med Sci Sports Exer, 44(3):501-508.

HESFORD C M, LAING S, CARDINALEA M, et al., 2013. Effect of race distance on muscle oxygenation in short-track speed skating [J]. Med Sci Sports Exer, 45(1):83-93.

ILG W, GIESE M, GIZEWSKI E, et al., 2008. The influence of focal cerebellar lesions on the control and adaptation of gait [J]. Brain, 131(17):2913-2927.

IVRY R, KEELE S W, DIENER H C, 1988. Dissociation of the lateral and medial cerebellum in movement timing and movement execution [J]. Exp Brain Res, 73(1):167-180.

KHUYAGBAATAR B, PUREVSUREN T, PARK W M, et al., 2017. Interjoint coordination of the lower extremities in short-track speed skating [J]. Proc Inst Mech Eng H, 231(10):987-993.

KIM E K, CHOI H K, 2017. Epidemiologic study of sports injuries in Korean elite short track speed skaters [J]. Korean J Sports Sci, 26(2):965-976.

KUIPERS H, MORAN J, MITCHELL D W, et al., 2007. Hemoglobin levels and athletic performance in elite speed skaters during the Olympic season 2006 [J]. Clin J Sports Med, 17(2):135-139.

KONINGS M J, ELFERINK M T, STOTER I K, et al., 2015. Performance characteristics of long-track speed skaters: A literature review [J]. Sports Med, 45(4):505-516.

KONINGS M J, HETTINGA F J, 2017. Objectifying tactics: Athlete and race variability in elite short-track speed skating [J]. Int J Sports Physiol Perform, 13(2):170-175.

KONINGS M J, HETTINGA F J, 2018. Preceding race efforts affect pacing and short-track speed skating performance [J]. Int J Sports Physiol Perform, 13(8):970-976.

KONINGS M J, NOORBERGEN O S, PARRY D, et al., 2016. Pac-

- ing behavior and tactical positioning in 1 500-m short-track speed skating[J]. *Int J Sports Physiol Perform*, 11(1):122-129.
- MARPLE H D, CRIADO J, 1999. Rhythmic neuronal activity in the lateral cerebellum of the cat during visually guided stepping[J]. *J Physiol*, 518(Pt 2):595-603.
- MENTING S G, HUIJGEN B C, KONINGS M J, et al., 2019a. Pacing behavior development of youth short-track speed skaters: A longitudinal study[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 52(5):1099-1108.
- MENTING S G, KONINGS M J, ELFERINK M T, et al., 2018. Pacing behaviour of elite youth athletes: Analysing 1 500-m short-track speed skating[J]. *Int J Sports Physiol Perform*, 14(2):222-231.
- MUEHLBAUER T, CHRISTIAN S, 2011. Relationship between starting and finishing position in short track speed skating races[J]. *Eur J Sport Sci*, 11(4):225-230.
- NOORBERGEN O, KONINGS M, MICKLEWRIGHT D, et al., 2016. Pacing behaviour and tactical positioning in 500 m and 1 000 m short-track speed skating[J]. *Int J Sports Physiol Perform*, 11(6):742-748.
- NOORDHOF D A, MULDER R C M, DE KONING J J, et al., 2016. Race factors affecting performance times in elite long-track speed skating[J]. *Int J Sports Physiol Perform*, 11(4):535-542.
- PALMER G D, BROWNLOW M, HOPKINS J, et al., 2014. Epidemiological study of injury and illness in great britain short-track speed skating[J]. *Brit J Sports Med*, 48(7):649-650.
- PARK I S, LEE N J, KIM Y, et al., 2012. Volumetric analysis of cerebellum in short-track speed skating players [J]. *Cerebellum*, 11(4):925-930.
- PARK I S, YOON J H, KIM N, et al., 2013. Regional cerebellar volume reflects static balance in elite female short-track speed skaters [J]. *Int J Sports Med*, 34(5):465-470.
- QUINN A, VICTOR L, JOHN M, et al., 2003. Injuries in short track speed skating[J]. *Am J Sports Med*, 31(4):507-510.
- RUNDELL K W, 1996a. Effects of drafting during short-track speed skating[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 28(6):765-771.
- RUNDELL K W, 1996b. Compromised oxygen uptake in speed skaters during treadmill in-line skating [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 28(1):120-127.
- RUNDELL K, NIOKA S, CHANCE B, 1997. Hemoglobin/myoglobin desaturation during speed skating [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 29(2):248-258.
- SEAN M, PROCTOR L, VREDENBURG J, et al., 2006. Influence of starting position on finishing position in World Cup 500 m short track speed skating[J]. *J Sports Sci*, 24(12):1239-1246.
- SEO N J, ARMSTRONG T J, 2009. Biomechanical analysis for handle stability during maximum push and pull exertions [J]. *Ergonomics*, 52(12):1568-1575.
- SMITS B L, PEPPIG G J, HETTINGA F J, 2014. Pacing and decision making in sport and exercise: The roles of perception and action in the regulation of exercise intensity[J]. *Sport Med*, 44(6):763-775.
- SMITH T B, HOPKINS W G., 2011. Variability and predictability of finals times of elite rowers [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 43(11):2155-2160.
- TSERENCHIMED P, BATBAYAR K, KYUNGSOO K, et al., 2018. Investigation of knee joint forces and moments during short-track speed skating using wearable motion analysis system[J]. *Int J Precision Engineering and Manufacturing*, 19(7):1055-1060.
- VAN D K, DE L, VEEGER, 2019. Push-off forces in elite short-track speed skating[J]. *Sports Biomech*, 18(5):527-538.
- VAN I S, KONING D, GROOT D, 1990. A simulation of speed skating performances based on a power equation[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 22(5):718-728.

Sport-Biological Profile of Short Track Speed Skating

MA Jie

National Academy of Chinese Theatre Arts, Beijing 100073, China

Abstract: Short track speed skating is a winter sport which has a advantage of achievement in China. However the research on sports biology theory in China is still relatively inadequate. In this paper, the biological characteristics of the project in terms of technology, physical ability, tactics, sports injury and so on are analyzed by consulting the literature. Short-track speed-skating is a kind of race-speed project technical sport. The curve gliding has the characteristics of trunk forward tilt, body introversion, posture squat and flexion, single support longer than double support and right single support longer than left single support. Short track speed skating requires high balance coordination ability; extension of knee joint mainly provides skating power and isometric flexion is mainly used to maintain skating posture; right leg anterior tibial muscle and rectus femoris muscle contribute mostly to velocity; skating posture and bend technique limit the maximum oxygen uptake level of athletes and cause the difference of blood flow supply and oxygen utilization between left and right legs. Starting position and starting acceleration have a great influence on short distance events. The starting position of the inner track can establish an advantage for the competition. But drafting is more important for long-distance events. It is necessary to adjust the speed according to the change of the opponent. Knee, ankle, waist and thigh are common injury sites.

Keywords: *short track speed skating; biological feature; technology; pacing behavior*