



场地自行车团体追逐项目的训练科学与趋势

Loris Bertolacci(澳大利亚)¹, 潘淳浩^{1,2}, 李冠华^{1,2*}, 侯林栋^{1,2}

摘要:近年来,随着场地耐力自行车团体追逐项目成绩的不断刷新,促使人们对其背后的原因进行探索。对文献及相关报道进行分析与总结,发现目前比赛速度更快、齿轮比更大,最大化有氧与无氧能力以及强调力量训练是训练的核心,反向周期模型是主流的周期规划模型,高科技技术在空气动力学方面的研究进一步推动了运动成绩的提升。对比赛需求和趋势的深入分析、科学化探索以及据此更新的训练理念是推动场地耐力自行车项目成绩提升的主要因素。

关键词: 场地自行车; 能量供应; 力量训练; 周期化; 空气动力学

中图分类号: G808 文献标志码: A 文章编号: 1006-1207(2023)03-0091-08

DOI: 10.12064/ssr.2022031401

Training Science and Trends of Track Cycling Team Pursuit Events

Loris Bertolacci¹, PAN Chunhao^{1,2}, LI Guanhua^{1,2*}, HOU Lindong^{1,2}

(1. Shanghai Competitive Sports Training and Management Center, Shanghai 202162, China;

2. Shanghai Strength and Conditioning Association, Shanghai 200333, China)

Abstract: The continuous improvement of Team Pursuit cycling performance in recent years has prompted further exploration and conclusion of its scientific training. A review of the literature and reports reveals that the current game speed is faster, and the gear ratio is larger, therefore, maximizing aerobic and anaerobic capacity and emphasizing strength training are the main training priorities and the reverse periodization model is the most popular one to be used. At the same time, the researches on aerodynamics of high-tech technology further promotes the improvement of cycling performance. In-depth analysis of the sport's competition needs and trends, scientific exploration, and updated training concepts are the main factors driving performance improvement in track endurance cycling.

Keywords: track cycling; energy supply; strength training; periodization; aerodynamics

场地耐力自行车团体追逐赛综合了耐力、速度、爆发力以及技战术,其高水准和多样化的体能需求对体育科学家们提出了挑战。目前已有大量针对公路自行车训练的研究,而关于场地耐力自行车,特别是团体追逐项目的则较少^[1-2]。近年来团体追逐项目的比赛成绩得到了极大的突破,但针对其原因进行细致分析的较少。针对这一情况,Statnyk等^[3]甚至使用“保密”一词来形容目前的研究现状。基于此,本文旨在厘清近年来该项目成绩飞速提升的潜在原因,对其训练理念和方法进行探索和总结,以期为教练员在训练实践中提供参考。

1 运动项目特征分析

分析团体追逐赛的项目特点,不仅需要收集训

练中产生的大量数据,包括功率、心率、速度等,还需要考虑赛事本身所需的技能和比赛策略,同时需要重点考虑运动员使用的自行车和额外装载设备,以及这些设备因空气动力学对运动表现和训练的影响,还需对比分析运动员的状况与专项需求。

1.1 比赛特征

近年来,团体追逐赛的比赛成绩得到了大幅度的提高。表1为自2000年悉尼奥运会以来男子团体追逐赛所取得的比赛成绩^[4]。2004—2021年,比赛成绩纪录提高了14.578 s,提升幅度的一半发生在2016—2020年,且在2021年,即2020东京奥运会实现了历史性的大幅提高。

收稿日期: 2022-03-14

第一作者简介: Loris Bertolacci,男,硕士。主要研究方向:高水平竞技运动员的体能训练和运动表现提升。E-mail:lorisbertolacci@gmail.com。

* 通信作者简介: 李冠华,男,硕士。主要研究方向:高水平竞技运动员的体能训练和运动表现提升。E-mail:2286098222@qq.com。

作者单位: 1. 上海市竞技体育训练管理中心,上海 202162; 2. 上海市体能协会,上海 200333。



表 1 2000—2020 年奥运会男子场地自行车团体追逐赛成绩统计

Table1 Statistical results of the men's track cycling team pursuit race at the 2000-2020 Olympic Games

奥运会	日期	比赛	成绩(分:秒:秒)
2000 年悉尼奥运会	2000 年 09 月 18 日	资格赛	4:04.030
	2000 年 09 月 18 日	四分之一决赛	4:01.810
	2000 年 09 月 19 日	半决赛	4:00.830
	2000 年 09 月 19 日	决赛	3:59.710
2004 年雅典奥运会	2004 年 08 月 22 日	半决赛	3:56.610
2008 年北京奥运会	2008 年 08 月 18 日	半决赛	3:55.202
	2008 年 08 月 18 日	决赛	3:53.314
2012 年伦敦奥运会	2012 年 08 月 02 日	资格赛	3:52.499
	2012 年 08 月 03 日	决赛	3:51.659
2016 年里约奥运会	2016 年 08 月 12 日	第一轮	3:50.570
	2016 年 08 月 12 日	决赛	3:50.265
2020 东京奥运会	2021 年 08 月 02 日	资格赛	3:45.895
	2021 年 08 月 02 日	资格赛	3:45.014
	2021 年 08 月 03 日	第一轮	3:42.307
	2021 年 08 月 04 日	决赛	3:42.032

在团体追逐赛中,运动员从静止状态出发,车队内的比赛位置会定期发生变化,因此,每位运动员所受到的空气阻力也会不断变化。Broker 等^[9]的研究对此进行了详细描述,在团体追逐赛中,领骑运动员的功率输出为特定速度的 100%,跟随运动员则受益于牵引效应从而减少了功率输出,2 号位运动员的功率输出约为 70%,3 号位和 4 号位运动员约以实际速度所需功率的 64%进行骑行。因此,如何制定比赛策略是教练面临的挑战,让每个运动员都能根据自己的能力为比赛作出贡献,最大限度地减少团队或团队中个人所需的功率输出以提高成绩。目前这一领域已有较为成熟的研究^[6],通过测试一组运动员的个人空气动力学特性,估计优化团队效率的最佳安排,从而节省比赛时间。此外,同样重要的是确定个人的功率需求,进而可根据骑手的潜在能力进行安排。

已有研究通过建模对最大限度提高骑手个人能力的战术和策略进行了研究^[7]。Olds^[8]建立了骑手的

间距与跟随骑手获得的 VO_2 节省量之间的关系,发现当间距为 0.2 m 时,效益可高达 14.1%,当间距为 2 m 时,效益会低至 6.8%,只要骑手之间的距离小于 3 m,就会产生显著的益处。

比赛战术在近几年发生了较大的变化,目前的趋势是在比赛中减少位置转换,这增加了骑手领骑时间。另一种策略是选用一名无氧能力好的爆发型骑手在出发时充当领骑,以减轻跟随骑手的比赛需求,从而让出发更加轻松。一项对里约奥运会之前 77 场比赛进行的研究指出,位置转换与比赛时间存在相关性^[9]。目前,精英车队在比赛中位置转换更少,单次骑行的距离更长,以尽量减少位置转换时的时间影响。

高级别场地耐力赛的特点要求运动员在比赛中全力输出,因此运动员的恢复能力至关重要。另外,紧密衔接的比赛安排也是对运动员恢复能力的重大考验,以 2020 东京奥运会时间安排为例(表 2)。

表 2 2020 东京奥运会团体追逐赛时间安排

Table2 Schedule of team pursuit events at the 2020 Tokyo Olympics

项目	时间
女子团体追逐赛资格赛 / 男子团体追逐赛资格赛	8 月 2 日星期一 15:30—18:30
女子团体追逐赛第一轮 / 男子团体追逐赛第一轮 / 女子团体追逐赛决赛	8 月 3 日星期二 15:30—18:10
男子团体追逐赛决赛	8 月 4 日星期三 19:00

Richard 等^[10]关于促进比赛恢复以支持多次晚间比赛表现的综述,概述了可用于帮助比赛场次之间和比赛日之间恢复的策略。场地耐力赛需要制定

针对性的策略来加强比赛之间的恢复,恢复和训练的策略安排目的为提高一天内各场次之间以及比赛日之间的恢复能力^[11]。



1.2 能量代谢

在 4 000 m 个人追逐赛中, 有氧供能占比约为 70%~80%, 无氧供能占比 20%~30%^[2]。就团体追逐赛而言, 前 10 s 的瞬时功率输出为 1 000~1 250 W, 领骑运动员的功率输出为 650~700 W, 而跟骑运动员则为 350~400 W^[12]。在 2016 年世界杯团体追逐赛中, 3 号位运动员在前 10 s 的功率超过 1 000 W, 随后转换位置进行领骑时功率接近 700 W, 整场比赛平均功率为 500 W, 全能赛中的关键冲刺可超 1 000 W。这些功率输出远高于运动员的有氧极限, 因此在此过程中主要依赖无氧代谢途径, 即 ATP-PC 和糖酵解。然而, 这种高强度运动恢复高度依赖于运动员的有氧能力^[13]。因此, 成功的耐力自行车运动员需要拥有较高的有氧能力 (≥ 70 mL/kg/min) 和无氧能力 (≥ 61 mL/kg/min), 这些能力与功率输出和整体表现呈正相关。有氧和无氧能力的相互作用在场地耐力自行车赛中至关重要。场地耐力自行车的成绩还涉及其他因素, 例如乳酸动力学、无氧阈值功率、临界功率和运动经济性, 但意识到比赛的间歇性也至关重要。

团体追逐赛的第一个 1 km, 精英运动员能够在 1 min 之内完成, 领骑相当于以 1 km 的计时赛强度骑行。无氧供能以及神经肌肉能力是当前场地耐力自行车运动员能力的关键组成部分, 个人追逐赛中估计的 70%~80% 和 20%~30% 的有氧无氧比例可能与当前的精英场地耐力赛, 尤其是团体追逐赛不符^[14]。最近研究发现, 在比赛开始后 10~15 s 内全力骑行可以立即增加摄氧动力学, 这可能会降低对无氧供能的需求, 直到比赛后期^[15]。

目前比赛速度更快、齿轮比更大, 运动员也强调通过力量训练来提高耐力项目的功率输出。与早期研究相比, 可以推断目前比赛中无氧供能系统的贡献更大, 这放大了在团体追逐赛中最大化有氧和无氧系统供能能力的要求。Jeukendrup 等^[12]在探究许多场地耐力自行车赛事的能量代谢特征时提出, 鉴于这些比赛需要最大限度地利用有氧和无氧系统, 认为必须通过适当的训练最大化地提升有氧和无氧能力。

1.3 齿轮比

自 2016 年里约奥运会场地耐力自行车赛以来, 教练员更加重视采用大齿轮比、力量训练和战术来提高运动成绩^[1,16-18]。现在更大齿轮比的使用, 改变了比赛所需的训练和能量系统供应特征。为了适应更大的齿轮比而采用的训练主要包括力量训练、爬坡训练、室内重型飞轮或阻力自行车训练。关于提高自

行车运动员力量的最佳训练方法目前还存在很多争论^[17-19], 因骑手目前的训练年限和需求而异。有趣的是, 目前世界上最好的场地耐力自行车运动员 Filippo Ganna 在播客中提到, 爬坡训练最大程度地提高了使用更大齿轮比的能力, 从而提高了成绩, 但他的教练却认为力量训练对 Filippo Ganna 成绩的进步更为重要。目前存在一个普遍共识, 即进行专门训练时(爬坡或室内涡轮增压机训练), 必须采用与比赛一致的骑行姿势, 以正确激活和发展特定肌肉群并诱导特定的外周适应^[20]。另一个值得考虑的因素是运动员在室内涡轮机上使用自己的比赛自行车, 而不是像 Wattbike 这样的产品, 这是为了使训练尽可能专项化。

1.4 空气动力学

空气阻力是自行车运动员的主要阻力, 当骑手以大约 40 km/h 以及更快速度骑行时其占总阻力的 90% 左右^[21]。运动员的身型和骑行姿态以及穿戴设备, 如头盔、比赛服等的影响可占到总阻力的 64%~82%, 其他空气阻力主要源于自行车, 包括车架、车轮、车把和其他小部件^[22-23]。Faria 等^[16]指出, 自行车赛场 1 h 记录中 60% 的提升来自空气动力学因素的改善, 40% 来自更高的功率输出。空气动力学是一个复杂的领域, Fabio 等^[21]以及 Crouch 等^[24]在该领域进行了深入的研究, 充分解释了运动员、骑行姿势和设备的变化趋势, 以及这些变化对获得空气动力学效益的重要性。

目前在训练实践中比较关注的一个指标是 CdA 系数, 其中 Cd 代表风阻系数, 而 A 则是运动员投射的正面面积, CdA 是 2 个变量的乘积。该指标越低越好, 对自行车和设备位置的小幅调整可以降低 CdA, W/CdA 表示骑手产生的功率除以阻力系数与骑手正面面积乘积的比值, 该值越高越好。实践中可以采用增加功率或减少 CdA 来提升运动成绩, 而目前的关注点在于降低 CdA。借助风洞可用于研究不同设备、紧身装备和骑行姿势在骑行时的风阻情况, 通过研究结果进行针对性调整, 可实现以更低的功率输出获得相同或更高的速度^[21]。目前, 可以使用最新技术在现场和训练场上完成计算^[24]。

2 训练方法

2.1 能量系统训练

在设计训练计划时需要进行测试以评估训练区并为运动员安排个性化的训练方案。实验室内的“金标准”是 VO_{2max} 测试, 该测试可以估计出 2 个通气阈



值以及最大有氧功率,通气阈值在场地耐力自行车比赛中通常是比 VO_{2max} 更为重要的指标^[25]。通过测试可划分训练区间,并以此设计训练计划。表 3、图 1、图 2 为挪威奥林匹克联合会用于量化训练强度分布的 3 区^[26-27]和 5 区模型^[28]。

表 3 用于描述和监测耐力运动员训练的 5 区强度量表

Table3 5-zone intensity scale for describing and monitoring endurance athlete training

强度区间	心率 /%HR _{max}	血乳酸 / (mmol·L ⁻¹)	有效训练时长
1	60~72	0.8~1.5	1~6 h
2	73~82	1.5~2.5	1~3 h
3	83~87	2.5~4.0	50~90 min
4	88~93	4.0~6.0	30~60 min
5	94~100	6.0~10.0	5~30 min

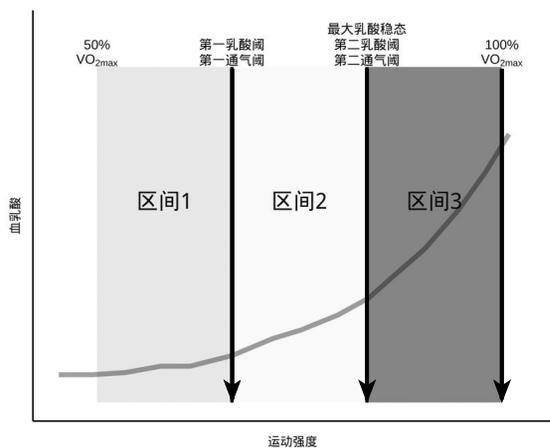


图 1 Stephen Seiler 耐力训练的 3 区模型^[27]

Figure1 Stephen Seiler's 3-zone model for endurance training^[27]

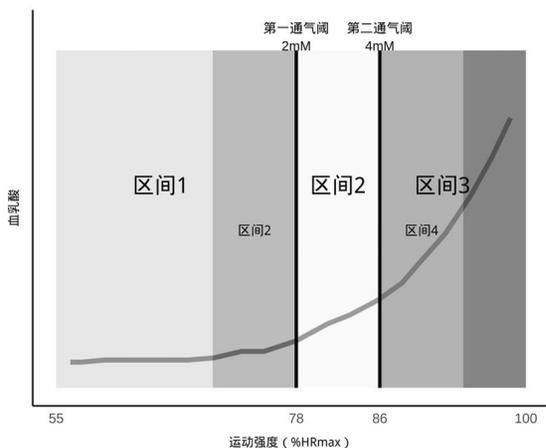


图 2 Stephen Seiler 有叠加区间的 3 区模型^[26]

Figure2 Stephen Seiler's 3-zone model with overlapping zones^[26]

两极化训练模式广泛应用于场地耐力自行车训练^[16,29-30]。两极化训练指的是较低强度的有氧训练占据很大比例,其余部分进行高强度训练,避开中间区间。进行过多的中等强度(3 区模型中的区间 2 或 5 区模型中的区间 3)训练会使运动员感到疲劳,且得不到足够的训练收益。对于训练量大的精英运动员来说,可能会使其在随后的高强度训练中感到疲劳,从而降低训练质量。5 区模型中的区间 2(或 3 区模型中的区间 1)是一个有氧区,可使慢肌纤维的线粒体产生最佳的适应。Seiler^[27]研究指出,耐力运动员似乎更倾向于采用大训练量进行训练,并在整个训练周期中谨慎应用高强度训练,而此类训练主要以 I 型慢肌纤维为目标,当氧气充足时(在较低或中等强度的运动中),肌肉通过氧化供能获得能量,但团体追逐项目需要运动员进行高强度运动,当糖酵解率非常高时,乳酸会积聚。然而,这种乳酸可以通过“乳酸穿梭”途径分解为能量,即身体将乳酸从运动肌输送到氧气含量较高的身体区域。优化这一能力通常需要训练强度在无氧阈值附近,以提高乳酸动力学^[2],这种训练通常称为无氧阈值训练,旨在改善乳酸清除率。

目前研究人员开发了一种更简单的场地测试来评估功能阈值功率 (Functional Threshold Power, FTP)。FTP 指运动员可以在 60 min 内保持准稳定状态的最高功率^[31],该测试也可以只进行 20 min,其结果的 95% 就是 FTP。因此,可以通过这种方法得出训练区间。FTP 被认为与无氧阈存在相关性,是一个简化的测试。但目前有研究在质疑其准确性,精英运动员的阈值会有所不同^[32]。

Jeffries 等^[32]建议使用基于实验室测试的血乳酸参数评估来确定乳酸阈值,或者使用功率—时间曲线评估运动员,以得出临界功率的测量值^[33-34]。理论上,临界功率被定义为运动员能够可持续输出的最高功率。在实践中,运动员通常只能在 CP 供能下维持大约 30 min 的功率输出^[35]。当运动员以高于其临界功率的强度骑行时,运动员实际可用的能量非常重要,即无氧做功能力 (Anaerobic Work Capacity, AWC)。无论测试何种指标,团体追逐项目运动员必须具有基本的最大摄氧量能力,有氧供能系统是关键基础,但无氧阈值通常对运动表现起决定性作用。图 3 为 VO_{2max} 保持相对恒定下的无氧阈值如何在一个赛季中发生变化,表明能量系统之间存在相互作用而并非彼此独立。

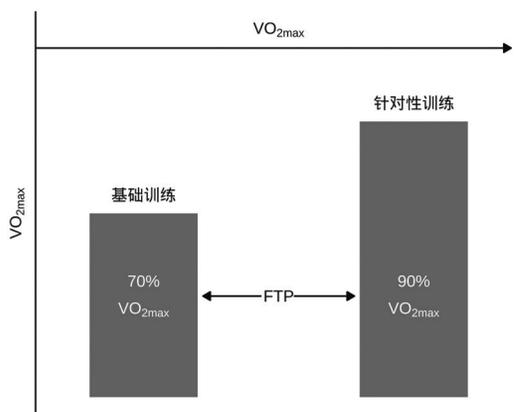


图3 无氧阈值在一个赛季中的变化^[36]

Figure3 Changes in anaerobic threshold over a season^[36]

目前的训练区间已经扩展到了使用区间6进行最大无氧间歇冲刺训练以提高无氧能力,采用区间7进行短时间内用最大强度进行神经肌肉训练以增强爆发力和速度。表4展示了运动员如何根据临界功率使用区间来应用两极化训练模型。根据测试方案,这些区间可能略有不同,如果骑手使用标准的20 min FTP测试,可使用Allen等^[37]研发的区间。

为满足高水平赛事的比赛需求,间歇训练在场地耐力自行车运动员的训练中已非常普遍^[38-39]。Rosenblat等^[40]尝试对高强度间歇训练(High Intensity Interval Training, HIIT)和冲刺间歇训练(Sprint Interval Training, SIT)进行分类,研究不同方案对运动成绩的影响。HIIT是在第二通气阈值和 VO_{2max} 之间的

表4 带区间的两极化训练模型

Table4 A polarized training model in different zones

区间	项目	%临界功率	心率(CP时的心率百分比)	RPE	力竭时间
1	恢复	< 56	< 69	< 2	—
2	耐力	56~75	69~83	2~3	2.5 h~14 d
3	节奏	76~90	84~94	3~4	2.5 ~8 h
4	临界功率	91~105	95~105	4~5	10~60 min
5	VO_{2max}	106~120	> 106	6~7	3~8 min
6	无氧能力	> 120	不适用	> 7	30 s~8 min
7	神经肌肉功率	不适用	不适用	不适用	5~15 s

功率或速度下进行的重复运动;SIT是以高于 VO_{2max} 的功率或速度进行的训练。单次120 s或更短时间的训练被定义为短时HIIT,能量主要由无氧代谢提供^[40]。对于长时HIIT,总训练量的50%以上应处于 VO_{2max} 强度。因此,长时HIIT应包括持续时间至少为4 min的运动。中等HIIT则是包含持续时间在2~4 min的间歇运动,Ronnestad等^[38-39]发现精英自行车运动员在短时HIIT与比赛努力程度相匹配的长时HIIT训练后的运动表现有显著提高。

需要注意的是,运动员以直立姿势骑行的唯一情况在于团体追逐赛出发时或在练习纯粹爆发力和加速度的训练中,目前大多数高强度训练都是在非常特定的骑行姿势下进行的。2016年的一项研究强调了在训练中采用特定骑行姿态重要性,因为特定的骑行姿势可以降低空气阻力,同时促进特定肌肉群的适应^[20]。

2.2 力量训练

力量训练是团体追逐项目运动员训练的基础,核心训练和姿势稳定训练也是重要的辅助性训练,

运动员必须保持特定的姿势以提高空气动力优势,这需要灵活性和核心力量。近年来比赛成绩提升的关键之一是使用更大的齿轮比,而齿轮比的增大导致踏频的降低。运动员在齿轮比的选择方面虽然存在个体差异,但可以肯定的是,目前力量训练与更大齿轮比的使用是密切相关的。最大力量训练、单侧训练和基于速度的力量训练的使用都是场地耐力自行车运动员训练计划的关键组成部分^[19,41-42]。此外,个性化的方法是优化培养自行车运动员的关键。但是青少年训练通常需要发展技能和以高踏频骑行的能力,然后才能转向更大的齿轮比,长远发展才是关键。

根据团体追逐赛特征,必须使用个性化方法来最大化力量需求和补充耐力需求。目前,团体追逐中的领骑通常是爆发型选手,可能需要强调最大力量。但对于全能赛或团体追逐赛中的3号和4号位置运动员,功率/体重至关重要,虽然力量和爆发力仍需优化,但该计划必须个性化,以尽量限制体重过多增加。这种差异考量再次强调了自行车这一项目中力量训练需要个性化安排,这也是所有运动项目的共



同原则。

Faria 等^[16]指出,当使用更费力的飞轮时,II型肌肉纤维会逐渐被募集。团体追逐赛已降低对运动员踏频的要求,但这种飞轮和踏频的变化深刻影响了训练方法和这项运动对力量训练的重视程度。因此,人体测量学指标与力量训练需要保持协调匹配,瘦体重必须最大化,体脂必须处于最低水平。但是对于大多数场地耐力自行车运动员来说,必须注意不要增加太多体重。有充分的证据表明公路自行车项目需要进行人体测量学测试,对于场地耐力自行车来说,这方面的研究证据还比较缺乏。Haakonssen 等^[43]对澳大利亚女子团体追逐赛运动员进行的研究强调了精英场地耐力自行车运动员的低体脂水平。

3 周期化

自行车项目的周期模型已经得到了较为深入的研究^[40],包括反向周期模型、板块周期模型和金字塔模型^[44]。目前更倾向于使用反向周期模型^[45],其训练观点认为单次最大能力通常优先于能力的维持性。通常,神经肌肉爆发力在计划的早期被优先考虑。两极化模型也优先考虑有氧能力,除此之外,还需要开发整体力量水平。大多数精英运动员目前使用的是板块模型,板块训练可以优先考虑耐力素质和特定的生理能力,例如通过爬坡训练提高无氧阈值或专项力量,或在特定的训练期,安排以速度和爆发力为目标的训练板块。目前很难找到最新的综述类文献,尽管如此,这种方法与目前的反向周期模型略有不同。

反向周期模式首先以最大化能力为目标,然后交替进行有氧板块和速度板块的训练,这样所有的比赛需求都得到了协同发展,保留严格在“有氧区”内进行有氧训练。有氧训练的主要目的是避免在有氧强度下的心率漂移,一旦心率漂移被最小化,目标则是逐渐延长距离并使心率不漂移到无氧区。乳酸阈强度和 VO_{2max} 水平训练被安排在同一训练计划中。交替进行速度训练与特定的有氧训练、公路训练和爬坡训练的练习是 2020 东京奥运会的准备模式。速度训练阶段通常比有氧、公路和爬坡训练阶段短。不同的国家使用的策略各异,例如有些国家在海拔地区花费更多时间,但策略大体相同。交替进行速度板块和特定有氧能力板块的训练理念很普遍,力量训练几乎贯穿整个阶段。一些具有有氧天赋的运动员会进行更多的公路比赛,在比赛时,他们会降低力量训练量。

4 小结

目前的场地自行车团体追逐赛速度更快、齿轮比更大,对无氧能力和力量/功率输出提出了更高的要求,最大化运动员的有氧与无氧能力并强调力量训练是目前的训练核心。两极化训练模式整合间歇训练是该项目耐力训练中的常用手段,而在贯穿全年的力量训练需要对运动员进行个性化考量。反向周期模型配合板块设计是目前主流的周期化训练模型,根据赛事和运动员特点合理设计备赛周期是运动员长期适应并在比赛期达到最佳运动表现的保障。同时,空气动力学也是训练中需要关注的重点,风洞等高科技技术,为优化空气动力学参数做出了杰出的贡献。

参考文献:

- [1] SCHUMACHER Y O, MUELLER P. The 4000-m team pursuit cycling world record: theoretical and practical aspects[J]. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 2002, 34(6):1029-1036.
- [2] CRAIG N P, NORTON K I. Characteristics of track cycling[J]. *Sports Medicine(Auckland, N Z)*, 2001, 31(7):457-468.
- [3] STADNYK A M, IMPELLIZZERI F M, STANLEY J, et al. Testing, training, and optimising performance of track cyclists: A systematic mapping review[J]. *Sports Medicine*, 2022, 52(2):391-401.
- [4] Olympic record progression track cycling-men's team pursuit[EB/OL].[2022-07-12]. https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Olympic_record_progression_track_cycling_%E2%80%93_93_Men%27s_team_pursuit&oldid=1094190744.
- [5] BROKER J P, KYLE C R, BURKE E R. Racing cyclist power requirements in the 4000-m individual and team pursuits[J]. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 1999, 31(11):1677-1685.
- [6] HEIMANS L, DIJKSHOORN W R, HOOZEMANS M J, et al. Optimizing the team for required power during track-cycling team pursuit[J]. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2017, 12(10):1385-1391.
- [7] WAGNER M, DAY J, JORDAN D, et al. Evolving pacing strategies for team pursuit track cycling[EB/OL].[2022-07-12]. <https://arxiv.org/abs/1104.0775v1>.
- [8] OLDS T. The mathematics of breaking away and chasing in cycling[J]. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 1998, 77(6):492-497.



- [9] SIGRIST S, MAIER T, FAISS R. Qualitative video analysis of track-cycling team pursuit in world-class athletes[J]. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2017, 12(10):1305-1309.
- [10] RICHARD N A, KOEHLE M S. Optimizing recovery to support multi-evening cycling competition performance[J]. *European Journal of Sport Science*, 2019, 19(6):811-823.
- [11] OVERMAYER R, TAVARES F, DRILLER M W. Acute post-exercise recovery strategies in cycling: A review[J]. *Journal of Science and Cycling*, 2018, 7(3):11-44.
- [12] JEUKENDRUP A E, CRAIG N P, HAWLEY J A. The bioenergetics of world class cycling[J]. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2000, 3(4):414-433.
- [13] GLAISTER M, STONE M H, STEWART A M, et al. Aerobic and anaerobic correlates of multiple sprint cycling performance[J]. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 2006, 20(4):792-798.
- [14] GASTIN P B. Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise[J]. *Sports Medicine*, 2001, 31(10):725-741.
- [15] AISBETT B, LEROSIGNOL P, MCCONELL G K, et al. Influence of all-out and fast start on 5-min cycling time trial performance[J]. *Medicine and science in sports and exercise*, 2009, 41(10):1965-1971.
- [16] FARIA E W, PARKER D L, FARIA I E. The science of cycling: Factors affecting performance-part 2[J]. *Sports Medicine*, 2005, 35(4):313-338.
- [17] MATER A, CLOS P, LEPERS R. Effect of cycling cadence on neuromuscular function: A systematic review of acute and chronic alterations[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021, 18(15):7912.
- [18] HANSEN E A, RØNNESTAD B R. Effects of cycling training at imposed low cadences: A systematic review [J]. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2017, 12(9):1127-1136.
- [19] AAGAARD P, ANDERSEN J L, BENNEKOU M, et al. Effects of resistance training on endurance capacity and muscle fiber composition in young top-level cyclists[J]. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 2011, 21(6): e298-e307.
- [20] FINTELMAN D M, STERLING M, HEMIDA H, et al. Effect of different aerodynamic time trial cycling positions on muscle activation and crank torque[J]. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 2016, 26(5):528-534.
- [21] MALIZIA F, BLOCKEN B. Cyclist aerodynamics through time: Better, faster, stronger[J]. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 2021, 214:104673.
- [22] BARRY N, BURTON D, CROUCH T, et al. Effect of crosswinds and wheel selection on the aerodynamic behavior of a cyclist[J]. *Procedia Engineering*, 2012, 34: 20-25.
- [23] DEFRAEYE T, BLOCKEN B, KONINCKX E, et al. Aerodynamic study of different cyclist positions: CFD analysis and full-scale wind-tunnel tests[J]. *Journal of Biomechanics*, 2010, 43(7):1262-1268.
- [24] CROUCH T N, BURTON D, LABRY Z A, et al. Riding against the wind: a review of competition cycling aerodynamics[J]. *Sports Engineering*, 2017, 20(2):81-110.
- [25] GLAISTER M, STONE M H, STEWART A M, et al. The influence of endurance training on multiple sprint cycling performance[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2007, 21(2):606-612.
- [26] SEILER S. Seiler's hierarchy of endurance training needs [EB/OL]. [2022-07-12]. https://www.researchgate.net/publication/310725768_Seiler's_Hierarchy_of_Endurance_Training_Needs.
- [27] SEILER S. What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes[J]. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 2010, 5(3):276-291.
- [28] 伊尼戈·穆吉卡.耐力训练的科学与实践[M]. 赵可伟, 孟志军,译,北京:北京科学技术出版社,2021.
- [29] HEBISZ P, HEBISZ R. The effect of polarized training (SIT, HIIT, and ET) on muscle thickness and anaerobic power in trained cyclists[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021, 18(12): 6547.
- [30] STÖGGL T, SPERLICH B. Polarized training has greater impact on key endurance variables than threshold, high intensity, or high volume training[J]. *Frontiers in Physiology*, 2014, 5:33.
- [31] MCGRATH E, MAHONY N, FLEMING N, et al. Is the FTP test a reliable, reproducible and functional assessment tool in highly-trained athletes?[J]. *International Journal of Exercise Science*, 2019, 12(4):1334.
- [32] JEFFRIES O, SIMMONS R, PATTERSON S D, et al. Functional threshold power is not equivalent to lactate parameters in trained cyclists[J]. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 2021, 35(10):2790-2794.
- [33] CHORLEY A, LAMB K L. The application of critical power, the work capacity above critical power (w'), and



- its reconstitution: A narrative review of current evidence and implications for cycling training prescription [J]. *Sports*, 2020, 8(9):123.
- [34] LEO P, SPRAGG J, PODLOGAR T, et al. Power profiling and the power-duration relationship in cycling: A narrative review[J]. *European Journal of Applied Physiology*, 2021:1-16.
- [35] JOYNER M J, COYLE E F. Endurance exercise performance: The physiology of champions[J]. *The Journal of Physiology*, 2008, 586(1):35-44.
- [36] ALLEN H, CHEUNG S S. Cutting-edge cycling[M]. Champaign: Human Kinetics, 2012.
- [37] ALLEN H, COGGAN A R, MCGREGOR S. Training and racing with a power meter[M]. Boulder, Colorado: Velo-Press, 2019.
- [38] RØNNESTAD B R, HANSEN J, VEGGE G, et al. Short intervals induce superior training adaptations compared with long intervals in cyclists: An effort-matched approach[J]. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 2015, 25(2):143-151.
- [39] RØNNESTAD B R, HANSEN J, NYGAARD H, et al. Superior performance improvements in elite cyclists following short-interval vs effort-matched long-interval training[J]. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 2020, 30(5):849-857.
- [40] ROSENBLAT M A, PERROTTA A S, VICENZINO B. Polarized vs. threshold training intensity distribution on endurance sport performance: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials[J]. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 2019, 33(12): 3491-3500.
- [41] RØNNESTAD B R, HANSEN E A, RAASTAD T. Effect of heavy strength training on thigh muscle cross-sectional area, performance determinants, and performance in well-trained cyclists[J]. *European Journal of Applied Physiology*, 2010, 108(5):965-975.
- [42] VIKMOEN O, ELLEFSEN S, TRØEN Ø, et al. Strength training improves cycling performance, fractional utilization of VO_{2max} and cycling economy in female cyclists[J]. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 2016, 26(4):384-396.
- [43] HAAKONSSSEN E C, BARRAS M, BURKE L M, et al. Body composition of female road and track endurance cyclists: Normative values and typical changes[J]. *European Journal of Sport Science*, 2016, 16(6):645-653.
- [44] RØNNESTAD B R, ELLEFSEN S, NYGAARD H, et al. Effects of 12 weeks of block periodization on performance and performance indices in well-trained cyclists [J]. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 2014, 24(2):327-335.
- [45] CLEMENTE-SUÁREZ V J, RAMOS-CAMPO D J. Effectiveness of reverse vs. traditional linear training periodization in triathlon[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2019, 16(15): 2807.

(责任编辑:刘畅)