



不同推橇阶段支撑期冲量特征与速度的关系研究

龚敏^{1,2}, 刘猛¹, 朱欢³, 陈超¹, 高炳宏^{1*}

(1. 上海体育大学, 上海 200438; 2. 广州体育学院, 广东 广州 510500;

3. 湖北民族大学, 湖北 恩施 445000)

摘要:目的:探讨钢架雪车运动员不同推橇阶段支撑期冲量特征与速度之间的关系。方法:使用 Vicon 三维运动捕捉系统和 Kistler 测力台,同步采集 17 名国家钢架雪车运动员推橇阶段的运动学(速度与制动期、推进期时长)和动力学参数(地面反作用力、冲量)。结果:1)与第 3 步相比,推橇 20 m 处的制动期时长更长而推进期时长更短,制动力和垂直力峰值更大而推进力峰值更小,水平制动冲量更大而水平推进冲量、净水平冲量更小;2)在第 3 步和 20 m 处,水平推进冲量、净水平冲量与速度均呈强的正相关关系($r=0.650$, $r=0.624$, $r=0.615$, $r=0.850$, $P<0.01$);垂直冲量与第 3 步速度呈强的正相关关系($r=0.662$, $P<0.01$);水平制动冲量与推橇 20 m 处速度呈中度正相关关系($r=0.536$, $P<0.05$)。结论:对于我国优秀钢架雪车运动员来说,较大的推进冲量和净水平冲量对推橇阶段的速度极为重要,且在推橇加速阶段产生相对较大的垂直冲量可能更有利于提高推橇速度,但同时也不能忽视最大速度阶段制动冲量的作用。

关键词:钢架雪车;推橇阶段;地面反作用力;动力学特征

中图分类号:G804.63

文献标识码:A

钢架雪车是经典的滑行竞速项目,由推橇与滑行阶段组成。在推橇阶段,运动员需俯身抓握把手全速推进钢架雪车,于出发槽 20~30 m 处跃上车内,并以俯卧姿势进入滑行阶段。研究表明,快速的推橇时间对钢架雪车运动员的运动表现有重要影响(Brüggenmann et al., 1997; Dabnichki, 2015; Zanoletti et al., 2006)。在推橇阶段领先 0.1 s 可使运动员在最终比赛成绩上领先 0.3 s(Lembert et al., 2011)。冲量是影响运动员速度变化的关键指标,也是影响水平方向加速能力的决定因素(Moir et al., 2015)。了解运动员在推橇阶段支撑期内的冲量特征,有利于深入理解推橇速度的获得与保持规律,进而提高运动成绩。

目前,关于推橇阶段冲量的相关研究较少。钢架雪车运动员在推橇时的下肢运动模式与短跑相似,都是通过支撑腿和摆动腿快速交替使运动员获得最大速度。因此,钢架雪车作为一个新兴冬奥项目,在早期体能和推橇技术训练中大量借鉴短跑的研究成果。已有研究证明短跑运动员在各个阶段呈现出来的冲量特征具有显著差异(Nagahara et al., 2018a; Von et al., 2020)。在加速初期阶段,短跑运动员保持身体前倾时能产生更多的推进冲量,而在加速末期和最大速度阶段,运动员身体接近垂直于地面,则会产生更多垂直方向的力。高水平短跑运动员

应在加速阶段增大推进冲量,而在最大速度阶段增大垂直冲量并尽可能最小化制动冲量(Hunter et al., 2005; Morin et al., 2011; Nagahara et al., 2018a)。但是身体姿势会影响施力的方式和力的方向(Hicks et al., 2020),对于在上橇前始终保持躯干前倾姿势的钢架雪车运动员来说,其推橇时冲量特征在不同阶段是否存在差异,目前国内尚未有研究证实。此外,为了获得较快的上橇前速度,钢架雪车运动员在推橇加速阶段和最大速度阶段下肢着地时的最佳施力策略仍需进一步探讨。

推橇过程可划分为启动阶段、加速阶段、最大速度阶段和上橇阶段,在各个阶段保持良好的推橇技术对推橇速度极为重要。有研究将推橇第 1—2 步划分为启动阶段(Roberts, 2013),推橇第 3 步为加速阶段内侧脚的一个步态周期,钢架雪车运动员在此阶段加速至最大速度,而在

收稿日期:2022-11-09; 修订日期:2023-06-25

基金项目:国家重点研发计划“科技冬奥”重点专项(2019YFF0301603);上海市人类运动能力开发与保障重点实验室项目(上海体育大学)(11DZ2261100)。

第一作者简介:龚敏(1994-),女,讲师,博士,主要研究方向为体能和技术诊断与分析,E-mail: gongmin_2019@163.com。

*通信作者简介:高炳宏(1971-),男,教授,博士,博士研究生导师,主要研究方向为优秀运动员身体机能状态和运动训练负荷监控与评定,E-mail: gaobinghong@126.com。

推橇 20 m 处左右则为最大速度末期阶段, 此时运动员达到上橇前最大推橇速度 (Colyer et al., 2018a)。探讨推橇第 3 步和 20 m 处地面反作用力冲量的差异及其对推橇速度的重要性, 能够增进教练员和运动员对不同推橇阶段能力需求的认识, 对优化推橇技术、改进训练方法和手段、提高我国钢架雪车运动员的推橇成绩具有重要意义。因此, 本研究的主要目的是探究推橇加速阶段和最大速度阶段的地面反作用力冲量特征及其与速度之间的关系。

1 研究方法

1.1 研究对象

选取 17 名国家钢架雪车运动员为测试对象。其中, 男性运动员 10 人 [年龄: (22.80 ± 0.98) 岁; 身高: (181.40 ± 3.53) cm; 体重: (81.81 ± 5.02) kg], 女性运动员 7 人 [年龄: (20.86 ± 1.46) 岁; 身高: (172.63 ± 6.70) cm; 体重 (64.50 ± 5.61) kg]; 健将运动员 12 人, 一级运动员 2 人, 其他运动等级 3 人。所有受试者在测试前均签署知情同意书, 近半年内无重大损伤史, 身体机能和运动状态良好。

1.2 数据采集

采用 Vicon (V5, 英国) 红外三维运动捕捉系统进行运动学数据采集, 在模拟推橇跑道左右两侧各放置 7 个摄像头, 采样频率为 200 Hz。采用 Kistler 测力台 (9287CA, 90×60 cm, 瑞士) 进行动力学数据采集, 采样频率为 1 000 Hz。测试前将 3 块测力台放入田径馆跑道上的坑洞内 (尺寸与测力台一致), 并在测力台表面放置与跑道颜色相同的塑胶垫。运动学与动力学数据的采集由 Vicon 系统进行同步触发。数据采集环境如图 1 所示。

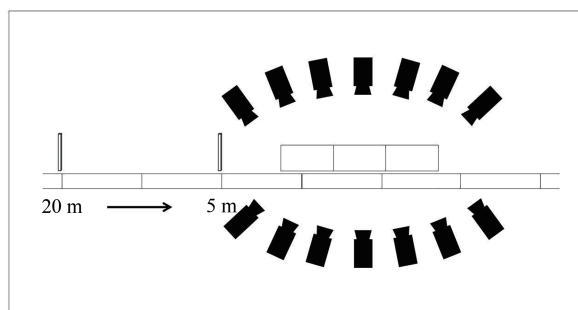


图 1 数据采集环境

Figure 1. Setup of Data Collecting

将运动员推橇手同侧的腿 (即靠近橇的一侧) 定义为内侧腿, 另一侧腿定义为外侧腿。本研究分别对推橇阶段第 3 步和 20 m 处的一个复步进行数据采集, 所有运动员在测试前一天均已熟悉测试流程, 并踩好步点, 为避免内外侧腿差异影响本研究的测试结果, 规定运动员在 20 m 处用内侧腿踩上测力台。

运动员按照比赛时的热身计划进行 40 min 热身。热身结束后, 运动员穿着钉鞋, 男性运动员仅穿着贴身运动短裤, 女性运动员穿着运动背心以及贴身运动短裤。根据 Visual 3D (C-Motion Inc., USA) 人体模型建立的要求, 在运动员全身贴置共 46 个反光球。运动员首先进行第 3 步数据的采集, 测试人员向运动员下达“开始测试”的口令后, 运动员开始推橇起跑, 过 15 m 标志点后可上橇。完成一次推橇后间歇 5 min 左右再次测试, 每个运动员采集两次有效数据, 有效数据要求运动员在采集过程中反光球无掉落且第 3 步踩在测力台上。第 3 步数据采集完后间歇 5 min, 运动员后退, 距离第 1 块测力台约 20 m, 测试人员向运动员下达“开始测试”的口令后, 运动员择机开始推橇, 过测力台后可上橇, 每个运动员采集两次有效数据, 有效数据要求运动员在采集过程中反光球无掉落且内侧脚踩在测力台上。

1.3 数据处理

采用 Visual 3D 软件对运动学及动力学数据进行处理。滤波采用 4 阶 butterworth 低通滤波器, 运动学数据截止频率为 10 Hz, 动力学数据截止频率为 50 Hz。着地时刻定义为垂直方向上的地面反作用力首次上升至 20 N, 而离地时刻定义为垂直方向上的地面反作用力下降至 20 N。所有地面反作用力数据均进行标准化处理。运动学指标包括重心速度、制动期和推进期时长, 动力学指标包括制动力、推进力、垂直力、水平制动冲量、水平推进冲量、净水平冲量和垂直冲量。部分测试指标及定义见表 1。

表 1 测试指标及其定义

Table 1 Test Indicators and Definitions

名称	定义
制动期时长	地面反作用力方向与运动方向相反时的时间
推进期时长	地面反作用力方向与运动方向一致时的时间
制动力峰值	支撑期前后方向地面反作用力的最小值
推进力峰值	支撑期前后方向地面反作用力的最大值
垂直力峰值	支撑期垂直方向地面反作用力的最大值
水平制动冲量	制动期水平方向上的力与力作用时间所围面积
水平推进冲量	推进期水平方向上的力与力作用时间所围面积
净水平冲量	水平制动冲量与水平推进冲量之和
垂直冲量	支撑期垂直方向上的力与力作用时间所围面积减去重力与力作用时间所围面积

1.4 数理统计

所有数据均采用平均数 ± 标准差 ($M \pm SD$) 表示, 采用 SPSS 25.0 软件对数据进行统计分析。采用配对样本 T 检验对同一测试者不同推橇阶段支撑期的地面反作用力冲量指标进行比较, 采用 Pearson 相关对不同推橇阶段支撑期的地面反作用力冲量与速度之间的关系进行分析, 相

关系数 r 在 0.00~0.20 为弱相关或无关, 0.21~0.40 为弱相关, 0.41~0.60 为中度相关, 0.61~0.80 为强相关, 0.81~1.00 为非常强的相关关系 (Salkind, 2008)。尽管男性和女性运动员在推橇运动表现上存在差异, 但是影响二者运动表现的力学因素一致, 探讨动作技术的力学与运动表现之间的关系不受性别影响 (Wilkau et al., 2020), 因此, 本研究将男、女运动员的数据合并为一组进行统计分析。以 $P < 0.05$ 为显著性标准。

2 研究结果

2.1 推橇阶段地面反作用力冲量的特征

推橇阶段第3步和20 m处的地面反作用力冲量相关数据见表2。由图2~图4可知, 第3步与20 m处在制动期与推进期时长、制动力峰值、推进力峰值、垂直力峰值、水平制动冲量、水平推进冲量、净水平冲量上均具有非常显著性差异, 而在垂直冲量上则不具有显著差异。与第3步相比, 推橇20 m处的制动期更长而推进期时长更短, 制动力和垂直力峰值更大而推进力峰值更小, 水平制动冲量更大而水平推进冲量、净水平冲量更小。

表2 推橇阶段第3步与20 m处支撑期地面反作用力特征 ($M \pm SD$)

Table 2 Characteristics of Ground Reaction Force during the Support Period at Step 3 and 20 m of Pushing Phase

指标	第3步	20 m
步速/($m \cdot s^{-1}$)	4.652 ± 0.410	7.163 ± 0.632
制动期时长/s	0.016 ± 0.002	0.032 ± 0.015
推进期时长/s	0.164 ± 0.015	0.107 ± 0.010
制动力峰值/($N \cdot kg^{-1}$)	-0.951 ± 0.385	-1.879 ± 0.342
推进力峰值/($N \cdot kg^{-1}$)	1.295 ± 0.202	0.994 ± 0.159
垂直力峰值/($N \cdot kg^{-1}$)	15.390 ± 2.175	22.999 ± 5.344
水平制动冲量/($Ns \cdot kg^{-1}$)	-0.003 ± 0.001	-0.007 ± 0.003
水平推进冲量/($Ns \cdot kg^{-1}$)	0.053 ± 0.009	0.024 ± 0.005
净水平冲量/($Ns \cdot kg^{-1}$)	0.050 ± 0.009	0.017 ± 0.006
垂直冲量/($Ns \cdot kg^{-1}$)	0.496 ± 0.088	0.491 ± 0.088

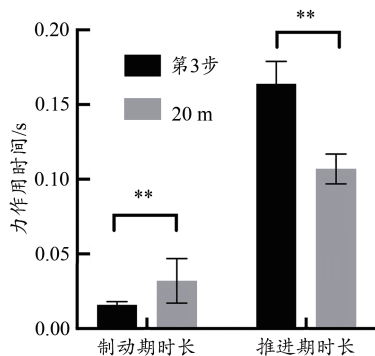


图2 第3步与20 m处制动期与推进期时长对比

Figure 2. Comparison of the Duration during Braking Period and Propulsion Period at Step 3 and 20 m

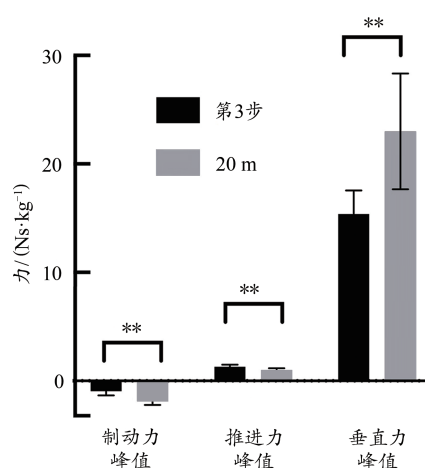


图3 第3步与20 m处地面反作用力峰值对比图

Figure 3. Comparison of the Peak Force at Step 3 and 20 m

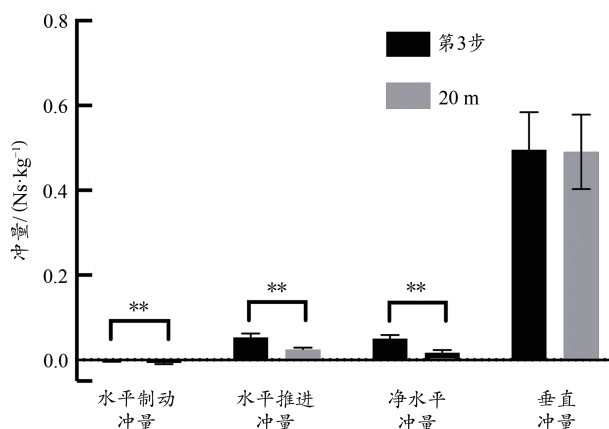


图4 第3步与20 m处地面反作用力冲量对比

Figure 4. Comparison of the Impulse at Step 3 and 20 m

2.2 地面反作用力冲量与推橇速度的相关性

由表3可知, 水平推进冲量与推橇阶段第3步和20 m处速度呈强相关关系; 净水平冲量与第3步速度呈强相关关系, 与20 m处速度呈非常强的相关关系; 垂直冲量与第3步速度呈强相关关系, 而与20 m处速度则没有显著相关关系; 水平制动冲量与20 m处速度呈中度相关关系, 而与第3步速度则没有显著相关关系。

表3 地面反作用力冲量与推橇速度的 Pearson 相关分析结果

Table 3 Results of Pearson Correlation Analysis between Impulse and Push Velocity

指标	第3步		20 m	
	r	P	r	P
水平制动冲量/($Ns \cdot kg^{-1}$)	-0.342	0.179	0.536*	0.026
水平推进冲量/($Ns \cdot kg^{-1}$)	0.650**	0.005	0.624**	0.007
净水平冲量/($Ns \cdot kg^{-1}$)	0.615**	0.009	0.850**	0.000
垂直冲量/($Ns \cdot kg^{-1}$)	0.662**	0.004	0.086	0.744

注: * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$ 。

3 分析与讨论

3.1 不同推橇阶段地面反作用力冲量的特征

本研究目的之一是通过比较钢架雪车运动员推橇第3步和20 m处地面反作用力冲量特征,探讨其在推橇加速阶段和最大速度阶段之间的差异。研究结果表明,与第3步相比,推橇20 m处的制动期更长而推进期更短,制动力和垂直力峰值更大而推进力峰值更小,水平制动冲量更大而水平推进冲量、净水平冲量更小,但是垂直冲量变化不明显。

根据地面反作用力的朝向将支撑期分为制动期和推进期,即水平作用力方向与运动员推橇方向相反时为制动期,水平作用力方向与运动员推橇方向一致时为推进期。随着速度加快,钢架雪车运动员在推橇时制动期时长增加而推进期时长缩短。制动期时长增加可能与着地距离增大、着地角减小有关,而触地时间缩短则会影响推进期时长。目前,尚未有其他研究报道推橇阶段支撑期时长。与短跑运动员相比,钢架雪车运动员推橇时第3步的制动期时长(0.012 s vs. 0.016 s)和推进期时长(0.140~0.147 s vs. 0.164 s)均更长,制动期占比更大(7.7%~7.9% vs. 8.791%)而推进期占比更小(92.1%~92.3% vs. 91.209%) (Salol et al., 2005; Wilkau et al., 2020),这可能与身体姿势有一定关系。虽然短跑运动员在第3步时仍处于加速初期,依旧保持身体前倾的姿势,但与钢架雪车运动员相比,其躯干与水平面的夹角相对较大,而钢架雪车运动员则一直保持躯干前倾的身体姿势,双手推橇或一只手推橇而另一只手摆臂,这种身体姿势使下肢活动范围受到一定限制,从而可能影响下肢的着地技术和摆动速度,导致制动期和触地时间较长。尽管制动期和推进期时长占比存在差异,但钢架雪车运动员推橇时制动期和推进期时长的变化特征与短跑加速阶段一致(于佳彬, 2016; Wilkau et al., 2020)。

推橇第3步和20 m处的峰值力在水平方向和垂直方向上均具有显著差异。与第3步相比,推橇20 m处的推进力峰值更小而制动力、垂直力峰值更大。Wilkau等(2020)报道了短跑运动员在加速阶段、转换阶段和最大速度阶段的地面反作用力峰值,与之相比,钢架雪车运动员在推橇阶段第3步和20 m处的制动力、推进力和垂直力峰值均更大。但在加速阶段,钢架雪车和短跑运动员在制动力、推进力和垂直力的变化特征上一致。随着速度加快,推进力减小而制动力和垂直力增大(Haugen et al., 2019; Mero, 1988; Mero et al., 1986)。

与第3步相比,推橇20 m处的水平制动冲量更大而水平推进冲量、净水平冲量更小。冲量的大小由力及其作用时间共同决定。由表2可知,第3步较小的制动冲量取决于更短的制动期时长和更小的制动力,而更大的推进冲量则与更长的推进期时长和更大的推进力有关。尚

未有研究对推橇阶段支撑期的冲量特征进行探讨。与短跑中关于地面反作用力冲量的研究结果相比,虽然报道的距离不一致,但也可以发现钢架雪车运动员在推橇时水平方向上的冲量比短跑运动员冲刺时要小,且在垂直方向上的冲量也比大部分关于短跑冲刺的研究报道的结果更小(Hunter et al., 2005; Kawamori et al., 2013; Morin et al., 2015)。这可能是受测试场地、测试仪器、受试者来源、距离等因素的影响。另外,随推橇速度加快,制动冲量增大而推进冲量和净水平冲量减小,这与短跑冲刺中的结论一致。本研究中,在第3步和20 m处垂直冲量没有明显变化,这可能与随推橇速度加快,虽然垂直力峰值增大,但是触地时间缩短有关。而在短跑中关于垂直冲量变化的研究结论尚未明确。Nagahara等(2018a)对18名来自大学运动俱乐部的受试者进行60 m最大努力冲刺时的动力学数据进行采集与分析,结果表明随着速度加快,垂直冲量没有发生变化。于佳彬(2016)对短跑加速阶段和最大速度阶段的生物力学特征进行研究发现,两阶段在垂直冲量上也没有显著变化。然而,Kawamori等(2013)、Morin等(2015)的研究结果则显示随着速度加快,垂直冲量增大。

3.2 地面反作用力冲量与推橇速度之间的关系

本研究另一个目的是试图探究推橇第3步和20 m处地面反作用力冲量与推橇速度之间的关系。研究结果表明,钢架雪车运动员在推橇支撑期产生较大的推进冲量和净水平冲量对第3步和20 m处推橇速度均具有重要影响,在第3步产生相对较大的垂直冲量且在20 m处产生相对较大的水平制动冲量可能更有利于提高推橇速度。但是,垂直冲量与20 m处推橇速度之间没有显著相关关系,水平制动冲量与第3步推橇速度之间没有显著相关关系。

着地时,运动员向前的冲量通过下肢传递到地面,同时地面会给人体一个大小相等的反作用力,这个力被分解成一个水平向后的力和一个垂直向上的力,水平向后的力与运动员前进方向相反,通常称之为制动力。由表3可知,水平制动冲量与推橇阶段第3步的速度之间没有显著相关关系,提示制动冲量对加速阶段的运动表现影响不大。但制动冲量与推橇阶段20 m处的速度呈中度正相关关系,提示在最大速度阶段,相对较大的制动冲量可能与更快的推橇速度有关。而短跑的相关研究则认为较小的制动冲量是在相对较快的速度中获得更好运动表现的重要因素,提出应尽可能最小化水平制动力(Nagahara et al., 2018b)。这显然与本研究的结果不一致。对于钢架雪车运动员来说,在推橇时应尽可能减少制动力从而提高速度,但是在支撑期也不能完全忽略制动力的作用。在支撑期,运动员下肢肌肉做超等长收缩,在制动期做离心收缩储存弹性势能,然后在接下来的推进期做向心收缩以增强在最短时间内募集肌肉的能力。因此,制动期

时长和制动力大小在一定程度上会影响肌肉超等长收缩的效果。为了获得更快的推橇速度,未来的研究可进一步探讨制动力和推进力的最佳比例。

水平推进冲量与第3步和20 m处推橇速度均呈强相关关系,即水平推进冲量越大,推橇速度越快。有研究已证实推进冲量的大小与加速运动表现高度相关(Hicks et al., 2020; Kawamori et al., 2013; Morin et al., 2015)。Hunter等(2005)研究表明推进冲量可以解释57%的短跑加速阶段运动表现差异性。Wilkaun等(2020)研究表明在短跑最大速度阶段,推进力峰值可以解释24%的运动表现差异性。然而,Colyer等(2018a)的研究显示在加速阶段初期,推进力与水平功率呈正相关,但随着速度加快,则是制动力与水平功率更为相关。在最大速度阶段,具有相对较大的推进力可以延长加速阶段,使运动员更晚达到最大速度,从而有利于提高最终运动表现(Wilkaun et al., 2020)。因此,推进力对最大速度阶段也比较重要。接近最大速度阶段时,由于触地时间太短,没有充分的时间允许下肢肌肉进行最大收缩从而产生更大的峰值力(Weyand et al., 2010)。因此,下肢能够快速施加专项所需的力可能是限制速度的重要因素(Weyand et al., 2010)。

根据牛顿定理,运动员重心速度的改变取决于水平方向的冲量大小。净水平冲量是制动冲量和推进冲量之和。在本研究中,净水平冲量与第3步推橇速度呈强相关关系,与20 m处推橇速度呈非常强的相关关系,提示净水平冲量在推橇阶段的重要性。在训练实践中想要提高推橇阶段的成绩,就必须在改进或优化推橇动作技术时产生尽可能大的净水平冲量,以获取最大速度。短跑中也有大量研究证明了净水平冲量对其运动表现的关键作用(Haugen et al., 2019; Morin et al., 2012; Weyand et al., 2000)。然而,简单地最大化净水平冲量并不是改善加速运动表现的最佳方式,因为运动员仍需要产生垂直方向的地面反作用力,且简单地尝试最大化净水平冲量也会增加触地时间并降低步频,可能对加速运动表现产生不利影响。应该将地面反作用力的大小、方向和持续时间进行最佳组合,以最大程度地提高冲刺运动表现(Kawamori et al., 2013)。

垂直冲量与第3步的推橇速度呈强相关关系,而与20 m处推橇速度则没有显著相关关系,说明在推橇加速阶段,除了需要产生更多的推进冲量和净水平冲量外,运动员还需要产生一定的垂直冲量,而随着速度加快,垂直冲量对速度的影响减小。Colyer等(2018b)的研究也表明垂直力在接近最大速度时与运动表现没有关系,但还有一部分研究认为垂直冲量与短跑加速阶段运动表现无关(Hunter et al., 2005; Kawamori et al., 2013; Morin et al., 2011),而对最大速度阶段的运动表现具有重要影响(Morin et al., 2011; Nagahara et al., 2018b; Salol et al.,

2005),这可能与身体姿势有关。在推橇启动加速阶段,钢架雪车运动员需要一直保持躯干前倾的状态,从相对静止的身体姿势推橇加速至最大速度,需要相对更大的垂直方向上的力在触地期间支撑身体并推动人体向前加速,为下一次着地产生足够的腾空时间。

4 结论

不同推橇阶段支撑期的冲量特征存在差异。随着推橇速度加快,水平制动冲量更大而水平推进冲量、净水平冲量更小,但垂直冲量变化不明显。对于我国优秀钢架雪车运动员来说,较大的推进冲量和净水平冲量对推橇阶段的速度极为重要,且在推橇加速阶段产生相对较大的垂直冲量可能更有利于提高推橇速度,但也不能忽视最大速度阶段制动冲量的作用,未来可以加强对制动力和推进力最佳比例的研究。在训练实践中,教练员或运动员优化推橇动作技术时可以将产生尽可能大的推进冲量和净水平冲量作为评价指标,且在体能训练时应重视水平和垂直方向上力的发展,尤其是水平方向,包括最大肌力和爆发力。

参考文献:

- 于佳彬, 2016. 短跑加速阶段与最大速度阶段生物力学特征研究[D]. 上海: 上海体育学院.
- BRÜGGEMANN G P, MORLOCK M, ZATSIORSKY V M, 1997. Analysis of the bobsled and men's luge events at the XVII Olympic Winter Games in Lillehammer[J]. *J Appl Biomech*, 13(1):98-108.
- COLYER S L, NAGAHARA R, SALO A I T, 2018a. Kinetic demands of sprinting shift across the acceleration phase: Novel analysis of entire force waveforms[J]. *Scand J Med Sci Sport*, 28(7): 1784-1792.
- COLYER S L, STOKES K A, BILZON J L J, et al., 2018b. Skeleton sled velocity profiles: A novel approach to understand critical aspects of the elite athletes' start phases[J]. *Sport Biomech*, 17(2): 168-179.
- DABNICHKI P, 2015. Bobsleigh performance characteristics for winning design[J]. *Procedia Eng*, 112(1):436-442.
- HAUGEN T, MCGHIE D, ETTEMA G, 2019. Sprint running: From fundamental mechanics to practice: A review[J]. *Eur J Appl Physiol*, 119(6):1273-1287.
- HICKS D S, SCHUSTER J G, SAMOZINO P, et al., 2020. Improving mechanical effectiveness during sprint acceleration: Practical recommendations and guidelines[J]. *Strength Cond J*, 42(2):45-62.
- HUNTER J P, MARSHALL R N, MCNAIR P J, 2005. Relationships between ground reaction force impulse and kinematics of sprint-running acceleration[J]. *J Appl Biomech*, 21(1):31-43.
- KAWAMORI N, NOSAKA K, NEWTON R U, 2013. Relationships between ground reaction impulse and sprint acceleration performance in team sport athletes[J]. *J Strength Cond Res*, 27(3):568-573.
- LEMBERT S, SCHACHNER O, RASCHNER C, 2011. Development of a measurement and feedback training tool for the arm strokes of high-performance luge athletes[J]. *J Sports Sci*, 29(15):

- 1593-1601.
- MERO A, 1988. Force-time characteristics and running velocity of male sprinters during the acceleration phase of sprinting[J]. *Res Q Exerc Sport*, 59(2):94-98.
- MERO A, KOMI P V, 1986. Force-, EMG, and elasticity relationships at submaximal, maximal and supramaximal running speeds in sprinters[J]. *Eur J Appl Physiol*, 55(5):553-561.
- MORIN J B, BOURDIN M, EDOUARD P, et al., 2012. Mechanical determinants of 100 m sprint running performance[J]. *Eur J Appl Physiol*, 112(11):3921-3930.
- MORIN J B, EDOUARD P, SAMOZINO P, 2011. Technical ability of force application as a determinant factor of sprint performance[J]. *Med Sci Sports Exer*, 43(9):1680-1688.
- MORIN J B, SLAWINSKI J, DOREL S, et al., 2015. Acceleration capability in elite sprinters and ground impulse: Push more, brake less?[J]. *J Biomech*, 48(12):3149-3154.
- NAGAHARA R, MIZUTANI M, MATSUO A, et al., 2018a. Association of sprint performance with ground reaction forces during acceleration and maximal speed phases in a single sprint[J]. *J Appl Biomech*, 34(2):104-110.
- NAGAHARA R, MIZUTANI M, MATSUO A, et al., 2018b. Step-to-step spatiotemporal variables and ground reaction forces of intra-individual fastest sprinting in a single session[J]. *J Sports Sci*, 36(12):1392-1401.
- ROBERTS I, 2013. Skeleton bobsleigh mechanics: Athlete-sled interaction[D]. Scotland: The University of Edinburgh.
- SALKIND N J, 2008. *Statistics For People Who (Think They) Hate Statistics*[M]. 3rd edition. London, United Kingdom: Sage Publications.
- SALOL A I T, KERANEN T, VIITASALO J T, 2005. Force production in the first four steps of sprint running [C]// *Proceedings of XXIII International Symposium on Biomechanics in Sports*. Beijing: International Society of Biomechanics; 313-317.
- WEYAND P G, SANDELL R F, PRIME D N L, et al., 2010. The biological limits to running speed are imposed from the ground up[J]. *J Appl Physiol*, 108(4):950-961.
- WEYAND P G, STERNLIGHT D B, BELLIZZI M J, et al., 2000. Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements[J]. *J Appl Physiol*, 89(5):1991-1999.
- WILKAU H C V L U, BEZODIS N E, MORIN J B, et al., 2020. The importance of duration and magnitude of force application to sprint performance during the initial acceleration, transition and maximal velocity phases[J]. *J Sports Sci*, 38(20):2359-2366.
- ZANOLETTI C, LA TORRE A, MERATI G, et al., 2006. Relationship between push phase and final race time in skeleton performance[J]. *J Strength Cond Res*, 20(3):579-583.

Research on the Relationship between Impulse Characteristic and Velocity during Support Period in Different Pushing Phase

GONG Min^{1,2}, LIU Meng¹, ZHU Huan³, CHEN Chao¹, GAO Binghong^{1*}

1. Shanghai University of Sport, Shanghai 200438, China;

2. Guangzhou Sport University, Guangzhou 510500, China;

3. Hubei University for Nationalities, Enshi 445000, China

Abstract: Objective: To explore the relationship between impulse characteristics and velocity of the skeleton athletes during support period in different pushing phase. Methods: The Vicon three-dimensional motion capture system and Kistler force plate were used to simultaneously collect the kinematics (velocity, braking time, impulsive time) and dynamics parameters (ground reaction force, impulse) of 17 national skeleton athletes during pushing phase. Results: 1) Compared with step 3, the braking time at 20 m was longer and the propulsive time was shorter, the peak braking force and vertical force were greater but the peak propulsive force was smaller, the horizontal braking impulse was larger but the horizontal propulsive and net horizontal was smaller; 2) At step 3 and 20 m, the horizontal propulsive impulse, net horizontal impulse and velocity were strongly correlated ($r=0.650$, $r=0.624$, $r=0.615$, $r=0.850$, $P<0.01$); the vertical impulse and the velocity of step 3 was correlated positively ($r=0.662$, $P<0.01$), and the horizontal braking impulse was positively correlated with the velocity at 20 m ($r=0.536$, $P<0.05$). Conclusions: For the high-level skeleton athletes, a large propulsive and net horizontal impulse are extremely important for push velocity, and it may be more beneficial to generate a relatively large vertical impulse during the acceleration push phase; meanwhile, the role of the braking impulse during the maximum speed phase should not be neglected.

Keywords: skeleton; push phase; ground reaction force; kinetics