

## Clap 冰刀与传统冰刀蹬冰机制比较

陈民盛<sup>1</sup>, 刘 彤<sup>2</sup>, 程湘南<sup>2</sup>

(1. 东北师范大学 体育学院, 吉林 长春 130024; 2. 吉林大学 体育教学与研究中心, 吉林 长春 130013)

**摘 要:**通过对 clap 式冰刀与传统冰刀蹬冰机制的比较得出, clap 式冰刀蹬冰技术原理体现在两个方面: 一是通过提高踝关节的灵活性来改变下肢各关节的发力性质; 二是通过冰刀结构的改变来揭示速滑蹬冰技术动作加速理论的适用条件。其核心是提高踝关节的灵活性。

**关 键 词:**clap 冰刀; 传统冰刀; 蹬冰机制; 踝关节灵活性

**中图分类号:**G862 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-7116(2006)01-0108-03

### A comparison between the skating mechanism of clap style skate blades and traditional skate blades

CHEN Min-sheng<sup>1</sup>, LIU Tong<sup>2</sup>, CHENG Xiang-nan<sup>2</sup>

(1. College of Physical Education, Northeast Normal University, Changchun 130024, China;

2. Teaching and Research Center of Physical Education, Jilin University, Changchun 130013, China)

**Abstract:** By comparing the skating mechanism of clap style skate blades and traditional skate blades, the author revealed the following findings: The technical principle of skating with clap style skate blades showed in such two aspects: 1) force breaking out performance of lower limb joints was changed by enhancing the flexibility of ankle joints; 2) the applicable conditions of the theory of acceleration of skating technical movements used in speed skating were revealed through the change of structure of skating blades. The key point is to enhance the flexibility of ankle joints.

**Key words:** clap style skate blade; traditional skate blade; skating mechanism; flexibility of ankle joint

在国际速滑界 clap 式冰刀的使用开创了一个新纪元。新式冰刀的主体结构是在足底轴承部分的鞋和刀刃之间安装一个铰链装置, 通过该装置允许在蹬冰结束时刻足能够趾屈, 以保证整个刀刃与冰面保持全接触<sup>[1]</sup>。它的发明使运动成绩大幅提高, 从 1998 赛季至今所有的世界纪录都被刷新。

早在 1987 年, 就有人提出了速滑设备应该改进的观点, 认为应该使用一种当刀刃在冰面滑行时, 足环节能够趾屈的冰刀<sup>[2]</sup>。这种观点基于对蹬冰技术的特点和纵跳蹬伸机制的生物力学研究基础上。

采用传统冰刀时, 尽管运用蹬冰技术能够得到较高的速度, 但是这种蹬冰动作是非常不自然的<sup>[2]</sup>。因为空气阻力对高速滑行有很大的影响, 速滑运动员必须保持躯干的水平以减少空气阻力的影响<sup>[3]</sup>; 与此同时, 运动员为了完成蹬伸动作和控制冰刀离冰前刀尖刨冰, 不得不控制足的趾屈<sup>[4]</sup>; 加之躯干和足在蹬冰过程中转动的缺乏, 导致速滑蹬冰动作主要是通过大小腿的转动产生的蹬伸。研究发现: 缺少了有力的足趾屈不仅限制了踝的跖屈, 而且对蹬冰过程中膝关节的充分伸展也有影响<sup>[4]</sup>。速滑技术的难点在于把下肢关节的转动速度有效转换为身体运动的线速度, 它受限于几何学系

统, 即能够引起膝关节充分伸展前髌蹬离踝关节时刻的速度。对于速滑运动员来说, 这种速度的减小出现在膝关节伸展至 150°左右<sup>[4]</sup>。此后由于躯干的内力和对侧腿的牵引作用使蹬冰腿离冰。因此, 蹬冰腿膝关节在 150°以后的伸展出现在蹬冰腿冰刀蹬离冰面之后, 对重心加速不起作用。Konig 等<sup>[5]</sup>的研究发现: 仅仅有很少的一部分运动员采用传统冰刀时能够很好的控制足的趾屈。然而, 这种脚底的弯曲致使冰刀尖被挤压进冰面, 产生了很大的阻力。因此, 在大多数的速滑运动学研究中有效蹬伸的结束时刻, 常常定义为刀刃后部离开冰面瞬间。

在跑、跳等较少限制的运动项目中, 当髌关节的伸展速度相对于踝关节速度减小时, 往往通过爆发式的足趾屈动作来加以补偿, 使蹬伸腿的伸展速度能够进一步增加, 并延长作用时间; 由于踝关节跖屈能力的提高, 使踝、膝关节的伸展肌群完成更多的工作。假设速滑运动员通过跖屈作用使冰刀全刃始终保持与冰面接触, 每次蹬冰的力量就会相应的增加。一种新式冰刀(clap 式冰刀)在此背景下产生了。

运动员改用 clap 式冰刀后运动技术已经有了显著改善, 但是有关 clap 式冰刀蹬伸机制的相关数据却很少。虽然先

前的研究中证实了所期望的蹬伸持续时间和髌、膝、踝关节的伸展范围<sup>[6,7]</sup>。但有关传统冰刀和 clap 式冰刀蹬伸机制的阐述,因研究对象组间的不同,结果并不十分清晰。本文的目的是通过比较传统蹬冰技术与 clap 式冰刀技术的异同性,揭示使用 clap 式冰刀功率(力量)增加的来源。

## 1 clap 冰刀与传统冰刀蹬冰技术的异同

Houdijk 等<sup>[8]</sup>针对一组运动员采用不同冰刀的组间比较后证实,当运动员使用 clap 式冰刀代替传统冰刀时,滑行速度提高将近 5%。这意味着平均输出功率增加了 25 W。速度和平均输出功率的增加,与采用 clap 冰刀后国际比赛中成绩的提高相一致<sup>[9]</sup>。然而和所期待的结果相比,平均功率的增加并不能单独的解释为每次蹬伸做功的增加。因为在平均功率增加的 25 W 中,只有 15 W 可以归因为每次蹬伸做功的提高,其它的 10 W 是由于 clap 冰刀频率的提高所引起<sup>[8]</sup>。这种蹬冰频率的增加,不能从根本上认为是 clap 冰刀的效果。clap 冰刀是为增加每次蹬冰做功而设计的<sup>[1]</sup>。采用 clap 冰刀时足趾屈功能的提高,能够延长蹬伸的时间,并且增大膝关节伸展的范围。每次蹬冰做功的增加归功于踝的跖屈和膝关节伸展幅度的增加<sup>[1]</sup>。通过分析表明:clap 冰刀与传统冰刀的蹬伸方式却十分相似<sup>[10]</sup>。不同之处在于蹬冰最后的 50 ms 内,clap 冰刀与传统冰刀的功率输出上<sup>[8]</sup>。采用 clap 冰刀在最后的 50 ms 内,压力中心移到铰链位置,随着蹬伸动作的延续,压力中心点始终处于铰链之下;而当采用传统冰刀时,压力中心经过足底继续前移直接到达刀尖,形成刀刃转动中心。因此,Houdijk 等<sup>[8]</sup>认为:采用传统冰刀时由于限制了足的趾屈,从而导致机械功的减少是造成两种冰刀机械功率不同的主要原因。

针对蹬冰最后阶段压力中心的位置对机械功率的影响因素,Houdijk 等<sup>[11]</sup>通过改变铰链位置,进一步研究了 clap 冰刀铰链位置对蹬伸机制的影响。结果发现:铰链位置的不同,并不影响每次蹬冰的平均功率;但转动中心的位置影响脚转动的时间及环节转动的平衡方式。这从侧面证实了 clap 冰刀与传统冰刀之间在蹬伸机制上确实存在着不同,表现为铰链位置的不同,改变了脚转动的时相,使下肢环节的相互作用方式发生了变化。陈民盛等<sup>[12]</sup>通过建立以冰刀铰链为转动原点的下肢关节蹬伸模型,对 clap 式冰刀的蹬伸机制进行了探讨。结果显示:踝关节至蹬伸 80% 阶段以前,是以提供稳定的支撑作用为主,仅在蹬伸的 80% 阶段以后,特别是 90% ~ 100% 阶段内才完成动力蹬伸;就膝关节而言,右侧肢体前倾下压动作尤为突出,正是由于左右腿蹬伸方式上的不同,决定了在蹬冰过程中重心沿切线方向上前移程度间的差异;在支点与重心之间的位置关系上,右单步中重心的移动方向更倾向于侧前方(切向),而在左单步中重心的移动方向则更倾向于侧面(法向)。

从两种蹬冰技术动作中肌群的用力特点上看,在传统冰刀动作结构中由于无法实现提踵动作,蹬冰过程中腓肠肌的牵拉张力致使大腿屈,以远端固定的方式完成工作,其作用是限制膝关节的伸展。因此,臀大肌和股四头肌的近固定工

作与腓肠肌的远固定工作,在膝关节处形成抵抗作用,在削减蹬冰力量的同时也限制了由上至下的能量传递。但 clap 式冰刀通过踝关节的背屈动作以及足关节的跖屈动作,削弱了腓肠肌的过分牵拉,使膝关节伸展肌群的工作负担降低,改善了髌关节的活动范围,使蹬冰动作遵循大环节带动小环节,髌、膝、踝关节由上至下的发力顺序的规律。从这个意义上讲 clap 式冰刀蹬冰动作中肌群工作方式与传统冰刀蹬冰动作的肌群工作方式有着本质的区别。新式冰刀中更好地利用了小腿的能力,增加了蹬冰力量。

## 2 clap 冰刀的蹬冰机制

### 2.1 踝关节灵活性对下肢各关节协调性的影响

首先,clap 冰刀通过“活动刀托”和“铰链”连接结构,提高了踝关节的自由度,改变了传统冰刀在蹬冰过程中主要发挥髌、膝关节的力量<sup>[13]</sup>,而难以利用踝关节力量的弊端,在增加做功环节的同时又加大了膝关节的工作范围。

其次,通过提高踝关节的灵活性来改变原有下肢各关节发力顺序,借此提高末端关节速度。新技术的特点之一体现在结束蹬冰的一刹那以最快速度完成蹬冰动作。有研究表明,clap 式冰刀的伸膝速度慢于传统冰刀,但展踝速度却快于传统冰刀;比较关节能量变化可看出,新式冰刀髌关节做功消耗的能量小于传统冰刀,但膝、踝关节做功消耗的能量大于传统冰刀<sup>[14]</sup>。这一方面说明新旧冰刀膝、踝关节蹬冰速度上的差异,来源于蹬伸方式和肌肉用力特点;另一方面 clap 式冰刀膝、踝关节伸展幅度的增加消耗了更多的能量,也提示膝关节由于做功方式上的差异,导致了蹬冰力量的分配方式也不同。

第三,由于踝关节灵活性的提高改变了下肢肌群的工作方式。结城<sup>[15]</sup>曾利用 Hawkins and Hull 的方法研究表明,运用传统冰刀蹬冰过程中双关节肌的肌肉长度变化均大于 clap 式冰刀,特别是腓肠肌在传统冰刀蹬冰技术结构中被充分牵拉,而运用 clap 式冰刀时却几乎没有变化,提示器械(冰刀)改变着技术,技术又影响着肌肉的工作方式。

第四,踝关节自由度的提高改变了原有蹬冰过程中重心主要横向(法向)移动而难以纵向(切向)前移的弊端,使重心沿切线方向的主动性前移成为可能。这也许反映出 clap 冰刀设计者对速滑蹬冰加速理论适用条件的深刻认识和研究成果的合理运用。

因此,可以认为 clap 式冰刀的设计思想是:通过冰鞋底部的铰链式转动装置,通过提高踝关节的灵活性来达到增大下肢各关节协调作用的目的<sup>[16]</sup>。其作用是增加做功环节,改变原有下肢关节发力顺序和下肢肌群的工作方式。表现为当身体重心前移时通过踝关节跖屈动作,使冰刀仍保持全刃支撑侧向蹬冰,从而解决侧蹬冰过程中重心无法沿切向移动的技术不足。它既保持了原有蹬冰加速理论中侧蹬冰的作用性质,又提高重心前移的重要意义。

### 2.2 速滑蹬冰加速理论的适用条件

由于滑行器械(冰刀)结构的限制决定了速度滑冰只能通过侧蹬冰技术来提供滑行动力。为此 Ingen Schenau 等<sup>[17]</sup>

曾提出速滑蹬冰的加速理论并认为:由于冰刀与冰面间的摩擦力(切向)远远小于蹬冰力(法向),因此摩擦力的反作用力对重心的加速作用微乎其微。只有侧蹬力(法向)才起加速作用。如果把蹬冰动作开始时的重心速度定义为  $v_y$  (切向) 蹬冰过程中重心速度的增量定义为  $\Delta v_x$  (法向), 由于  $\Delta v_x$  与  $v_y$  的方向相垂直, 蹬冰动作结束后重心速度  $v$  可表示为

$$v = \sqrt{v_y^2 + \Delta v_x^2}$$

并且据此建立了运动员蹬冰过程中的输出功率模型

$$b_0 = 0.17 + L \cdot \sqrt{2(1 - \cos\theta)} / 4$$

$$P_0 = g \cdot b_0 \cdot 1/2 \tan^2 \varphi \cdot f$$

其中:  $g$  为重力加速度;  $L$  为身高;  $f$  为步频;  $\theta$  为膝关节角度;  $P_0$  为蹬冰时的输出功率;  $b_0$  为蹬冰开始时冰刀与大转子间的距离;  $\varphi$  为蹬冰结束时冰刀与大转子连线在垂直面上的夹角。此后, Boer<sup>[18]</sup> 在探讨蹬冰动作的有效性时进一步支持了上述观点; 然而, 在对男女选手从 1 500 m 到 5 000 m, 4 个项目滑行动作与运动成绩的关系探讨时又发现, 尽管竞技成绩与滑行速度高度相关(相关系数为 0.76), 但运用 Ingen Schenau 输出功率模型中的相关参数, 并没能验证出高水平运动员的特有特征; 相反, 以往普遍认为对加速运动不起作用的蹬冰过程中重心前移及屈踝动作, 却与滑行速度显著相关<sup>[19]</sup>。此后, 结城等<sup>[20]</sup> 通过实测方法进行了组间差异分析发现, 虽然蹬冰动作前后优秀组比一般组重心速度增量值提高 2 倍, 但法向速度改变量一般组 (1.86 m/s) 大于优秀组 (1.60 m/s)。据此提出蹬冰加速理论的适用条件: 不仅仅由蹬冰过程中与滑行方向相垂直的速度分量(法向)所决定, 同时沿滑行方向(切向)速度的增加量也起着相当大的作用。

由此可以推测: 从前提出的加速理论, 在反映高水平运动员加速能力时是有条件的; 单纯从获得速度改变量大小的角度来推断蹬冰加速的机制, 并不是使重心加速的唯一条件; 重心前移程度(切向)与合理的侧蹬冰时机相结合是获得最佳速度的前提, 它反映了支点与重心间力的相互作用关系和蹬冰动作的加速条件。正是 clap 式冰刀的这种特有结构为重心前移提供了可能, 体现出现代速滑蹬冰加速理念在实践中的合理运用。

#### 参考文献:

- [1] Van Ingen Schenau G J, De Groot G, Scheurs A W, et al. A new skate allowing powerful flexions improves performance[J]. *Med Sci Sports Exerc.* 1996(28): 531 - 535.
- [2] Van Ingen Schenau G J, De Boer R W, De Groot G. On the technique of speed skating[J]. *Sports Biomech.* 1987(3): 419 - 431.
- [3] Van Ingen Schenau G J. The influence of air friction in speed skating[J]. *Biomech.* 1982(15): 449 - 458.
- [4] Van Ingen Schenau G J, De Groot G, De Boer R W. The control of speed in elite female speed skaters[J]. *Biomech.* 1985(18): 91 - 96.
- [5] Koning J J, De Groot G, Van Ingen Schenau G J. Coordination of leg muscles during speed skating[J]. *Biomech.* 1991(24): 137 - 146.
- [6] Houdijk H, Koning J J, Van Ingen Schenau G J. Klapskates versus conventional skates: kinematical differences[J]. *Med Sci Sports Exerc.* 1998, 30: 29.
- [7] 陈民盛, 张云, 邹晓峰. 优秀速滑运动员弯道蹬冰技术动作结构的模式特征研究[J]. *中国体育科技*, 2004, 40(4): 31 - 35, 41.
- [8] Houdijk H, De Koning J J, De Groot G, et al. Push off mechanics in speed skating with conventional skates and klapskates[J]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 2000(32): 635 - 641.
- [9] Van Ingen Schenau G J, Koning J J, Houdijk H. World records on klapskates wereldrecords op klapschaatsen[J]. *Natuur & Techniek*, 1998(66): 10 - 21.
- [10] Houdijk H, De Koning J J, De Groot G, et al. The effect of klapskate hinge position on the kinematics of speed skating[J]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 1999, 31: 147.
- [11] Houdijk H, De Koning J J, Bobbert M F, et al. How klapskate hinge position affects push off mechanics in speed skating[J]. *Journal of Applied Biomechanics*, 2002(18): 292 - 305.
- [12] 陈民盛, 邹晓峰, 覃晓红. Clap 式冰刀技术下肢关节蹬伸机制的探讨[J]. *体育科学(七科大论文集)*, 2004.
- [13] 陈民盛, 冯维斗, 曾伟. 从蹬冰腿关节角度的变化看两种蹬冰技术的差异性[J]. *冰雪运动*, 2001(2): 1 - 2.
- [14] 严力, 刘贵宝, 赵荫桐. 荷兰速滑运动的现状与特点——荷兰速滑专家艾迪·沃黑因讲学连载之一[J]. *冰雪运动*, 1999(3): 14 - 16.
- [15] 结城匡启. 长野オリピックのメダル 得に向けたバイオメカニクスのサポート活動: 日本スピードスケートチームのスラップスケート対策[J]. *体育学研究*, 1999(44): 33 - 41.
- [16] 陈民盛, 覃晓红. 从对蹬冰加速理论的质疑点看克莱普冰刀的设计构想[J]. *天津体育学院学报*, 2003, 18(3): 30 - 32.
- [17] Ingen Schenau, Van G J, Bakker K. A biomechanical model of speed skating[J]. *Human Movement Studies*, 1980(6): 1 - 18.
- [18] Boer R W. Characteristic stroke mechanics of elite and trained male speed skaters[J]. *Sport Biomechanics*, 1986(2): 175 - 185.
- [19] Boer R W. The gliding and push-off technique of male and female speed skaters[J]. *Sport Biomechanics*, 1989(5): 119 - 134.
- [20] 结城匡启, 阿江通良, 浅见高明. スピードスケートにおける加速理論の再検討[M]. 东京: 东京大学出版会, 1992: 111 - 121.