



滑得更快的科学 ——速度滑冰的运动生物学特征

李 博^{1,2}, 刘翠佳³, 杨 威¹, 黎涌明^{1,4*}

(1. 上海体育学院, 上海 200438; 2. 福建师范大学, 福建 福州 350108;

3. 哈尔滨市冬季运动项目训练中心, 黑龙江 哈尔滨 150036; 4. 国家体育总局体育科学研究所, 北京 100061)

摘 要:随着速度滑冰世界纪录的不断刷新,人类正逐渐逼近滑冰速度的极限,同时也促使人们对速度滑冰科学的进一步探索。从速度滑冰的技术、生理学、比赛和训练的角度对速度滑冰的运动生物学进行综述发现:低坐位的滑冰姿势节约了空气阻力,但由此造成的血流限制增加了生理学负荷;速度滑冰运动员的体型与普通人差异不大,但是速度滑冰运动员的下肢更为发达,体脂率更低;速度滑冰对运动员的有氧和无氧能力均有着较高的要求;近年来对速度滑冰比赛能量供应特征的研究显示,以往的研究可能低估了速度滑冰比赛的有氧供能比例,同时训练领域也发现在过去几十年低强度有氧训练的比例逐渐增加。未来应加强对速度滑冰生物学特征的研究,为速度滑冰制定科学的训练计划提供参考。

关键词:速度滑冰;运动学;形态学;能量供应;训练

中图分类号:G862.1 **文献标识码:**A

2019/2020赛季速度滑冰有3个新的世界纪录诞生,作为一项历史悠久的运动项目,速度滑冰在追求更快的道路上从未停止。有研究表明,在速度滑冰成绩提高的因素中器材的改进约占到了50%,场地设施的改进、分离式冰鞋和紧身速滑服对滑冰成绩的提升起到了非常重要的作用(蔡旭旦等,2020;杨宸灏等,2020)。而剩下的50%主要来自运动员自身能力的提升,而这主要体现在速度滑冰技术的改进和运动员身体机能的增强(De Koning, 2010)。低姿滑冰技术,运动员的形态学、生理学研究的不断深入以及训练的改进对速度滑冰成绩提升均起到了非常重要的作用。

2022年北京冬奥会速度滑冰比赛共设有14个小项,是所有参赛项目中金牌数最多的项目,其中单人项目10个,按照比赛距离划分为短距离(500 m、1 000 m)、中距离(1 500 m)和长距离(3 000 m、5 000 m和10 000 m)。目前荷兰是速度滑冰竞技水平较高的国家,截止2018年平昌冬奥会,荷兰在速度滑冰项目共拿到了42枚金牌,占该项目金牌总数的22.5%,211枚奖牌,占奖牌总数的22.0%。我国在速度滑冰项目仅获得1枚金牌,8枚奖牌。2022年北京冬奥会举办在即,快速提高速度滑冰项目成绩对提升我国在冬季项目的竞技实力有着非常重要的意义。然而在过去的两个赛季里,我国速度滑冰运动员在世

界杯比赛中共获得1枚金牌和2枚银牌,落后于荷兰(31金、29银、25铜)、俄罗斯(22金、25银、35铜)和日本(18金、20银、15铜)等国,反映出我国速度滑冰整体竞技实力有待提升(李博等,2020)。速度滑冰作为冰上竞速类项目,对运动员的滑冰技术和生理学能力都有着较高的要求。为了快速提高中国速度滑冰的成绩,需要从科学的角度加深对速度滑冰生物力学、生理学和训练学在内的项目特征的认识。

1 速度滑冰的生物力学特征

1.1 速度滑冰技术的特殊之处

在多数运动中,人体通过肌肉收缩推动接触面产生与推力方向相反的运动,例如,跑步时向后蹬地推动人向前运动(图1A)(De Koning et al., 2000b)。但滑冰与多数运动不同,由于冰面摩擦力较小,人在冰面滑行时不能通过

收稿日期:2020-07-24; 修订日期:2021-01-18

基金项目:国家重点研发计划“科技冬奥”重点专项(2018YFF0300901)。

第一作者简介:李博(1990-),男,在读博士研究生,主要研究方向为运动训练的生物学基础,E-mail:libo@sus.edu.cn。

*通信作者简介:黎涌明(1985-),男,教授,博士,博士研究生导师,主要研究方向为人体运动的动作和能量代谢特征,E-mail:liyongming@sus.edu.cn。

向后推动冰面产生向前的速度,最有效的发力方向为水平面内垂直于滑冰前进方向,而滑冰技术的难点在于把侧向的蹬冰力转换为向前的速度(图1B)(侯广庆等, 2006; De Koning et al., 2000b)。滑冰时推力的反作用力(F_p)与冰面的夹角叫作蹬冰角(α), F_p 可以分解为水平分力(F_z)和垂直向上的分力(F_y),但是 F_y 并不能帮助滑冰前进,因此 α 越小 F_z 就越大,蹬冰的效率就越高(De Koning et al., 2000b)(图1B)。 F_p 的水平分量会产生一个垂直于滑冰方向X的加速度,使身体由蹬冰腿向支撑腿一侧加速运动。侧向加速度产生的速度与原滑冰方向的速度共同合成了一个新的速度,这个新的速度会稍微改变运动员的前进方向,当运动员左右腿交替蹬冰滑行时,运动员沿着冰道方向成正弦曲线运动(Van Der Kruk et al., 2018)(图2B)。滑行过程中的重心相对较低,蹬冰时膝关节伸展使重心略微升高,左右腿交替滑行时身体重心在前视图内也会呈现正弦曲线运动(图2A)。

由于滑冰生物力学的特殊性,正确的滑冰技术对速度滑冰尤为重要。速度滑冰从起跑至滑行动作技术有很大差异,运动员以跑步式(running-like)技术启动在冰面快速奔跑,在启动的几步之后(男6步,女7步)滑行的距离变长,膝关节的屈伸幅度逐渐增加,运动员开始使用滑冰技

术(De Koning et al., 1995)。滑冰动作周期一般分为3个阶段,滑行、蹬冰和收腿。以右腿为例,在左腿蹬冰的作用下右腿向前滑行,此时左右冰刀都留在地面,滑行末期右腿快速伸膝发力蹬冰,重心转移到左侧滑行,右腿蹬冰结束后快速收腿,准备下一次滑行(图2A)(Van Der Kruk et al., 2018)。

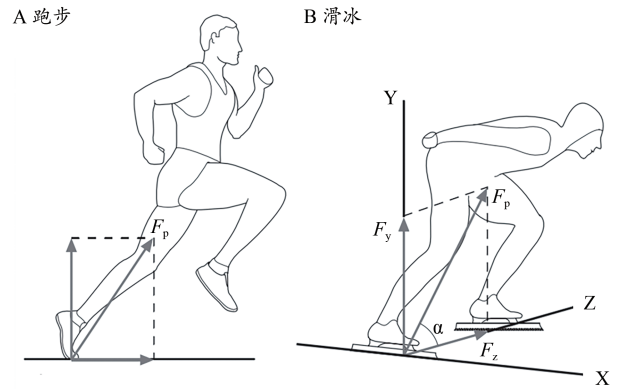


图1 跑步与速度滑冰在推进力上的差异(De Koning et al., 2000b)
Figure 1. Differences in Running and Speed Skating in Propulsion (De Koning et al., 2000b)

注: F_p 为推力的接触面反作用力,X为速度滑冰前进方向,Y为垂直冰面方向,Z为垂直于速度滑冰前进方向, α 为蹬冰角, F_z 为水平方向的分力, F_y 为垂直方向的分力,下同。

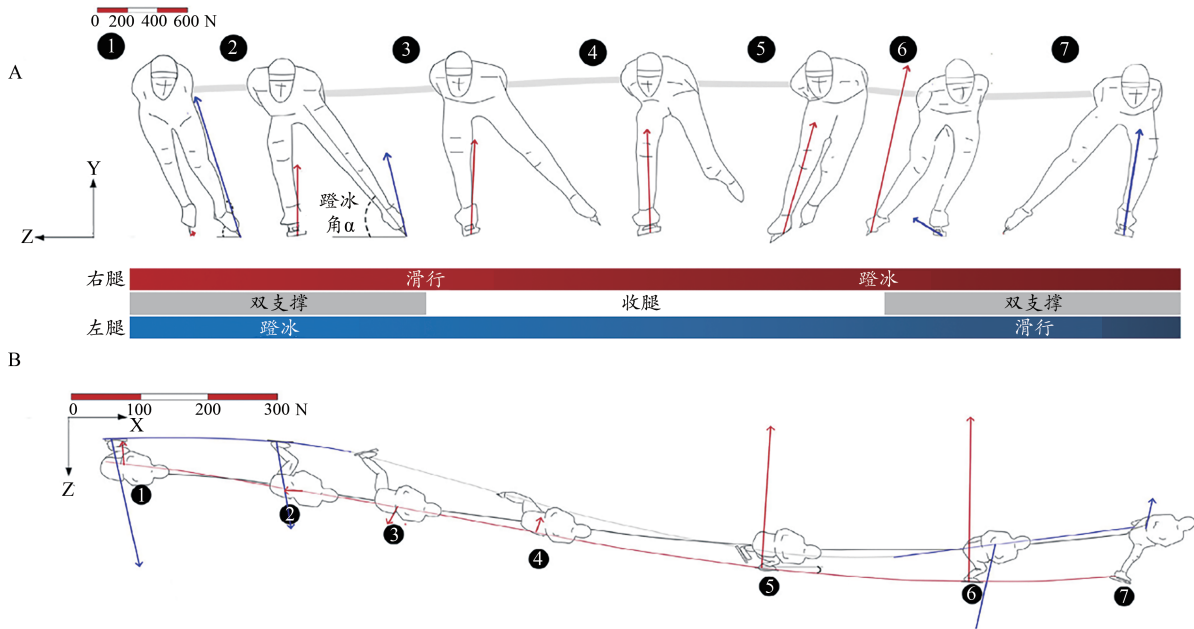


图2 速度滑冰直线滑行时运动员的前视图与俯视图(Van Der Kruk et al., 2018)

Figure 2. Front and Top View of Athletes During Straight Skating(Van Der Kruk et al., 2018)

注:A为速度滑冰前视图,B为速度滑冰俯视图;1~7为速度滑冰动作周期,以右腿滑行为例,1~4为滑行,5~6为右腿蹬冰,7为收腿。

1.2 直道滑冰的技术特征

速度滑冰约80%的能量损失来自风阻,运动员必须保持低坐位(low-sitting)的滑冰姿势以减小风阻。低坐位滑冰姿势的运动学特征主要表现在滑冰时身体关节角度的变化(图3)。有研究表明,优秀速度滑冰运动员冰面滑

行时的膝关节角度(θ_0)在 $90^\circ \sim 110^\circ$ (Van Ingen Schenau et al., 1983c; Yuda et al., 2007),躯干与水平面的夹角(θ_1)约 15° (Van Ingen Schenau, 1982),蹬冰时 α 约 55° (Noordhof et al., 2014),蹬冰膝关节在0.2 s内快速伸展至 170° (传统冰鞋的最大伸展角度 160°)(Houdijk et al., 2000)。但低坐位

的滑冰姿势会增加滑冰运动员下肢肌肉的张力,间歇性的阻断血流供应,从而增加对下肢无氧供能的募集(Foster et al., 1999b)。累积的代谢废物也会进一步增加运动员的疲劳程度,较高的血乳酸浓度会导致速度滑冰运动员因疲劳而不能保持良好的滑冰技术,运动员的 θ_0 、 α 随着比赛的进行逐渐增加,蹬冰效率随之不断下降。

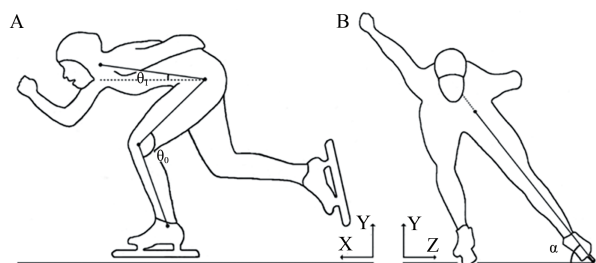


图3 直道滑行时速度滑冰的姿态

Figure 3. Speed Skating Posture in the Straight

注: θ_0 为膝关节角度, θ_1 为躯干与水平面的夹角。

早期研究通过滑冰姿势估算滑冰运动员的能量损失,De Koning等(2005)通过实验研究发现,速度滑冰1 500 m比赛中运动员的 θ_0 随比赛的进行而增加, θ_1 随比赛的进行而减小,运动员速度变化约有42%是由于滑冰姿势变化引起的。但是,Noordhof等(2013)对速度滑冰5 000 m的研究表明,比赛中滑冰速度的降低与 α 的增加显著相关,与 θ_0 和 θ_1 之间变化不存在相关性,因此该研究认为,比赛中滑冰速度的下降并不是因为空气阻力的增加,而且由于 α 增加导致蹬冰效率下降。随后Noordhof等(2014)进一步推算得出,在速度滑冰比赛中 α 每增加1°会使1 500 m比赛中速度减小0.011 m/s,5 000 m比赛速度减小0.069 m/s,因此在长距离速度滑冰中维持较小的 α 尤为重要。值得注意的是,以往的研究将 α 定义为蹬冰腿与冰面的夹角,但是Van Der Kurk(2016)的研究表明,蹬冰的作用力并不沿此连线,蹬冰力的方向与小腿之间还存在踝扭角(ankle kink)。这提示,以往对 α 的研究可能存在不足。

1.3 弯道滑冰的技术特征

速度滑冰直线与弯道技术的差异较大,弯道滑行时需要运动员的左腿向右侧蹬冰,右腿在左腿前快速交叉步,滑行时重心向场地内倾斜以更好地利用向心力,这大大增加了弯道滑行时的技术难度(De Boer et al., 1987a)。不同于速度滑冰直道滑行时蹬冰腿发力都指向身体对侧,弯道滑行时运动员左右腿都需要向身体右侧蹬冰,这造成了运动员左右腿发力不对称。研究发现,运动员弯道滑行时左腿的平均功率输出为(4.38±0.48)W/kg,右腿的输出功率为(3.00±0.63)W/kg,而直线时左右腿输出功率均为(3.94±0.72)W/kg(De Koning et al., 1991)。发力的不对称性也体现在运动员下肢肌肉氧饱和的变化,通过近红外光谱仪测得运动员在直道滑行时左右腿肌肉氧饱

和度交替上升与下降,而在弯道滑行时左腿的肌肉氧饱和度始终高于右腿(Hettinga et al., 2016)。

不同水平速度滑冰运动员的弯道技术存在一定差异,在此方面日本和韩国的研究者对弯道滑冰技术细节有着更加深入的研究。Yuda等(2003, 2004)研究发现,弯道速度快的运动员开始蹬冰时身体与冰面的夹角更小,身体重心能够充分的倾斜到场地内。高水平运动员还表现出弯道蹬冰的时间更短,蹬冰时膝关节的伸展角度更大(De Boer et al., 1987a),在长距离比赛后半段弯道蹬冰频率更高,滑冰动作中滑行阶段时间更短(Yuda et al., 2007),单圈比赛中的速度变化率更小(Takenaka et al., 2011)。此外,还有研究发现,在速度滑冰500 m比赛中弯道速度快的运动员并不一定能在比赛中获得更好的成绩(Song et al., 2018)。这似乎表明,频繁的加减速会导致运动员额外的能量消耗,弯道速度可能并不是决定运动员比赛获胜的决定因素,运动员还要重视弯道与直道的衔接以及出弯道之后的降速问题。

2 速度滑冰运动员的生理学特征

2.1 速度滑冰运动员形态学特征

对2018年平昌冬奥会速度滑冰运动员身高、体重的信息统计发现(表1),速度滑冰男子不同项目运动员的平均身高178~182 cm,平均体重72~79 kg,女子运动员平均身高168~172 cm,平均体重56~62 kg。速度滑冰不同项目之间运动员的平均身高和体重差异不大。同样,De Greeff等(2011)和De Koning等(1994)对青少年精英速度滑冰运动员的研究均发现,体型与参赛项目和运动成绩之间均不相关。此外,Kudybyn等(2018)对2012—2016年世界级优秀速度滑冰运动员体重信息统计发现,速度滑冰不同比赛项目之间的平均体重不存在明显差异,这与多数耐力项目短距离运动员身材更加高大有所不同。这似乎表明体型可能并不是制约速度滑冰成绩的关键因素。对高水平运动员体型与运动成绩之间的关系有待更加深入的研究。

尽管现有的研究表明,精英速度滑冰运动员运动成绩与体型不存在相关性,但是在身体结构上可能存在一定的差异。Sovak等(1987)对加拿大速度滑冰国家队运动员的研究发现,精英级速度滑冰运动员与大学生运动员相比下肢更短,躯干更长。Van Ingen Schenau等(1983c)对5名精英级速度滑冰运动员与普通速度滑冰运动员形态学特征对比发现,虽然两者的身高、腿长无明显差异,但是精英级运动员的大腿更短小腿更长。鉴于上述两篇研究发表的时间较早(距今超过30年),其数据的参考价值有待进一步验证。尽管速度滑冰运动员在体型上似乎与普通人大腿围度和肌肉量比大学生运动员、马拉松运动员、短跑

运动员、花样滑冰运动员和低水平速度滑冰运动员更高 (Akahane et al., 2006; Sovak et al., 1987)。这也反映了大

腿维度和肌肉量在速度滑冰中的重要性。

表1 平昌冬奥会速度滑冰运动员身高、体重信息统计

Table 1 Statistics on Height and Mass of Speed Skaters in Pyeongchang Winter Olympics

性别		500 m	1 000 m	1 500 m	3 000 m	5 000 m	10 000 m	集体出发	团体追逐
男	人次	19	20	25		18	11	11	19
	身高/cm	178±7	180±5	180±5		181±6	182±7	179±5	179±5
	体重/kg	75±7	79±5	76±6		75±8	76±9	72±6	73±6
女	人次	16	27	14	9	5		6	14
	身高/cm	171±7	171±7	172±6	171±8	169±11		168±8	170±8
	体重/kg	62±6	62±7	61±5	59±7	57±8		56±8	60±7

注:数据来源于维基百科, https://en.wikipedia.org/wiki/Speed_skating_at_the_2018_Winter_Olympics;部分运动员并未公开身高、体重信息,且有些参赛运动员有兼项,所以实际人数以人次为单位统计。

身体成分是除了体型和身体结构以外人体形态学研究的重点。Van Ingen Schenau等(1983b)研究发现,相对输出功率(W/kg)高的运动员往往有着更好的运动成绩,因此运动员保持相对较高的肌肉量和较低的体脂率就显得尤为重要,高水平速滑运动员体脂率应保持在男子<10%、女子<20%。高维伟等(1993)对中国速度滑冰运动员身体成分的研究发现,男子短距离运动员体脂率为9.6%、全能运动员为10.9%,女运动员短距离为24.1%,全能运动员为23.7%,均高于世界高水平运动员的体脂率。刘俊一等(2010)对中国女子短道速滑国家队运动员2007—2008赛季7个月的训练和比赛发现,女子短道速滑队的体脂率从赛季初的24.2%下降至22.7%。Pollock等(1982)在对美国男子不同水平速滑运动员体脂率的调查发现,奥运组的体脂7.6%<非奥运组8.1%<普通人13.6%。Van Ingen Schenau等(1990)运用公式推算认为,速度滑冰运动员每降低1 kg体脂,可以使500 m速滑的成绩提高0.12 s。但是De Koning等(1994)对荷兰速度滑冰青年国家队运动员长达5年的跟踪研究发现,男(9.6%~11.0%)、女(20.0%~22.2%)运动员在16~21岁的体脂率变化并不大,且体脂率与运动成绩之间并不存在相关性。综合上述研究结果,本研究认为,优秀速度滑冰运动员体脂率应维持在男子约10%、女子约20%。

2.2 速度滑冰运动员的有氧能力

最大摄氧量($\dot{V}O_{2max}$)是评价运动员有氧能力的重要指标,单位:ml/(min·kg)。文献研究中不同速度滑冰类项目运动员的 $\dot{V}O_{2max/peak}$ 差异较大(本文将通过递增负荷测试得到 $\dot{V}O_2$ 定义为 $\dot{V}O_{2max}$,非递增负荷测试得到的均为 $\dot{V}O_{2peak}$),男子速度滑冰运动员 $\dot{V}O_{2max/peak}$ 为46.3~72.9(3.01~5.58 l/min)(De Boer et al., 1987b; De Koning et al., 1994, 2000a; Foster et al., 1993, 1999b; Kandou et al., 1987; Krieg et al., 2006; Maksud et al., 1982; Piucco et al., 2015, 2016, 2017; Rusko et al., 1978; Van Ingen Schenau et al., 1983a, 1983c,

1988, 1992; Smith et al., 1991; Snyder et al., 1993; Yu et al., 2012),女子速度滑冰运动员 $\dot{V}O_{2max/peak}$ 为46.4~56.1(2.67~3.50 l/min)(刘俊一等, 2011; De Koning et al., 1994, 2005; Piucco et al., 2017, 2015; Van Ingen Schenau et al., 1983a, 1988; Smith et al., 1991; Snyder et al., 1993; Yu et al., 2012)。尽管文献报道中运动员 $\dot{V}O_{2max}$ 差异较大,但是国家级和奥运级别运动员 $\dot{V}O_{2max}$ 似乎都保持在男子>60、女子>50,略高于足球(Bangsbo, 1994)、网球(李博等, 2017)等球类运动员,但是低于优秀的越野滑雪(Sandbakk et al., 2016)、长跑(Solis et al., 2015)和公路自行车(Salazar-Martínez et al., 2016)等周期性耐力项目运动员。这可能是由于速度滑冰对有氧能力有较高的要求,但是滑冰动作下肢发力为主,参与运动的肌肉量有限(De Groot et al., 1987),且低坐位滑冰姿势的血流限制阻碍了有氧供能参与(Foster et al., 1999b)。Yu等(2012)测得中国速度滑冰国家队男运动员的 $\dot{V}O_{2max}$ 为52.5,女运动员为47.8。刘俊一等(2011)对中国女子短道速滑队的 $\dot{V}O_{2max}$ 研究发现,运动员从冬训前48.7上升至冬训后51.2。这提示,我国运动员的 $\dot{V}O_{2max}$ 低于国际高水平运动员。

影响速度滑冰类项目运动员 $\dot{V}O_{2max}$ 的因素较多, Van Ingen Schenau等(1983c)对荷兰不同水平速度滑冰运动员的研究发现,精英级速度滑冰运动员3 000 m全力滑冰和4 min功率自行车全力骑的 $\dot{V}O_{2max}$ (速度滑冰59.4±3.7,自行车64.4±3.5)均高于一般水平的运动员(速度滑冰57.7±5.6,自行车53.3±8.1)。但是De Koning等(1994)对荷兰青年国家速滑队的跟踪研究发现,运动员 $\dot{V}O_{2max}$ 在5年间的变化并不大,且与速度滑冰成绩不相关。除运动水平与项目外,测试方法也可能会影响测得的 $\dot{V}O_{2max}$,而这极有可能是不同运动方式参与的肌肉量决定的。Snyder等(1993)的研究发现,跑台递增负荷测试的 $\dot{V}O_{2max}$ 为54.6±1.9,高于功率自行车递增负荷测试的50.9±1.8。Van Ingen Schenau等(1983)对不同水平速滑运动员的研

究发现,受试者在功率自行车4 min全力骑行测得的 $\dot{V}O_{2peak}$ (精英:64.4±3.5,一般:57.7±5.6)均高于速度滑冰室内冰场3 000 m全力滑行(精英:59.4±3.7,一般:53.3±8.1)。De Boer等(1987b)的研究发现,使用轮滑鞋在沥青跑道测试的 $\dot{V}O_{2peak}$ 为53.3±6.7,略高于速度滑冰室内冰场测试的50.5±8.0。Kandou等(1987)对速度滑冰 $\dot{V}O_{2max}$ 的研究同样发现,功率自行车(57.2±4.9) > 轮滑鞋场地(55.1±5.5) > 速滑场地测试(55.1±5.5)。Foster等(1999b)对4 min全力功率自行车、跑台轮滑低姿滑行和跑台轮滑高姿滑行(低姿 $\theta_0=109^\circ\pm 5^\circ$,高姿 $\theta_0=114^\circ\pm 4^\circ$)测试发现,功率自行车测得的 $\dot{V}O_{2peak}$ (62.6±6.6) > 跑台高姿滑行(61.9±0.7) > 跑台低姿滑行(55.7±7.7)。综合上述研究结果本研究认为,速度滑冰对运动员的有氧能力有着较高的要求,优秀运动员 $\dot{V}O_{2max}$ 应达到男子>60,女子>50,高水平运动员的 $\dot{V}O_{2max}$ 不存在显著差异。对速度滑冰运动员 $\dot{V}O_{2max}$ 不同测试方法的研究似乎表明,跑台跑步>功率自行车>跑台轮滑>速度滑冰场地。造成该差异的原因可能是因为不同运动方式募集的肌肉量和运动频率不同,其中跑步募集的肌肉量最高,因此测得的 $\dot{V}O_{2max}$ 最高(彭莉,2011);自行车、跑台轮滑和速度滑冰场地测试虽然募集的肌肉量相似,但是自行车有稳定的支撑,可以实现较高的运动频率,而速度滑冰场地测试中受直线和弯道限制,难以实现较高的运动频率,因测得的 $\dot{V}O_{2max}$ 最低(Foster et al., 1999b; Kandou et al., 1987)。

2.3 速度滑冰运动员的无氧能力

速度滑冰运动员需要在0.2 s内快速蹬冰发力,这对运动员的无氧能力有着较高的要求。对高水平速度滑冰运动员30 s Wingate测试的研究发现,男运动员的峰值功率为1 260.0~1 910.0 W(16.6~24.4 W/kg),平均功率为947.5~1 054.0 W(11.2~14.2 W/kg)(De Koning et al., 1994; Foster et al., 1993; Greeff et al., 2011; Hofman et al., 2017; Smith et al., 1991; Van Ingen Schenau et al., 1988, 1992);优秀女运动员的峰值功率为840.7~1 316 W(11.4~20.0 W/kg),平均功率为641.4~769 W(9.3~12.6 W/kg)(De Koning et al., 1994; Greeff et al., 2011; Hofman et al., 2017; Schenau et al., 1988; Smith et al., 1991; Van Ingen Schenau et al., 1998),均达到美国大学生运动联盟(NCAA)中30 s Wingate测试精英级标准(男子峰值功率>13.74 W/kg,平均功率>9.79 W/kg,女子峰值功率>11.07 W/kg,平均功率>8.22 W/kg)(Zupan et al., 2009)。我国速度滑冰运动员30 s Wingate测试男子峰值功率为793.2~876.3 W(10.7~11.5 W/kg)、平均功率为534.2~622.7 W(8.9~9.6 W/kg);女子峰值功率为619.2~682.3 W(8.2~10.9 W/kg)、平均功率为406.3~483.8 W(7.4~10.3 W/kg)(王晶晶等,2014;张元锋等,2008)。这提示,我国运动员30 s Wingate测试的峰值功率和平均功率均小于世界水平运动员。

30 s Wingate测试对速度滑冰运动员的成绩有着非常重要的意义。De Koning等(1994)对荷兰青年速度滑冰运动员的研究发现,高水平速度滑冰运动员30 s Wingate测试的峰值功率和平均功率(男子1 454.7 W,1 054.0 W;女子:970.5 W,742.5 W)均高于低水平运动员(男子1 385.7 W,1 026.6 W;女子892.3 W,668.1 W),但是在相对功率上均不存在太大差异。Greeff等(2011)对荷兰青少年速度滑冰运动员的研究发现,30 s Wingate测试的相对输出功率与500 m速度滑冰成绩正相关,与3 000 m成绩负相关。Smith等(1991)对加拿大运动员的研究同样发现,短距离速度滑冰运动员30 s Wingate测试5 s峰值功率为16.6 W/kg,显著高于全能运动员(14.4 W/kg),且与500 m成绩正相关。然而, Van Ingen Schenau等(1992)对荷兰青年速度滑冰运动员1987/1988赛季年度训练间的30 s Wingate测试进行分析发现,运动员平均相对功率(男子约14 W/kg,女子约12 W/kg)并没有太大变化,且不同运动员之间平均功率的变化与运动成绩之间并不一致。但是近年来Hofman等(2017)对荷兰1 500 m奥运级速度滑冰运动员进行连续3年的跟踪研究,对运动员夏季陆上训练结束时的30 s Wingate测试结果与运动员冬季冰上比赛的成绩进行回归分析,得出速度滑冰运动员30 s Wingate测试峰值功率和平均功率每提高1 W/kg,将会使1 500 m男子成绩提高0.92 s和2.32 s,女子提高0.75 s和2.05 s。综合上述研究结果本研究认为,速度滑冰运动员对无氧能力有着非常高的要求,我国运动员的无氧能力存在较大的差距,30 s Wingate测试对速度滑冰运动员择项和训练均有着非常重要的指导意义。

2.4 速度滑冰运动员的肌纤维类型

速度滑冰不同比赛距离对应的最佳能量供应系统和肌纤维类型可能存在一定的差异,其中慢肌纤维I型主要作用在于维持滑冰姿势,快肌(II型)纤维则在膝关节快速发力时起到重要作用(De Groot et al., 1987)。Yazvikov等(1988)对速度滑冰运动员股外侧肌的研究发现,500 m和1 000 m速度滑冰运动员快肌纤维比例更高(IIa 56%±6%;IIb 31%±7%),而长距离速度滑冰运动员的慢肌纤维比例更高(60%±4%)。Ahmetov等(2011)对速度滑冰运动员的股外侧肌肌肉活检发现,男、女运动员慢肌纤维比例分别为65.7%±10.5%、64.4%±10.3%,均大于普通人(50.1%±11.1%),且长距离速度滑冰运动员的慢肌纤维比例比短距离更高,该研究还发现,ACTN3(α -actinin-3)基因R577X多态性与速度运动员肌纤维类型和最佳比赛距离密切相关。因此,速度滑冰运动员最佳比赛距离很可能是由肌纤维类型决定的,这表明肌纤维类型可以作为速度滑冰运动员选材和择项的重要参考指标。

2.5 速度滑冰比赛的能量供应特征

速度滑冰单人项目的比赛距离在500~10 000 m之

间,世界纪录在 33 s~13 min 之间,不同比赛距离对能量供应需求的差异较大。目前对速度滑冰比赛能量供应特征的研究并不多,并且查阅到的速度滑冰能量供应差异较大(图 4)。Dal Monte (1983) 研究认为,速度滑冰 500 m 的能量全部来自无氧供能(磷酸原 95%,糖酵解 5%),随着比赛距离的增加无氧供能比例逐渐减小,有氧供能比例逐渐增加,在 10 000 m 比赛中无氧供能比例为 20%(磷酸原 5%,糖酵解 15%),有氧供能比例为 80%。但是该研

究得到的供能比例是根据其他全力运动方式的能量供应比例结合速度滑冰比赛时间推测得到的,并没有对速度滑冰进行实际的实验测试。在此之后, Van Ingen Schenau 等(1990)、Foster 等(1999a)和 De Koning 等(2005)利用能量平衡模型,结合运动员功率自行车测试和比赛实际滑行时间,估算得到了速度滑冰的能量供应比例。这些研究结果中不同比赛距离的有氧供能比例均高于 Dal Monte 的研究。

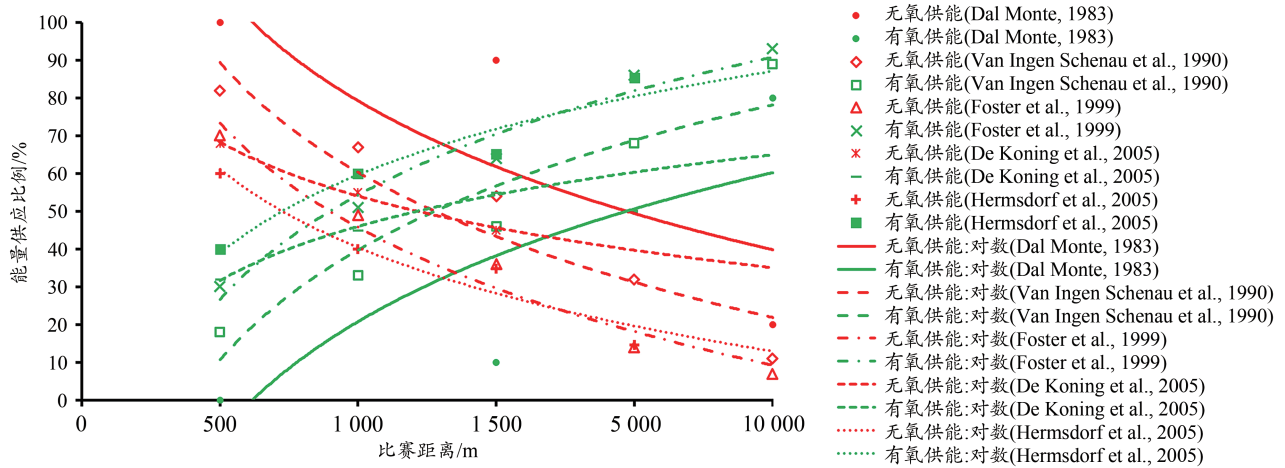


图 4 速度滑冰不同比赛距离的能量供应比例

Figure 4. Energy Contributions in Different Competitions Distance of Speed Skating

注:数据源自 5 篇文献的研究结果(Dal Monte, 1983; De Koning et al., 2005; Foster et al., 1999a; Hermsdorf et al., 2013; Van Ingen Schenau et al., 1990);因为 Dal Monte(1983)和 Hermsdorf 等(2013)的研究结果中包括磷酸原、糖酵解和有氧供能比例,本研究为了制图清晰将磷酸原和糖酵解供能比例相加得到无氧供能比例。

值得注意的是,上述研究中仅有 Hermsdorf 的研究是在室内冰场通过对不同距离的模拟比赛得到的。该研究不同比赛距离的有氧供能比例高于 Van Ingen Schenau 等(1990)、Foster 等(1999a)和 De Koning 等(2005)通过能量流模型计算间接推算的结果。但这一结果可能是由于 Hermsdorf 等(2013)实验中受试者的耗时更长造成的。此外, Hermsdorf 等(2013)的研究中 1 500 m、3 000 m、5 000 m 的耗时分别为 133.10 s、270.20 s、427.40 s,有氧供能比例分别为 65.2%、79.6%、85.4%,该结果与黎涌明等(2014)、Li 等(2015)由全力运动能量供应比例推算公式 [$y = 22.404 \times \ln(x) + 45.176$, y 为有氧供能比例(%), x 为全力运动持续时间(min),公式来自多种运动方式的数据]得到的有氧供能比例 63.0%、77.9%、89.2% 类似。这似乎表明速度滑冰与其他周期性全力运动的有氧供能比例类似。但是速度滑冰低坐位滑冰姿势的血流限制增加了代谢产物的堆积和对快肌纤维的募集,导致速度滑冰较其他运动项目在相同 $\dot{V}O_2$ 和心率下有着更高的血乳酸,而这可能会影响速度滑冰的比赛能量供应特征(Foster et al., 1999b)。因此,未来有待进一步对速度滑冰能量供应特征进行更进一步实验研究。

3 速度滑冰训练

速度滑冰作为一项冬季项目,其训练条件很大程度上受季节影响。不同训练阶段的训练内容安排和训练负荷的周期性分布是制定训练计划的关键因素。Pollock 等(1982)对 1980 年美国速度滑冰国家队训练的统计表明,运动员夏季陆上训练时间为 30~35 h,其中 40% 进行一般的有氧训练(自行车、跑步),20% 进行无氧训练(高强度间歇),15% 进行一般力量训练, <25% 进行陆上的专项训练(滑板、直排轮滑和低姿行走)。但是该研究年代较早,随着训练实践和科学的进步,速度滑冰的训练已经发生了很多改进。YU 等(2012)对中国速度滑冰队 2004—2006 赛季训练课的统计发现,运动员的年度训练课次约 285 次,其中冰上技术训练约 30%,在剩下的陆上训练中约 35% 的训练课为耐力训练,约 20% 的力量训练,速度与专项训练课共约 15%。吴新炎等(2012)、De Boer 等(1987b)发现,轮滑练习和速度滑冰练习在生理学与生物力学特征上差异不大,但是低坐位行走和陆上模拟蹬冰练习与速度滑冰的生理学与生物力学特征差异较大。因此该研究认为,轮滑可以很好地用作夏季陆上练习方法以提高运动员的冰上技术,而不建议进行过多的陆上专

项训练。Oric等(2014)对荷兰优秀速度滑冰运动员长期训练计划的跟踪研究表明,运动员轮滑训练时间从1988年的33.3小时/年减少至2010年的7.5小时/年。研究认为,虽然轮滑很好地模拟了冰上技术动作,轮滑一样需要运动员采取低坐位的滑冰姿势。但是低坐位滑冰姿势的血流限制会增加生理学负荷,可能不利于发展运动员的有氧能力。此外,低坐位滑冰姿势的血流限制会间歇性地阻断下肢肌肉的血液供应,造成局部低氧,这会进一步增加对下肢快肌纤维的募集,产生更多的血乳酸(Foster et al., 1999b)。研究发现,速度滑冰较其他项目最大乳酸稳态的血乳酸更高(Beneke et al., 1996)。如何通过训练提高运动员低姿滑冰时的乳酸清除能力或高乳酸状态下的技术保持能力就显得尤为重要,但是目前还缺乏进一步的研究。自行车训练以下肢发力为主,这与速度滑冰下肢主要参与蹬冰非常类似,且骑自行车时下肢关节受力较小,损伤风险低,因此可以考虑使用自行车训练来提升速度滑冰运动员的一般体能,而通过冰上训练提高运动员的滑冰技术(Foster et al., 1999a)。实践领域也表明,荷兰优秀速度滑冰运动员夏季采用大量的自行车低强度骑行训练来发展运动员的有氧能力,自行车作为重要的训练手段贯穿了速度滑冰运动员整个赛季的训练过程。

近年来研究发现,低强度有氧训练对耐力性项目成绩提升起到重要作用。Yu等(2012)连续跟踪了中国速度滑冰国家队2个赛季的训练,运动员在2004—2005赛季采用传统的乳酸阈模式,2005—2006赛季采用两极化模式,在不增加训练课次的情况下减少了中等强度(血乳酸2~4 mM)训练比例,增加了低强度(血乳酸<2 mM)和高强度(血乳酸>4 mM)训练比例,结果运动员在各个距离的比赛成绩都有了显著提升。Oric等(2014)对荷兰1972—2010年6届奥运会的19名男子中、长距离速度滑冰金牌获得者在奥运周期的训练计划进行了统计,结果表明,运动员除了在2006年周净训练时间最多(11.9 h),其他5个奥运周期的周训练时间均在5.6~7.6 h,但是运动员的冰上训练和轮滑训练总时间均降低,更为重要的是运动员训练强度分布逐渐朝着“金字塔”和“两极化”的方向发展。此外,荷兰研究者Oric等(2020)采用主观疲劳度(RPE)对2010年冬奥会金牌获得者连续4年的夏训进行统计。该运动员一般性训练中RPE强度为2、3的训练时间与30 s Wingate测试平均功率成正相关,RPE为4、5的训练时间与30 s Wingate测试的平均功率呈负相关(图5)。这似乎表明在长期训练中低强度的一般性训练可以帮助提高无氧耐力,而过多中等强度一般性训练会降低运动员的无氧耐力。1500 m比赛的sRPE强度在9或10,但是进行该强度的训练并不会提高运动员的成绩。在夏训阶段进行一般性训练时的RPE以2、3为主,减少RPE为4、5的训练课。这在一定程度上反映了目前速度滑冰越来越重

视运动员低强度的训练。

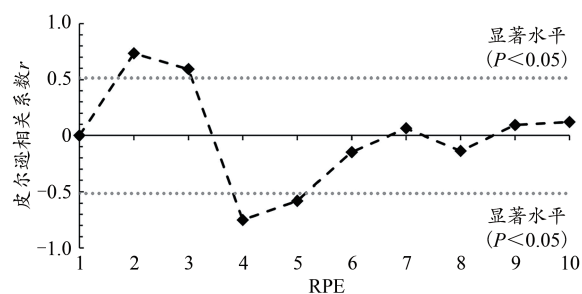


图5 RPE与Wingate平均功率相关性统计(Oric et al., 2020)

Figure 5. Pearson correlation coefficients between RPE and mean powerout of Wingate test(Oric et al., 2020)

注:该运动员为2010年温哥华冬奥会男子速度滑冰1500 m金牌得主,训练统计了2006—2009年连续4个赛季的RPE与30 s Wingate测试平均功率的相关性;RPE表示主观疲劳度。

4 总结与展望

4.1 总结

冰面的低摩擦力减小了速度滑冰的阻力,把侧向的蹬冰力转化为前进方向的速度是滑冰技术的难点。低坐位的滑冰姿势可以降低滑行时的空气阻力, α 是决定滑冰效率的重要因素, α 越小滑冰效率越高。弯道滑行时由于受向心力的作用,其技术难度大于直道,且弯道滑行时存在左右腿负荷不对称的现象。

速度滑冰运动员的体型与普通人差异不大,但速度滑冰运动员的下肢肌肉较其他项目运动员更为发达,优秀速度滑冰运动员的体脂率应保持在男子约10%、女子约20%。

高水平速度滑冰运动员 $\dot{V}O_{2max}$ 略低于高水平耐力项目运动员,高于低水平速度滑冰运动员,但是在高水平运动员之间 $\dot{V}O_{2max}$ 与成绩无关。对不同 $\dot{V}O_{2max}$ 测试方法的研究表明跑台跑步>功率自行车>跑台轮滑>速滑场地。速度滑冰对运动员的无氧能力有着较高的要求,高水平速度滑冰运动员30 s Wingate测试的无氧功率高于低水平运动员,短距离运动员的无氧功率高于长距离运动员。文献报道中我国运动员的有氧与无氧能力均弱于国际优秀运动员,速度滑冰运动员比赛距离越长慢肌纤维的比例就越高。

对速度滑冰不同比赛距离能量供应特征的研究发现,过去的研究可能低估了有氧供能的比例,速度滑冰不同比赛距离的能量供应特征似乎与其他全力运动方式差异不大。近40年来,速度滑冰的训练大幅增加了低强度有氧训练比例,大幅度降低了中、高强度训练的比例。

4.2 展望

2022年冬奥会举办在即,我国速度滑冰项目面临挑战。因此,我们要以科技助力为抓手,加深对项目生物学特征的认识,通过科学化训练来提高运动成绩(张雷等, 2020)。由于国内外对速度滑冰研究的关注度不高,因此

通过加强对速度滑冰的科技助力有望实现项目的“弯道超车”,在2022年冬奥会实现新的突破。对速度滑冰的科技助力可以从以下几个方面出发:1)加强对滑冰技术的研究,尤其重视不同比赛距离运动学特征的动态变化,弯道滑行技术、直道和弯道过渡阶段的滑冰技术以及运动员个体最佳化滑冰技术;2)重视速度滑冰的减阻研究,进行风洞测试为运动员定制个性化的减阻服装和改进滑冰技术,减小滑冰时的风阻;3)加强对速度滑冰运动员体能训练,弥补中国速度滑冰运动员在有氧及无氧能力的不足;4)量化速度滑冰运动员训练负荷,总结与提炼国内外高水平速度滑冰运动员不同阶段的训练计划,量化不同训练内容的负荷,帮助教练员和运动员制定科学的训练计划。

参考文献:

蔡旭旦,毛丽娟,陈小平,2020.冬季运动科学研究典型案例及对我国备战2022年北京冬奥会的启示[J].中国体育科技,56(1):12-23.

高维纬,郑锡明,齐维义,1993.优秀速滑运动员身体成分特征的研究[J].沈阳体育学院学报,(2):15-21.

侯广庆,邹晓峰,陈民盛,2006.滑行姿势和功率对速滑成绩的影响[J].体育学刊,13(1):117-119.

李博,鲍勤,缪律,等,2017.网球运动生物学特征综述[J].中国体育科技,53(5):69-83.

李博,李海鹏,黎涌明,2020.2018/2019赛季速度滑冰国际比赛成绩分析及训练建议[J].中国体育科技,56(3):75-79.

黎涌明,毛承,2014.竞技体育项目的专项供能比例:亟待纠正的误区[J].体育科学,34(10):93-96.

刘俊一,张强,陶玉晶,等,2010.备战2010年冬奥会中国女子短道速滑队2007—2008赛季生理、生化指标变化规律和特征研究[J].中国体育科技,46(4):76-80.

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.

彭莉,2011.置疑最大摄氧量:测试方法与判定标准[J].体育科学,31(7):85-91.

王晶晶,邱俊强,冯玮,2014.速度滑冰运动员6周非冰期体能训练体成分、血液指标及无氧功变化情况的研究[C]//2014年中国运动生理生化学术会议.贵阳:中国体育科学学会运动生理与生物化学分会.

吴新炎,陈月亮,李芙蓉,2012.优秀速滑选手于静实地滑冰和陆上模拟滑冰肌电特征比较研究[J].天津体育学院学报,27(6):515-518.

杨宸灏,杨洋,胡齐,等,2020.紧身服装在冬奥竞速运动项目中的研究与应用现状[J].中国体育科技,56(1):24-30.

张雷,陈小平,冯连世,2020.科技助力:新时代引领我国竞技体育高质量发展的主要驱动力[J].中国体育科技,56(1):3-11.

张元锋,李伟,南相华,2008.我国优秀速滑大学生运动员无氧能力特征的研究[J].冰雪运动,30(6):9-12.

AHMETOV I I, DRUZHEVSKAYA A M, LYUBAEVA E V, et al., 2011. The dependence of preferred competitive racing distance on muscle fibre type composition and ACTN3 genotype in speed skaters[J]. *Exp Physiol*, 96(12):1302-1310.

AKAHANE K, KIMURA T, CHENG G A, et al., 2006. Relationship between balance performance and leg muscle strength in elite and non-elite junior speed skaters[J]. *J Phys Ther Sci*, 18(2):149-154.

BANGSBO J, 1994. The physiology of soccer—with special reference to intense intermittent exercise[J]. *Acta Physiol Scand*, 619(15 Suppl):1-155.

BENEKE R, DUVILLARD S, 1996. Determination of maximal lactate steady state response in selected sports events[J]. *Med Sports Exer*, 28(2):241-246.

DAL MONTE A, 1983. *The Functional Values of Sport*[M]. Firenze: Sansoni.

DE BOER R W, ETTEMA G J, VAN GORKUM H, et al., 1987a. Biomechanical aspects of push-off techniques in speed skating the curves[J]. *Int J Sport Biomech*, 3(1):69-79.

DE BOER R W, VOS E, HUTTER W, et al., 1987b. Physiological and biomechanical comparison of roller skating and speed skating on ice[J]. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 56(5):562-569.

DE GROOT G, HOLLANDER A P, SARGEANT A J, et al., 1987. Applied physiology of speed skating[J]. *J Sports Sci*, 5(3):249-259.

DE KONING J J, 2010. World records: How much athlete? How much technology?[J]. *Int J Sports Physiol Perform*, 5(2):262-267.

DE KONING J J, BAKKER F C, DE G G, et al., 1994. Longitudinal development of young talented speed skaters: Physiological and anthropometric aspects[J]. *J Appl Physiol*, 77(5):2311-2317.

DE KONING J J, DE GROOT G, SCHENAU G J V I, 1991. Speed skating the curves: A study of muscle coordination and power production[J]. *Int J Sport Biomech*, 7(4):344-358.

DE KONING J J, FOSTER C, LAMPEN J, et al., 2005. Experimental evaluation of the power balance model of speed skating[J]. *J Appl Physiol*, 98(1):227-233.

DE KONING J J, HOUDIJK J H P, GROOT G D, et al., 2000a. From biomechanical theory to application in top sports: The Klapskate story[J]. *J Biomech*, 33(10):1225-1229.

DE KONING J J, THOMAS R, BERGER M, et al., 1995. The start in speed skating: From running to gliding[J]. *Med Sci Sports Exer*, 27(12):1703-1708.

DE KONING J J, SCHENAU G J V I, 2000b. Performance-Determining Factors in Speed Skating[M]// *Biomechanics in Sport: Performance Enhancement and Injury Prevention*. New Jersey: Wiley-Blackwell:232-246.

FOSTER C, DE KONING J J, GEMSER H, et al., 1999a. Physiological Perspectives in Speed Skating[M]// *Handbook of Competitive Speed Skating*. Leeuwarden, the Netherlands: Eisma Publishers:117-137.

FOSTER C, RUNDELL K W, SNYDER A C, et al., 1999b. Evidence for restricted muscle blood flow during speed skating[J]. *Med Sci Sports Exer*, 31(10):1433-1440.

FOSTER C, THOMPSON N N, SNYDER A C, 1993. Ergometric studies with speed skaters: Evolution of laboratory methods[J]. *J Strength Cond Res*, 7(4):193-200.

GREEFF M D, ELFERINK-GEMSER M T, SIERKSMA G, et al., 2011. Explaining the performance of talented youth speed skaters[J]. *Ann Res Sport Phys Act*, 1(1):83-99.

HERMSDORF M, HARTMANN U, 2013. Energetische Anforderungen im Eisschnelllauf[J]. Unpublished.

HETTINGA F J, KONINGS M J, COOPER C E, 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.
- HOFMAN N, ORIE J, HOOZEMANS M J M, et al., 2017. Wingate test is a strong predictor of 1 500 m performance in elite speed skaters [J]. *Int J Sports Physiol Perform*, 12(10): 1-17.
- HOUDIJK J H P, DE KONING J J, DE G G, et al., 2000. Push-off mechanics in speed skating with conventional skates and klapskates [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 32(3): 635-641.
- KANDOU T W, HOUTMAN I L, VD B E, et al., 1987. Comparison of physiology and biomechanics of speed skating with cycling and with skateboard exercise [J]. *Can J Sport Sci*, 12(1): 31-36.
- KRIEG A, MEYER T, CLAS S, et al., 2006. Characteristics of in-line speed skating: Incremental tests and effect of drafting [J]. *Int J Sports Exerc Med*, 27(10): 818-823.
- KUDYBYN I, NESTERUK I, PEREVERZYEV S, et al., 2018. Optimal body masses for different Olympic sports [J]. *Innov Biosyst Bioeng*, 2(3): 183-195.
- LI Y, NIESSEN M, CHEN X, et al., 2015. Overestimate of relative aerobic contribution with maximal accumulated oxygen deficit: A review [J]. *J Sports Med Phys Fit*, 55(5): 377-382.
- MAKSUD M G, FARRELL P, FOSTER C, et al., 1982. Maximal VO₂, ventilation and heart rate of olympic speed skating candidates [J]. *J Sports Med Phys Fit*, 22(2): 217-223.
- NOORDHOF D A, FOSTER C, HOOZEMANS M J, et al., 2013. Changes in speed skating velocity in relation to push-off effectiveness [J]. *Int J Sports Physiol Perform*, 8(2): 188-194.
- NOORDHOF D A, FOSTER C, HOOZEMANS M J M, et al., 2014. The association between changes in speed skating technique and changes in skating velocity [J]. *Int J Sports Physiol Perform*, 9(1): 68-76.
- ORIE J, HOFMAN N, DE KONING J J, et al., 2014. Thirty-eight years of training distribution in Olympic speed skaters [J]. *Int J Sports Physiol Perform*, 9(1): 93-99.
- ORIE J, HOFMAN N, MEERHOFF L A, et al., 2020. Training distribution in 1500-m speed skating: A case study of an Olympic Gold Medalist [J]. *Int J Sports Physiol Perform*, 16(1): 149-153.
- PIUCCO T, DIEFENTHAELER F, SOARES R, et al., 2017. Validation of a maximal incremental skating test performed on a slide board: Comparison with treadmill skating [J]. *Int J Sports Physiol Perform*, 12(10): 1363-1369.
- PIUCCO T, LUCAS R D D, DIAS J A, et al., 2015. A novel incremental slide board test for speed skaters: Reliability analysis and comparison with a cycling test [J]. *Apunts Medicina De Lesport*, 50(186): 57-63.
- PIUCCO T, O CONNELL J, STEFANYSHYN D, et al., 2016. Incremental testing design on slide board for speed skaters: Comparison between two different protocols [J]. *J Strength Cond Res*, 30(11): 3116-3121.
- POLLOCK M L, FOSTER C, ANHOLM J, et al., 1982. Body composition of Olympic speed skating candidates [J]. *Res Q Exerc Sport*, 53(2): 150-155.
- RUSKO H, HAVU M, KARVINEN E, 1978. Aerobic performance capacity in athletes [J]. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 38(2): 151-159.
- SALAZAR-MARTÍNEZ E, TERRADOS N, BURTSCHER M, et al., 2016. Ventilatory efficiency and breathing pattern in world-class cyclists: A three-year observational study [J]. *Respir Physiol Neurobiol*, 229: 17-23.
- SANDBAKK Ø, RASDAL V, BR TEN S, et al., 2016. How do world-class nordic combined athletes differ from specialized cross-country skiers and ski jumpers in sport-specific capacity and training characteristics? [J]. *Int J Sports Physiol Perform*, 11(7): 899-906.
- SMITH D J, ROBERTS D, 1991. Aerobic, anaerobic and isokinetic measures of elite Canadian male and female speed skaters [J]. *J Strength Cond Res*, 5(3): 110-115.
- SNYDER A C, O'HAGAN K P, CLIFFORD P S, et al., 1993. Exercise responses to in-line skating: Comparisons to running and cycling [J]. *Int J Sports Exerc Med*, 14(1): 38-42.
- SOLIS Z, TOLLEFSRUD R, 2015. Comparison of maximal oxygen uptake between division III long-distance swimmers and long-distance runners [J]. *Int J Exerc Sci*, 12(1): 17.
- SONG J H, PARK J C, KIM J S, 2018. Kinematic analysis of the technique for 500-m speed skaters in curving [J]. *Kor J Sport Biomech*, 28(2): 93-100.
- SOVAK D, HAWES M R, 1987. Anthropological status of international calibre speed skaters [J]. *J Sports Sci*, 5(3): 287-304.
- TAKENAKA S, YUKI M, FUJII N, 2011. The analysis of race pacing in elite competitive long-distance speed skating [J]. *Por J Sport Sci*, 11(Suppl 2): 393-394.
- VAN DER KRUK E, SCHWAB A L, VAN DER HELM F C T, et al., 2018. Getting in shape: Reconstructing three-dimensional long-track speed skating kinematics by comparing several body pose reconstruction techniques [J]. *J Biomech*, 69: 103-102.
- VAN DER KRUK E, VAN DER HELM F C, SCHWAB A L, et al., 2016. Giving the force direction: analysis of speed skater push off forces with respect to an inertial coordinate system [C]// 34rd International Conference on Biomechanics in Sports. Tsukuba, Japan: International Society of Biomechanics in Sports.
- VAN INGEN SCHENAU G J, 1982. The influence of air friction in speed skating [J]. *J Biomech*, 15(6): 449-458.
- VAN INGEN SCHENAU G J, BAKKER F C, DE G G, et al., 1992. Supramaximal cycle tests do not detect seasonal progression in performance in groups of elite speed skaters [J]. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 64(4): 292-297.
- VAN INGEN SCHENAU G J, DE BOER R W, GEYSEL J S, et al., 1988. Supramaximal test results of male and female speed skaters with particular reference to methodological problems [J]. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 57(1): 6-9.
- VAN INGEN SCHENAU G J, DE KONING J J, DE GROOT G, 1990. A simulation of speed skating performances based on a power equation [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 22(5): 718-728.
- VAN INGEN SCHENAU G J, GROOT G D, 1983a. Differences in oxygen consumption and external power between male and female skaters during supramaximal cycling [J]. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 51(3): 337-345.
- VAN INGEN SCHENAU G J, GROOT G D, 1983b. On the origin of differences in performance level between elite male and female speed skaters [J]. *Hum Movement Sci*, 2(3): 151-159.
- VAN INGEN SCHENAU G J, GROOT G D, HOLLANDER A P, 1983c. Some technical, physiological and anthropometrical aspects of speed skating [J]. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 50(3): 343-354.

Regional Development of Youth Competitive Sports Reserve Talents Training in China: Concentration Analysis and Gradient Development Strategy

ZHANG Xiangfu¹, DAI Gang^{2*}

1. *Qufu Normal University, Qufu 273165, China;* 2. *Shandong Normal University, Jinan 250014, China*

Abstract: Literature review, mathematical statistics, especially the research methods of transplanting and learning from “concentration degree” were used to make a systematic analysis on the regional development of China’s youth competitive sports reserve talents training. The results show that: 1) There is a regional development trend in the aspects of sports investment, training unit, reserve talent quantity and reserve talent base construction in China’s youth competitive sports reserve talents cultivation. Only the regional differences of athletes in various sports schools at all levels in the number of reserve talents are not obvious, and the regional development trend has not yet been fully formed; 2) The results of the National Games of the People’s Republic of China as an indicator of youth competitive sports reserve personnel training has a certain correlation with the GDP, the total population, the number of athletes in training and the investment of youth sports funds, etc in their respective provinces. The highest correlation coefficient is GDP, followed by the number of high-level reserve talent base (three concentration) the number of athletes in training, the investment of youth sports funds and so on; 3) referring to the results of the National Games of the People’s Republic of China, the number of athletes in training, the investment of youth sports funds, the number of high-level reserve talent bases and the number of secondary sports schools in training, the preliminary gradient division of each province is carried out. The administrative regions of Shandong, Guangdong and Jiangsu are all high gradient regions, and other provinces are listed as low gradient regions due to the unstable index changes; 4) the overall goal of the regional development strategy of China’s youth competitive sports reserve talents training should continue to deepen the combination of sports and education, continue to take professional training as the main body, adopt differentiated development strategy according to the characteristics of high gradient and low gradient regional development, and constantly innovate the new training mode of youth competitive sports reserve talents.

Keywords: *youth; competitive sports reserve talents training; regional development; development strategy*

(上接第42页)

YAZVIKOV V, MOROZOV S, NEKRASOV A, 1988. Analysis of the composition of skeletal muscle fibers in skaters’ muscles [J]. *Bull Exp Biol Med*, 105(6): 908-910.

YU H, CHEN X, ZHU W, et al., 2012. A quasi-experimental study of Chinese top-level speed skaters’ training load: Threshold versus polarized model[J]. *Int J Sports Physiol Perform*, 7(2): 103-112.

YUDA J, YUKI M, AE M, 2003. A biomechanical investigation of the skating technique in the curve for elite and junior long distance speed skaters[J]. *Jap J Sport Method*, 16(1): 1-11.

YUDA J, YUKI M, AOYANAGI T, et al., 2004. Changes in blade reaction forces during the curve phase due to fatigue in long distance speed skating[J]. *Int J Sport Health Sci*, (2): 195-204.

YUDA J, YUKI M, AOYANAGI T, et al., 2007. Kinematic analysis of the technique for elite male long-distance speed skaters in curving [J]. *J Appl Biomech*, 23(2): 128-138.

ZUPAN M F, ARATA A W, DAWSON L H, et al., 2009. Wingate Anaerobic Test peak power and anaerobic capacity classifications for men and women intercollegiate athletes [J]. *J Strength Cond Res*, 23(9): 2598-2604.

The Science of Skating Faster —Sport-Biological Profile of Speed Skating

LI Bo^{1,2}, LIU Cuijia³, YANG Wei¹, LI Yongming^{1,4*}

1. *Shanghai University of Sport, Shanghai 200438, China;* 2. *Fujian Normal University, Fuzhou 350108;* 3. *Harbin Winter Sports Training Center, Harbin 150036, China;* 4. *China Institute of Sport Science, Beijing 100061, China*

Abstract: As the world record of speed skating continues to be refreshed, human are gradually approaching the limits of speed on ice, and at the same time urging people to explore the scientific of speed skating. This reviews perspectives of the skating technology, physiology, competition, and training of speed skating. The low-sitting skating technique can reduce the air resistance. However, the blood flow restriction caused by low-sitting will increase the physiological load. Interms of morphological, speed skaters are similar with normal people, but they have more developed lower limbs and lower body fat. Speed skating has high requirements for athletes’ aerobic and anaerobic capacity. Recently, studies on energy contribution of speed skating competitions have showed that previous studies may underestimate the proportion of aerobic energy contributions. Meanwhile, it is found that the ratio of low-intensity aerobic training has been gradually increased over the past decades. In the future, research on the biological profile of speed skating should be strengthened in order to develop scientific training plan for speed skating as referenced.

Keywords: *speed skating; kinematics; anthropometry; energy contribution; training*