



自行车骑行效率的影响因素研究进展

马国强¹, 刘茂², 唐琪²

摘要: 自行车骑行效率通常被定义为自行车骑行过程中一定氧耗和能耗水平下的功率输出, 自行车骑行能力的增强, 多伴随骑行效率的提高。性别、年龄、骨骼肌纤维类型的差异会对骑行效率产生不同影响; 而自行车骑行过程中踏蹬技术、身体姿态, 甚至运动器材的变化, 则可通过改变踏蹬过程中骨骼肌发力和能耗影响骑行效率; 专业自行车运动员的骑行效率与训练强度呈正相关关系, 阶段性的肌力或专项训练可能通过提高做功和能量节省化促进骑行效率的提高。

关键词: 自行车; 骑行效率

中图分类号: G804.5 文献标志码: A 文章编号: 1006-1207(2016)04-0091-04

Research Progress about the Influencing Factors of Cycling Efficiency

MA Guoqiang¹, LIU Mao², TANG Qi²

(1. Shanghai Research Institute of Sports Science, Shanghai 200030, China; 2. Shanghai Technical Sports Institute, Shanghai 201100, China)

Abstract: Cycling efficiency is generally defined as the power output due to a certain level of oxygen and energy consumption during riding. The improvement of riding capacity is always accompanied with increased cycling efficiency. Gender, age and skeletal muscle fiber type may have different effect on cycling efficiency. And the changes of pedaling technique, body posture and bicycle equipment can affect cycling efficiency by altering the power of pedal muscle and energy consumption in the course of pedaling. The cycling efficiency of a professional cyclist is positively correlated to training intensity. Periodical muscle strength training or special training may promote cycling efficiency by improving work output and energy saving.

Key Words: cycling; cycling efficiency

1 骑行效率的定义

自行车运动是一项强度大、耗能多的周期性体能类项目, 日常训练、比赛过程中对运动员的体能水平要求极高, 技术、战术能力也是决定比赛胜负的关键。作为一项人发力做功于器械(自行车)并外在运动表现为骑行速度的项目, 单位时间内做功的数量和人体同时产生的能量消耗之间的关系, 即骑行的经济性(也可称作骑行效率), 是影响运动表现的重要因素, 决定了在一定氧耗和能耗水平下的骑行功率输出^[1]。Gaesser 和 Brooks 在 1975 年将人体运动过程中做功与能耗之间的比值定义为总工作效率(gross efficiency, GE)^[2], 见公式(1)。

$$GE = \frac{\text{Work-accomplished}}{\text{Energy-expended}} \times 100\% \quad (1)$$

除 GE 外, 还有一种计算工作效率净变化量(net or delta efficiency)的方法, 被认为在理论上存在不足。与之相比, GE 仍是评价全身参与的运动项目工作效率的可靠指标。GE 水平较高的运动员在相同摄氧量水平下能够输出更多的功率^[3], 而职业自行车运动员在 VO_{2max} 与业余选手相同的情况下则能够完成更多的外部做功^[4]。

影响自行车骑行效率的因素较多, 可分为生物学因素和机械因素两类。生物学因素的研究关注于人体本身, 主要是骨骼肌、心肺等与骑行发力和能耗直接相关的器官系统工作状态, 以及性别、年龄、体成分等带来的差异; 机械因素更多关注于人体外部因素的影响, 大量研究集中在自行车车座、车把、脚踏位置不同带来的骑行姿态差异对骑行效率的影响, 而踏蹬频率对运动表现的影响也主要来自于骑行效率发生变化所致, 也是研究关注的重点。此外, 一次骑行的强度和长期运动训练也会对骑行效率产生不同影响。实际运动中骑行效率往往受多个因素的共同影响, 需要综合分析进行评价。

2 生物学因素

2.1 性别

不同性别在运动能力上的差异通常与骨骼构造、骨骼肌质量等多种因素有关。早期研究证实了在一定踏频范围内, 人体下肢重量增加会引起自行车运动中氧耗水平增高, 从而与骑行效率呈现负相关变化。

运动经济性的差异更多可能是由男、女体重和四肢重

收稿日期: 2016-05-30

基金项目: 上海体育局科研攻关与科技服务项目(14JT027); 上海市科委科研项目(14231202100)。

第一作者简介: 马国强, 男, 副研究员, 博士。主要研究方向: 自行车运动训练监控与机能评定。E-mail: maguoqiang1978@sohu.com。

作者单位: 1. 上海体育科学研究所, 上海 200030; 2. 上海体育职业学院, 上海 201100。



量的不同所致。Hopker 等选取了男、女各 13 名专业自行车运动员,通过每级 8 min 的递增负荷骑行测试中的做功和摄氧量来计算 GE,结果表明女运动员在 150 W 和 180 W 两级骑行的 GE 显著高于男性,差异主要由低负荷骑行中男性的耗氧量高于女性所致,在踏频无明显差异的前提下认为可能与女运动员下肢瘦体重较低有关^[5]。该研究结果提示长期从事长距离耐力训练的自行车运动员伴随体脂率降低、瘦体重增加的同时,可能出现骑行效率下降,影响运动表现。

2.2 年龄

通常人体随着生物年龄的增长会出现呼吸、循环和运动系统机能的退行性改变,运动能力逐渐降低,而体育运动可缓解这一变化的速度和程度。在自行车运动中,多数研究认为年龄是影响骑行效率的因素之一,并伴随运动能力的减弱骑行效率明显下降^[6],但在不同的踏频下年龄对骑行效率的影响存在一定差异。

Matin 等以儿童(10.6±1.0)岁和成年人(23.6±3.0)岁为对象,观察了年龄和踏频对自行车骑行机械做功和骑行效率净变化量的影响,其中骑行效率净变化量是由外部做功与能耗变化间的比值进行定义。两组被试分别以 60 r/min 和 90 r/min 完成亚极量强度的自行车功率计骑行,结果表明踏频在 60 r/min 时儿童与成年人骑行的机械做功和效率净变化量未见显著差异,而踏频达到 90 r/min 时儿童的两项指标显著高于成人,可能由儿童与成年人不同的身体形态所致^[7]。而在另一项针对专业自行车运动的研究中,老年被试(65.6±2.8)岁以不同踏频(40 r/min、60 r/min、80 r/min、100 r/min 和 120 r/min)、不同强度(40% VO_{2max} 和 60% VO_{2max} 功率)骑行时的总效率均低于青年(24.3±5.3)岁,且总骑行效率随着踏频增加而降低的程度也要显著高于青年^[8]。

然而也有研究认为骑行效率并不受单一年龄增加因素的影响^[9],年龄增长带来的身体机能、结构变化是否会对骑行效率产生影响及机制还需进一步深入研究。

3 影响骨骼肌踏蹬做功的因素

3.1 肌纤维类型

自行车不同强度、不同方式的训练会影响骨骼肌纤维类型的变化,肌纤维百分比的改变会引起运动中骨骼肌供能比例的差异,可能会对骑行效率产生不同程度的影响。一项以耐力自行车运动员为对象的研究中,被试以 80 r/min 踏频完成了 50% VO_{2max}、60% VO_{2max} 和 70% VO_{2max} 强度的骑行,发现 I 型肌纤维百分比与总骑行效率显著相关^[10]。

另一项研究也证实了骑行效率与 I 型肌纤维百分比的正相关关系,并对可能的机制进行了研究。9 名有耐力训练史和 9 名无训练史男性被试分别完成一组递增负荷的亚极量强度骑行效率测试,计算了骑行效率指标,包括总效率、做功效率和净效率。股外侧肌肉活检分析了线粒体呼吸、线粒体工作效率、解耦联蛋白 3 含量和肌纤维类型百分比。结果表明,有训练史被试单位肌纤维的线粒体

呼吸和氧化磷酸化比率较无训练史被试高 40%,但做功效率的差异并不显著。无训练史被试单位骨骼肌的解耦联蛋白 3 含量较有训练史高 52%,做功效率与解耦联蛋白 3 含量存在负相关,但与 I 型肌纤维百分比正相关。研究提示,骑行效率与是否有系统训练无关,且不受线粒体工作效率影响,但与 I 型肌纤维百分比有关^[11]。

3.2 骨骼肌疲劳

在自行车骑行过程中,参与做功的骨骼肌纤维的疲劳和激活状态会对骑行效率产生不同影响。多数研究均证实,骨骼肌疲劳会使骑行效率显著下降^[12],并伴随着有氧及无氧运动表现的明显降低^[13]。Louis 等以成年优秀耐力自行车运动员为对象,观察了使用维生素、矿物质复合补剂对大负荷自行车测试中骨骼肌活动和骑行效率的影响。结果显示,骑行效率的下降通常伴随着股外侧肌活动的增加,而补充维生素、矿物质可有效缓解骨骼肌疲劳带来的骑行效率的显著降低^[12]。

此外,对自行车骑行下肢主要发力肌肉进行被动拉伸(离心)和主动离心收缩可能对骑行效率产生不同影响。9 名有业余活动史男性受试者分别以 85% VO_{2max} 强度完成两次骑行至力竭运动实验,其中一次测试前进行了被动拉伸干预。结果表明训练前拉伸使骑行至力竭时间降低了 26%,平均摄氧量增加了 4%,并使净机械效率下降了 4%,认为被动拉伸可能通过对神经激活和骨骼肌粘弹性的影响降低了被试的骑行效率^[14]。而离心深蹲训练虽然会产生明显的骨骼肌酸痛感,但并不会对总骑行效率产生显著影响^[15]。

3.3 肌肉贡献率

自行车是一项以下肢肌肉活动为主的运动,负责髌膝踝三关节屈伸的多块肌肉在一个踏蹬周期中按照一定的顺序依次协同发力,完成骑行时双腿的交替踏蹬动作。因此,任何引起下肢骨骼肌工作模式和贡献率改变的因素均可能导致骑行效率发生变化。

目前,自行车室内训练常用的辅助器械包括功率计、涡轮和滚筒练习台、大型跑台等,主要通过电磁、空气或机械摩擦产生阻力来模拟实际骑行状态。研究表明,在跑台上骑公路车与固定涡轮练习台相比,外侧腓肠肌、股二头肌和臀大肌的贡献率分别高 14%、19% 和 10%,而在固定涡轮练习台上骑公路车则股外侧肌、股直肌和胫骨前肌的贡献率较跑台分别高 7%、17%、14%。尽管两种不同方式骑行的肌肉发力存在较大差异,但骑行效率并无显著不同^[16]。

Arkesteijn 等研究了跑台坡度对总骑行效率和踏蹬技术的影响。18 名专业自行车运动员分别在 0%、4% 和 8% 3 种跑台坡度下以 60 r/min、75 r/min 和 90 r/min 的踏频完成骑行。研究发现,随着跑台坡度的增加,下肢肌肉特别是小腿肌肉的总体活动水平显著提高,当跑台坡度达到 8% 时总骑行效率显著下降,提示爬坡骑行时骑行技术的改变会造成总骑行效率的下降^[17]。而另一项研究也证实了踏蹬过程中采用踝关节过度背屈姿态会显著增加腓肠肌外侧头的肌肉活动水平,降低总骑行效率^[18]。



3.4 骑行频率

无论是室外自行车训练和比赛,还是实验内的耐力骑行测试,在一定范围内保持稳定的骑行频率有利于运动能力的充分发挥。在相同的骑行强度下,随着踏蹬频率的增加(60 r/min、80 r/min、100 r/min、120 r/min),肺通气量和摄氧量显著增加,总骑行效率也有小幅升高。竞技自行车运动员在长时间骑行中通常选择 90~105 r/min 的踏频以维持较高的输出功率^[19]。

而在 Jacobs 等的研究中,14 名自行车和铁三运动员以最大功率的 75% 强度分别用 60 r/min、80 r/min 和 100 r/min 踏频完成 3 次 8 min 持续骑行,耗氧量和呼吸交换率计算骑行效率和经济性。结果显示,有训练史的自行车和铁三运动员以 60 r/min 踏频骑行时的效率和经济性高于 80 r/min 和 100 r/min,低踏频骑行的效率和经济性较高^[20]。因此,自行车最佳骑行频率通常与被试的运动能力水平有关。

3.5 身体姿态

自行车比赛中,运动员会根据比赛要求的不同选择合适的骑行姿态,一般来说距离较长的计时类项目多采用风阻较小的流线型骑行姿态,而战术类对抗项目则选择易于反复变向、变速的骑行姿态。自行车骑行中不同的身体姿态会带来上下肢骨骼肌发力顺序、比例的差异,并对骑行效率产生不同影响。

台湾国立高雄大学学者 Chen CH 等观察了采用不同骑行姿势对上肢握把和下肢踏蹬发力的影响,受试者从坐姿转为站立姿态骑行可增强竖脊肌、股直肌、胫骨前肌和比目鱼肌的肌电图(EMG)水平,从而提高踏蹬力矩;坐姿转变为站立骑行引起的踏蹬力增加可能与参与骑行发力的自身体重的变化有关,自行车运动员在比赛中应根据不同情况通过在坐、站姿态间的转换来提高骑行效率,建议运动员训练中可通过保持不同骑行姿态的时间来改变骑行训练的强度^[21]。

然而不同姿态带来的骑行强度变化对骑行效率的影响还存在争议,可能与研究中骑行测试的强度设定有关。采用 6 min 75% 最大功率强度的骑行,坐姿与站姿间未见总骑行效率的显著差异^[22],而体位是否会对短时(<1 min)极量、亚极量强度冲刺骑行的骑行效率产生不同影响,还有待进一步研究。

3.6 器材

高水平自行车运动员骑行技术相对比较成熟,踏蹬圆周中发力时程的改变并不会对运动表现产生明显影响,有研究比较了采用新型旋翼曲柄(Rotor)与普通曲柄进行骑行测试对运动能力的影响,结果表明测试中 Rotor 曲柄虽然延长了踏蹬的主动发力时程,但功率、摄氧量、乳酸阈、乳酸累积和骑行经济性等指标并无明显差异^[23]。而在另一项以普通人作为被试的研究中,在固定自行车功率计上采用专用锁鞋、脚卡骑行与采用平板脚踏骑行相比,相同功率输出时的耗氧量并无统计学差异,提示未对总骑行效率产生明显影响^[24]。

在 Disley 等的研究中,24 名专业训练的自行车运动

员以最大功率的 60% 强度和 90 r/min 踏频完成了 4 次持续时间 5 min 的匀速骑行,自行车踏蹬过程中双脚之间的横向距离分别为 90 mm、120 mm、150 mm 和 180 mm;结果表明,双脚横向距离为 90 mm 和 120 mm 骑行的总机械效率显著高于 150 mm 和 180 mm,并通过表面肌电测试证实机械效率的提高与内侧腓肠肌、胫骨前肌、股内侧肌和股外侧肌活动增强无关^[25]。

4 骑行强度与训练

自行车骑行效率会受到骑行强度的显著影响,有训练史的专业自行车运动员采用 80% VO_{2peak} 强度进行功率车骑行的效率要高于 60% VO_{2peak} ^[26]。在上海自行车队应用 Wattbike 功率自行车进行的一节大强度间歇训练课中,采用骑行次数递减方案的 4 组训练表现出随着训练强度的增加骑行效率提高的现象,相反骑行次数不变方案由于疲劳积累训练强度逐渐下降,并伴随着骑行效率的显著降低^[27]。

对于专业自行车运动员来说,骑行效率与训练强度和量有直接关系。Hopker 等在一个自行车赛季中对 14 名优秀自行车运动员进行了 5 次实验室骑行测试,测试指标包括乳酸阈(LT)、乳酸堆积点(OBLA)、最大摄氧量、最大功率和总骑行效率。结果发现被试运动员的总骑行效率出现了从赛前进入赛季明显的提高(19.6% vs 20.6%),进入季后又降低的情况(19.4%);且运动员以 LT 和 OBLA 之间强度完成的训练量越大,越容易保持较好的总骑行效率,总骑行效率与整个赛季中 LT 以下强度训练的比例呈负相关关系^[28]。

阶段性、专项化训练通常是提高专业自行车运动员运动能力的有效手段,运动成绩提高的同时是否存在骑行效率的改善也是众多应用研究的热点。有研究发现 3 周伸膝肌力训练显著提高了被试运动员的骑行效率,且与伸膝肌群的最大主动收缩力矩的提高显著相关,在耐力训练基础上增加伸膝肌力训练可显著提高肌力水平和骑行效率^[29]。Luttrell 等观察了 6 周采用专用功率曲柄的骑行训练对最大摄氧量、无氧阈和总骑行效率的影响,研究发现被试伴随着生理机能的适应性改变出现了能耗节省化和骑行效率的提高^[30]。而在另外两项涉及高原习服^[31]和模拟高住低训^[32]的研究中,伴随常氧环境下骑行测试氧耗水平的降低,骑行效率均有所提高。

与上述研究结果不同,Williams 等假设使用单侧曲柄骑行训练可去除对侧下肢的助力作用,更有效地提高骑行的机械效率。为了验证该假设,研究选取 14 名专业自行车运动员随机分为两组,完成 6 周、每周 3 d、每天 1 h 的功率车训练(强度为 70% 峰值功率),对照组采用传统双侧曲柄骑行,实验组采用单侧曲柄骑行。结果显示在 6 周训练前后进行的 30 min 骑行测试中,最大摄氧量、乳酸阈、总骑行效率和平均功率水平两组间均未见显著差异。提示 6 周常规训练中增加单腿骑行训练并不能提高专业自行车运动的骑行效率和运动表现^[33]。长期系统的自行车专业训练是否会对骑行效率产生影响还存在争议^[34],仍需进一步的跟踪研究。



5 小结

在决定自行车运动员最大平均输出功率以及由功率产生的平均速度方面,有两个重要的生理学因素,一个是运动员的骑行经济性,即骑行效率,另一个则是运动员以乳酸阈强度运动时的摄氧量水平。自行车运动员骑行能力的增强,多伴随出现骑行效率的提高,同时踏蹬技术、骑行姿态,甚至运动器材的变化也会通过影响踏蹬过程中骨骼肌发力和能耗水平,带来骑行效率的改变。此外,由于骑行效率在考虑功率输出的同时,还需分析能量消耗,更可能影响长时间耐力骑行的运动表现,对1 min以内的短时大强度骑行成绩的影响还需进一步研究。

参考文献:

- [1] Coyle EF. Integration of the physiological factors determining endurance performance ability[J]. *Exerc Sport Sci Rev*, 1995,23: 25-63.
- [2] Gaesser GA, Brooks GA. Muscular efficiency during steady-rate exercise: effects of speed and work rate[J]. *J Appl Physiol*, 1975, 38(6): 1132-1139.
- [3] Horowitz JF, Sidossis LS, Coyle EF. High efficiency of type I muscle fibers improves performance[J]. *Int J Sports Med*, 1994, 15(3): 152-157.
- [4] Lucía A, Pardo J, Durántez A, et al. Physiological differences between professional and elite road cyclists[J]. *Int J Sports Med*, 1998, 19(5): 342-348.
- [5] Hopker J, Jobson S, Carter H, et al. Cycling efficiency in trained male and female competitive cyclists[J]. *J Sports Sci Med*, 2010, 9(2): 332-337.
- [6] Peiffer J, Abbiss CR, Sultana F, et al. Comparison of the influence of age on cycling efficiency and the energy cost of running in well-trained triathletes[J]. *Eur J Appl Physiol*, 2016, 116(1): 195-201.
- [7] Martin R, Hautier C, Bedu M. Effect of age and pedalling rate on cycling efficiency and internal power in humans[J]. *Eur J Appl Physiol*, 2002, 86(3): 245-250.
- [8] Sacchetti M, Lenti M, Di Palumbo AS, et al. Different effect of cadence on cycling efficiency between young and older cyclists [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2010, 42(11): 2128-2133.
- [9] Hopker JG, Coleman DA, Gregson HC, et al. The influence of training status, age, and muscle fiber type on cycling efficiency and endurance performance[J]. *J Appl Physiol*, 2013, 115(5): 723-729.
- [10] Coyle EF, Sidossis LS, Horowitz JF, et al. Cycling efficiency is related to the percentage of type I muscle fibers[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 1992, 24(7): 782-788.
- [11] Mogensen M, Bagger M, Pedersen PK, et al. Cycling efficiency in humans is related to low UCP3 content and to type I fibres but not to mitochondrial efficiency[J]. *J Physiol*, 2006, 571(Pt 3): 669-681.
- [12] Louis J, Hausswirth C, Bieuzen F, et al. Vitamin and mineral supplementation effect on muscular activity and cycling efficiency in master athletes[J]. *Appl Physiol Nutr Metab*, 2010, 35(3): 251-260.
- [13] Passfield L, Doust JH. Changes in cycling efficiency and performance after endurance exercise[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2000, 32(11): 1935-1941.
- [14] Moysi JS, Garcia-Romero JC, Alvero-Cruz JR, et al. Effects of eccentric exercise on cycling efficiency[J]. *Can J Appl Physiol*, 2005, 30(3): 259-275.
- [15] Esposito F, Cè E, Limonta E. Cycling efficiency and time to exhaustion are reduced after acute passive stretching administration[J]. *Scand J Med Sci Sports*, 2012, 22(6): 737-745.
- [16] Arkesteijn M, Hopker J, Jobson SA, et al. The effect of turbo-trainer cycling on pedalling technique and cycling efficiency[J]. *Int J Sports Med*, 2013, 34(6): 520-525.
- [17] Arkesteijn M, Jobson SA, Hopker J, et al. Effect of gradient on cycling gross efficiency and technique[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2013, 45(5): 920-926.
- [18] Cannon DT, Kolkhorst FW, Cipriani DJ. Effect of pedaling technique on muscle activity and cycling efficiency[J]. *Eur J Appl Physiol*, 2007, 99(6): 659-664.
- [19] Chavarren J, Calbet JA. Cycling efficiency and pedalling frequency in road cyclists[J]. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 1999, 80(6): 555-563.
- [20] D Jacobs R, E Berg K, Slivka DR, et al. The effect of cadence on cycling efficiency and local tissue oxygenation[J]. *J Strength Cond Res*, 2013, 27(3): 637-642.
- [21] Chen CH, Wu YK, Chan MS, et al. The force output of handle and pedal in different bicycle-riding postures[J]. *Res Sports Med*, 2016, 11: 1-13.
- [22] Millet GP, Tronche C, Fuster N, et al. Level ground and uphill cycling efficiency in seated and standing positions[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2002, 34(10): 1645-1652.
- [23] Lucía A, Balmer J, Davison RC, et al. Effects of the rotor pedalling system on the performance of trained cyclists during incremental and constant-load cycle-ergometer tests[J]. *Int J Sports Med*, 2004, 25(7): 479-485.
- [24] Ostler LM, Betts JA, Gore CJ. Gross cycling efficiency is not altered with and without toe-clips[J]. *J Sports Sci*, 2008, 26(1): 47-55.
- [25] Disley BX, Li FX. The effect of Q factor on gross mechanical efficiency and muscular activation in cycling[J]. *Scand J Med Sci Sports*, 2014, 24(1): 117-121.
- [26] Miller MG, Michael TJ, Nicholson KS, et al. The Effect of Rock-tape on Rating of Perceived Exertion and Cycling Efficiency[J]. *J Strength Cond Res*, 2015, 29(9): 2608-2612.
- [27] 马国强, 李之俊, 梁效忠等. 不同负荷方案速度型间歇训练专项特征的比较研究[J]. *体育科学*, 2014, 34(2): 34-39, 94.
- [28] Hopker J, Coleman D, Passfield L. Changes in cycling efficiency during a competitive season[J]. *Med Sci Sports Exerc*, 2009, 41(4): 912-919.
- [29] Louis J, Hausswirth C, Easthope C, et al. Strength training improves cycling efficiency in master endurance athletes[J]. *Eur J Appl Physiol*, 2012, 112(2): 631-640.
- [30] Luttrell MD, Potteiger JA. Effects of short-term training using powercranks on cardiovascular fitness and cycling efficiency[J].

(下转第99页)



的动作幅度,对提升专项成绩有所帮助。

4.2 建议

在训练中应加强黄东祎在第二圈旋转动作中髌横轴旋转能力,以缩短单支撑阶段时间;同时加强右髌关节用力的积极性,从而优化双支撑阶段的身体扭转,增加整个动作的活动幅度。

参考文献:

- [1] 文超. 田径运动高级教程[M]. 修订版. 北京:人民体育出版社, 2002:586-591.
- [2] Steve Leigh, Bing Yu. Effect of hip-shoulder and shoulder-arm separations on discus throwing performance[J]. Proceedings of the international conference of ISBS. 2005(1): 126-132.
- [3] 魏瑾琴,刘生杰. 第12届全运会女子铁饼运动员最后用力技

术的三维运动学研究[J]. 北京体育大学学报, 2014, 37(4): 141-144.

- [4] 刘建国,崔冬雪,刘卫彬,等. 旋转掷铁饼技术中的肩、髌、铁饼及人体重心的时空特征研究[J]. 中国体育科技, 2004, 40(4):20-26.
- [5] Gunter Tidow. Model technique analysis sheets for the throws partIX: the discus throw[J]. New studies in athletics 1995(3):45-63.
- [6] 李建臣,王新泽. 对李少杰掷铁饼技术的三维运动学分析[J]. 中国体育科技, 2001, 37(10):29-31.
- [7] 王贺. 我国男子铁饼运动员吴健掷铁饼技术特征的运动学分析[J]. 安徽体育科技, 2014, 35(1):16-19.
- [8] 佟贵锋. 对我国优秀男子铁饼运动员投掷技术的运动学分析[J]. 体育科学, 2000, 20(1):47-54.

(责任编辑:何聪)

(上接第94页)

- J Strength Cond Res, 2003, 17(4): 785-791.
- [31] Green HJ, Roy B, Grant S, et al. Increases in submaximal cycling efficiency mediated by altitude acclimatization[J]. J Appl Physiol, 2000, 89(3): 1189-1197.
- [32] Gore CJ, Hahn AG, Aughey RJ, et al. Live high:train low increases muscle buffer capacity and submaximal cycling efficiency[J]. Acta Physiol Scand, 2001, 173(3): 275-286.
- [33] Williams AD, Raj IS, Stucas KL, et al. Cycling efficiency and

performance following short-term training using uncoupled cranks [J]. Int J Sports Physiol Perform, 2009, 4(1): 18-28.

- [34] Moseley L, Achten J, Martin JC, et al. No differences in cycling efficiency between world-class and recreational cyclists[J]. Int J Sports Med, 2004, 25(5): 374-379.

(责任编辑:何聪)