

使用功率计进行训练和比赛 :简介

Andrew R. Coggan 博士

一、简介

对于任何运动员来说,理想的训练计划都是具有挑战性的,足以带来持续的进步,但又不会过于繁重,以至于导致疾病、受伤或过度训练。在任何运动中都很难实现这种微妙的平衡。然而,这在骑自行车时尤其如此,因为向前运动的阻力会因海拔高度、天气、地形、道路或小径表面和/或牵引的影响而显着变化。因此,当前速度甚至平均速度通常不能很好地反映训练强度,这可能会导致难以调节整体训练负荷(这也取决于训练持续时间和频率)。尽管这在田径自行车(尤其是室内)中往往不是问题,但在达到给定性能水平所需的体力消耗方面仍然可能存在显着的日常或田径差异,例如,一定的单圈时间。因此,除了简单的速度之外,还需要一些测量来准确量化骑车时的训练强度。

监测心率(HR)为解决上述问题提供了一种可能的方法,因为至少在仔细标准化的条件下,心率与实际运动强度(即功率输出或耗氧率(VO₂))之间存在密切关系(图1)。因此,这种方法在自行车运动中被广泛采用,而在其他运动(例如跑步)中的应用程度较低。

然而,虽然理论上使用HR来量化训练强度确实有一定的实际局限性。一是尽管HR与实验室类型环境中的运动强度密切相关,但这种关系在户外骑车时并不那么强(图1)。

这是由于在运动过程中影响心率的因素多种多样。例如,海拔、高温、缺水/脱水、最近的疾病或感染、睡眠不足以及功率输出的大幅波动(例如,在集体骑行环境中或在丘陵地形中)都倾向于在给定的运动期间增加HR强度,而急性过度扩张具有相反的效果。此外,HR与功率的关系在个体之间可能不同,即使以某种方式归一化,例如,在计时赛(TT)期间测量的HR,或在增量运动测试结束时测量的最大HR。由于这些因素,即使HR或相对HR保持不变,训练所施加的实际需求在锻炼之间或个人之间也会有很大差异。此外,由于HR对运动强度变化的反应相对较慢(半衰期=~30 s),因此HR监测不能用于调节较短努力的强度,例如旨在增强无氧能力的短间隔或旨在增加神经肌肉的短跑力量。最后,必须记住,HR不是运动表现的直接决定因素,而只是运动对心血管系统施加的压力的反映。(最后一点似乎经常被忽视,正如教练和运动员强调在锻炼期间需要最小化HR的频率所表明的那样,而实际上真正的目标是最大化性能,而不考虑HR方面的“成本”。)因此,虽然HR监测可用于检测训练引起的心血管健康变化(即最大摄氧量或VO_{2max}),但它通常对其他关键的表现决定因素的变化不敏感,最重要的是骑手的代谢健康,即,他们的乳酸阈值(LT)。

上述限制可以通过直接测量骑手的实际功率输出来避免,现在商业上的自行车功率计已经广泛使用,这很容易做到。与测量速度或HR相比,测量功率的优势在于可以更直接、更直接地回答“我工作有多努力?”的问题。

也就是说,一个人的功率输出不仅直接决定了他们踩下的速度有多快

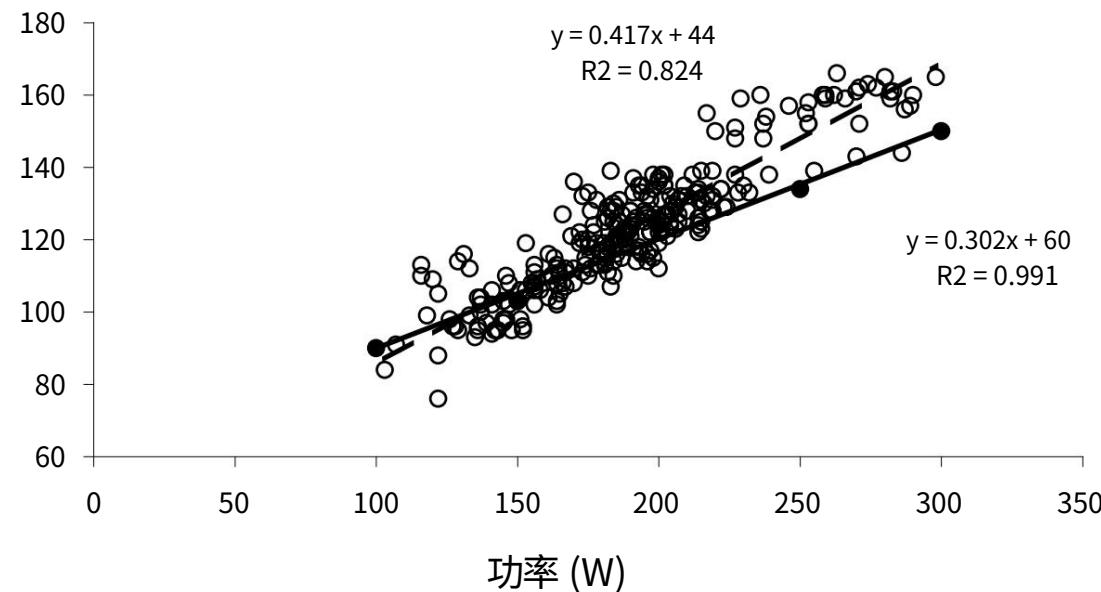


图 1. 一名户外骑行运动员的心率与功率的关系（空心圆圈）
与在测力计上的室内（封闭圆圈）。

路上或上山,还有他们的心血管、新陈代谢和知觉反应。换句话说,重要的是功率输出,不仅从物理学的角度来看,而且从生理学的角度来看。此外,功率变化的检测速度非常快,没有 HR 固有的滞后,甚至没有速度的滞后。因此,了解骑手的力量应该可以更好地调节或至少评估整体训练强度。此外,定期测量训练中的力量,尤其是在比赛中,可以直接衡量训练的效果,从而可以对训练计划进行微调以达到最佳效果。

尽管有这些优势,许多教练和运动员仍然不确定“力量训练”的实际好处,和/或如何最好地使用功率计作为训练工具。

这可能是因为与便携式 HR 监视器不同,功率计最近才被广泛使用——因此,迄今为止,围绕使用此类仪器构建的培训方法很少(如果有的话)被描述。因此,本章的目的是描述作者使用功率计进行训练的方法,以此来说明基于功率的训练的一些可能性以及一些陷阱。首先将介绍基于功率的一系列训练级别或区域,然后是示例锻炼,旨在作为示例,说明如何使用功率计在各种情况下发挥优势。然后将讨论功率计数据的分析,并提出一种基于此类测量来量化整体训练压力的方法。最后,将简要讨论功率计的其他潜在用途(例如,作为 TT 中的起搏工具)。

2. 基于功率的训练水平

表 1 中列出的训练水平是根据运动生理学的基本原理以及大约 20 年的力量训练经验开发的,最初是在实验室中,最近(随着商业自行车的出现)

功率计)在现场设置。目标是从第一原则制定一个用于通过力量训练的逻辑系统,而不是试图从 HR 测量中获得训练水平。(后一种方法充满了困难,因为个体内部和个体之间人力资源的可变性。)即便如此,由此产生的基于权力的系统与其他人先前开发的基于人力资源的系统有一定的相似之处,最值得注意的是彼得基恩提出的并被英国自行车联合会使用(尤其是关于每个训练级别的口头描述)。这种平行性主要是由于当前的基于功率的系统和先前的基于 HR 的系统都建立在相同的潜在现象上,即对运动的生理反应。然而,在某种程度上,它也反映了一种有意识的尝试,即通过将这些现有系统的理想特征合并到当前的分类方案中来建立先前的努力。下面描述了开发该系统的一些想法。

系统/级别数的基础: LT 的功率是耐力骑行表现最重要的生理决定因素,因为它综合了 VO_{2max}、在给定持续时间内可维持的 VO_{2max} 百分比和骑行效率 (1)。因此,相对于运动员的阈值功率来定义训练水平更合乎逻辑,例如,最大摄氧量时的功率(就像定义相对于阈值 HR 和最大 HR 的基于 HR 的训练水平更合乎逻辑一样)。另一方面,确定适当的水平数量有些武断,因为对运动的生理反应实际上是一个连续体,一个强度域简单地融合到下一个强度域中。因此,为了简单起见,必须在定义更多级别(从而更好地反映这一事实)和定义更少级别之间做出折衷。在目前的系统中,七个级别被认为是代表全部生理反应所需的最低级别,并充分描述了满足竞技自行车需求所需/使用的不同类型的训练。表 2 列出了每个级别的训练预期会产生的主要生理适应,尽管这些显然会受到个人初始健康状况、每次锻炼的持续时间、每次间隔努力之间的时间等因素的影响。

确定 LT 力量:至少在理论上,确定运动员在 LT 力量的最精确方法是依靠基于实验室的侵入性血液采样测试。

然而,很少有人能够定期进行此类测量。

此外,虽然运动科学家通常将 LT 定义为随着运动强度的增加乳酸的初始非线性增加(图 2),但根据实际情况,这种强度往往明显低于教练和运动员倾向于联想的强度。经验,具有“阈值”运动强度的概念。后者更接近于体育科学界所称的 OBLA(血乳酸积累开始,定义为 4 mmol/L 的血乳酸浓度),但实际上在概念上最接近 MLSS(最大乳酸稳态)或 IAT(个体无氧阈值),这两者都代表了在不持续增加血乳酸的情况下可以维持的最高运动强度。在理解运动的生理学方面,使用这些不同定义中的哪一个实际上几乎没有区别,因为它们都是高度相关的。另一方面,过多的定义确实会使乳酸测量的使用复杂化,尤其是因为确定与给定运动员的可持续力量(或 HR)相对应的精确乳酸水平可能是有问题的。

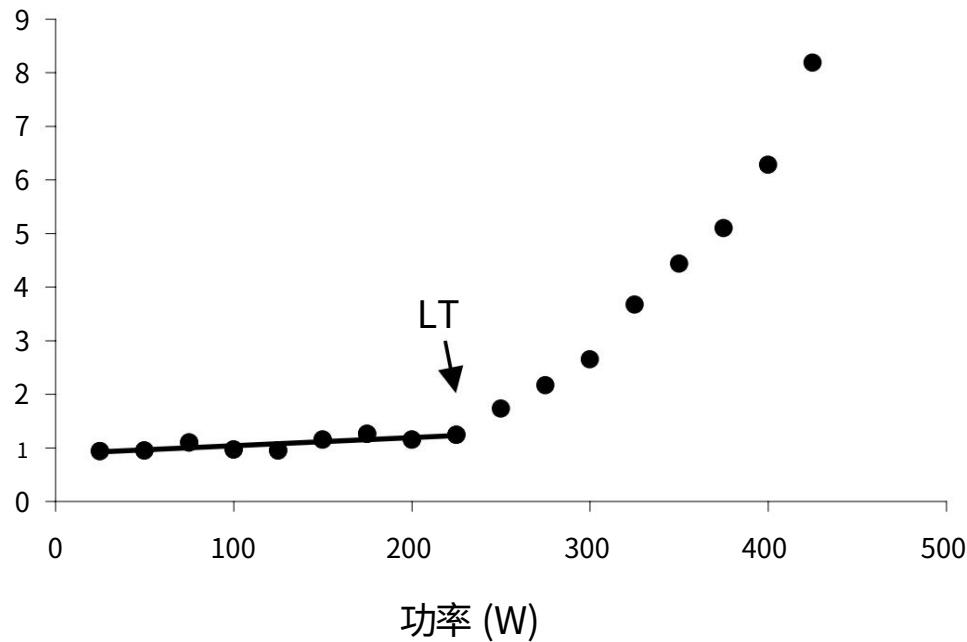


图 2. 训练有素的自行车手在增量运动测试中的血乳酸反应。

鉴于上述实验室测试的局限性,估计骑手功能阈值功率的最简单和最直接的方法可能是简单地测量他们在约 40 公里 (50-70 分钟)TT 期间的平均功率。实验室研究证明了这种高度务实的方法是合理的,该研究表明骑自行车者可以在 60 分钟内产生的功率与他们在 LT 时的功率高度相关,但略大于他们在 LT 时的功率 (定义为血乳酸比运动基线增加 1 mmol/L) (2)。使用这种方法获得的阈值功率的精确值可能会略有不同,具体取决于 TT 的确切距离/持续时间、地形、运动员的动力水平和正确配速的能力等。但是,这种变化可能很小相对于定义的培训级别的广度以及它们之间的有些武断的划分。此外,该方法的简单性意味着如果所获得的数据被认为是可疑的,或者如果有理由相信运动员的体能发生了显着变化,则可以很容易地重复测试 (作为 4 级训练课程的两倍)。如果出于某种原因 (例如,训练阶段)认为不希望运动员完成完整的 40 公里 TT,则可以使用较短 TT 的数据,尽管这可能需要稍微调整阈值功率的确切百分比每个级别和/或应用适当的校正因子 (例如,阈值功率 = 20 公里 TT 期间的平均功率乘以 0.93)。然而,再次考虑到指定功率水平的广度、性能的日常变化以及功率持续时间曲线精确形状的个体差异,采用这种校正因子的实际效果可能只是传达一种错误的精确感。

一种更简单的估算运动员阈值功率的方法是仅测量他们在长时间训练或旨在提高 LT 的重复训练中常规产生的功率（例如,4 级 2 x 20 分钟）。通常,这将非常接近（可能在 5% 以内）在 40k TT 期间可以维持的水平,努力之间的持续时间和恢复期更短,从而弥补了训练与比赛中普遍较低的动机水平。（另一方面,在这种努力中的平均心率通常会大大低于在比赛中观察到的值。）这种方法的主要优点是易于测量,在某些情况下,这可能比更正式的测试更可取。

另一种估计阈值功率的方法虽然更复杂,但依赖于 Scherrer 在 1954 年最初描述的临界功率范式（参见 3）。从概念上讲,临界功率是一种可以“持续很长时间而不疲劳”的功率,是“有氧供能系统的固有特性”。实验上,已发现个体的临界功率与通过实验室测量确定的 LT 功率密切相关（尽管再次略高于）。存在许多用于计算临界功率的数学等效表达式,但在当前上下文中,最方便的公式是：

$$W = CP * t + AWC$$

其中 W 是在高强度运动任务中完成的总功（焦耳）,CP 是临界功率（瓦特）,t 是时间（秒）,AWC 是无氧做功能力（焦耳）。上述等式描述了一条直线（即 $y = mx + b$ ）,可以使用常用软件（例如 Microsoft Excel）轻松地将其拟合到数据中。在这个公式中,斜率 (CP) 反映了在不发生疲劳的情况下可以进行有氧工作的最大速率,而截距 (AWC) 等于依靠不可再生厌氧能源可以完成的总工作量。即,ATP 和 PCr 的分解以及乳酸的产生和积累）（图 3）。这种解释得到了实验的支持,表明 CP 受到预期会影响有氧能量产生的干预措施的影响,例如缺氧,而 AWC 则不然。

相反,预计会影响无氧能力的干预措施,例如肌酸负荷,已被证明可以在不改变 CP 的情况下改变 AWC。最后,已发现 AWC 与 30 秒全面运动测试（即 Wingate 测试）期间执行的总功之间或 AWC 与最大累积氧亏缺（目前被认为是无氧能力的黄金标准测量）之间的密切相关性。

虽然有用,但 CP 概念并非没有某些限制。例如,它大大高估了在非常短的时间锻炼期间可以产生的力量,并且它错误地预测应该有一个功率输出,低于该功率输出将永远不会发生疲劳。此外,为 AWC 获得的精确值以及在较小程度上获得的 CP 部分取决于测试协议,尤其是所使用的功率和持续时间的精确组合（具体而言,包括逐渐延长的努力往往会导致逐渐降低 CP 的估计值）。出于这个原因,最好仔细标准化测试条件,并仅使用持续时间在 3 分钟到可能 30 分钟之间的努力的数据（在长度短于 3 分钟的努力中,厌氧能力可能无法充分利用,导致低估 AWC 和高估 CP）。然而,尽管存在这些限制,但如果仔细应用 CP 方法,它还是很有用的,并且至少为理解影响运动表现的两个最基本的元素（即无氧和有氧能量产生）以及相对贡献如何提供了一个理论框架。每个变化为

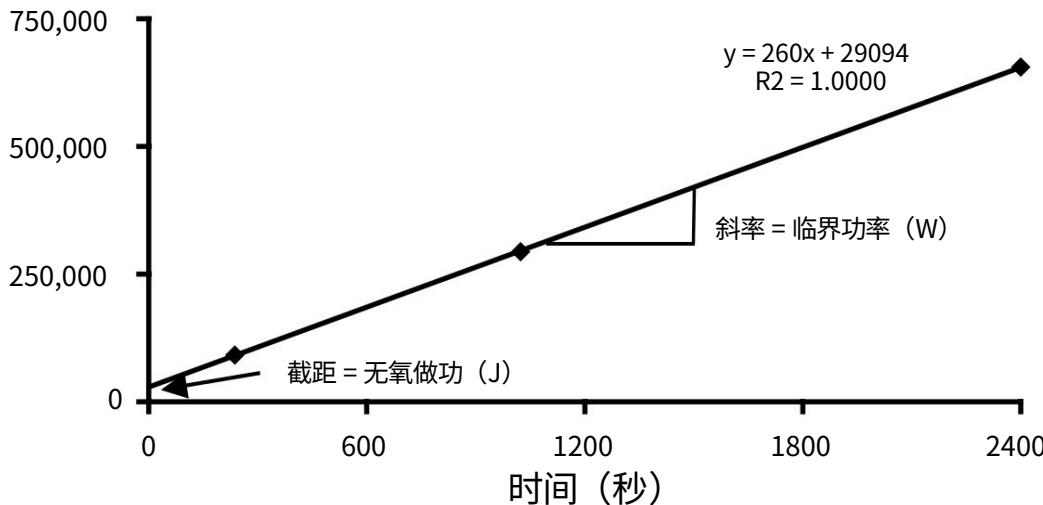


图 3. 计算临界功率和无氧工作能力。

时间的函数。例如,简单地查看功率-持续时间曲线可能会导致人们得出结论,决定赛道追踪和道路 TT 性能的因素有很大不同,因为在运动的最初几分钟内功率下降得非常快。

然而,通过应用 CP 概念,很明显这两个项目的表现在很大程度上取决于个人在 LT 时的力量,因为即使在相对较短的时间锻炼中,关键力量在决定他们可以完成多少工作方面也起着重要作用(图 1)。3.)。从训练的角度来看,这更容易理解为什么精英追逐者经常训练 30,000-40,000 公里/年。同样,CP 概念的应用有助于解释为什么即使赛事持续时间可能少于 1 小时的较低级别或大师级赛车手通常仍能从数小时的训练课程中受益。

最后,通过应用适当的数学算法,还可以从高度可变的功率数据(例如在典型标准或丘陵赛道比赛期间记录的数据)估计运动员的阈值功率。这种方法将在本章后面详细解释(参见功率计数据分析),其优点是不需要对骑手的训练或比赛日程进行任何正式测试或调整,并且可以独立于上述方法使用,或者(更好)与其他三种方法中的一种一起作为确认的手段。然而,当应用于骑手非常激进和/或竞争水平很高的比赛的数据时,这种技术效果最好——否则,仅仅因为骑手没有将自己推向极限,阈值功率可能会被低估。他们能力的极限。

HR 指南:由于 HR 的固有可变性以及功率-HR 关系中的个体差异(即使参考阈值功率),将指定的功率水平与相应的 HR 范围或区域关联或转换有些困难。

尽管如此,表 1 中提供了近似的 HR 指南,因此如果需要,它们可以与电源一起使用,以帮助指导培训。

感知运动 (PE) 指南:给出的值来自 Borg 的 10 分类别比率量表(转载如下),而不是更常用的原始 20 分量表。这

使用类别比率量表是因为它明确识别了许多生理变量（例如血液和肌肉乳酸）的非线性响应，从而提供了一个更好的整体努力指标。

Borg 的 10 点类别比率感知运动量表： 0 = 完全没有 0.5 = 极弱（几乎不明显）
 6
 7 = 非常强 8 9
 1 = 非常弱 2 = 弱
 (轻)
 3 = 中等 4 = 稍
 强 5 = 强（重）
 10 = 非常强
 * = 最大值

由于即使在恒定的运动强度（功率）下，感知的努力也会随着时间而增加，因此建议的值或范围是指在训练课程/一系列间歇中相对较早确定的感知努力。

其他问题：虽然该系统基于锻炼或间歇训练期间的平均功率，但还必须考虑功率分配（此问题在功率计数据分析和基于功率的训练的限制中进行了更详细的讨论）。

例如，大规模起跑比赛中的平均功率通常在 3 级范围内，但比赛通常比 3 级训练压力更大，因为功率的变化更大（因此峰值更高）。同样，由于软踏板/滑行，在丘陵骑行或团体训练期间达到的相同平均功率不会反映与在完全平坦的骑行或单人锻炼期间达到的相同平均功率相同的压力。在定义各个级别时，部分地考虑了功率的可变性，尤其是 2 级和 3 级（更高级别的训练往往更加结构化，从而限制了功率的变化）。此外，功率输出与功率可以维持的持续时间之间显然存在反比关系。因此，不言而喻，在较短的训练课程或努力期间的力量将下降到给定范围的较高端，而在较长的训练或努力期间的力量将下降到给定范围的较低端。尽管如此，最好描述一种锻炼，例如，在 1 级骑车 30 分钟（作为热身）、在 3 级骑车 60 分钟和在 1 级骑车另外 30 分钟（作为热身）作为节奏训练课程，即使整体平均功率可能在 2 级以内。

训练示例：表 3 说明了运动员在 40k TT 期间的功率和 HR 平均分别为 300 W 和 162 次/分钟的分类方案的应用。然后在表 4 中列出了此人的训练示例。这些示例主要是为了展示功率计如何在规定/监控训练强度方面发挥作用，不应将其视为必须模仿的“完美”训练。

3. 功率计数据分析至少在理论上，使

用功率计进行训练和比赛的好处之一是，这样做更容易更精确地控制整体训练负荷。通过连续记录功率输出，可以更准确地量化每次锻炼的确切需求，并且可以根据需要修改后续训练课程的强度或持续时间（或两者），以避免训练不足或过度训练。然而，这种方法的成功应用需要

运动员或教练能够在数小时的训练骑行期间每秒左右记录功率输出（以及其他变量,例如 HR)时积累的大量数据,从而快速理解这些数据。由于在户外骑车时功率变化很大,因此这项任务变得更加困难,因此总体平均功率可能无法深入了解给定锻炼施加的实际压力。对于比赛来说尤其如此,因为战术考虑会进一步夸大力量的波动,例如,需要在大范围内保持自己的位置,或者需要发起或响应攻击。因此,问题在于如何最好地总结或浓缩功率计数据,同时仍能充分捕捉每场比赛或训练课程的实际需求。

一些人使用的一种方法是简单地记录在比赛或训练期间完成的总功（以 kJ 为单位）。以这种方式表达数据有助于理解训练的整体能量需求,例如,这与能量摄入相比如何（例如,当运动员试图改变他们的身体成分时很有用）。然而,就像跟踪训练的英里数或小时数一样,测量总工作量只能提供整体训练量的指示,并不能说明训练的实际强度。

分析功率数据的另一种方法是确定功率输出的频率分布,即功率在一定范围内（例如,在 200 和 250 W 之间)或级别/区域（例如,在级别 4 内)时占总行驶时间的百分比）。此类分析可能很有用,但有两个主要限制：

- 1)仍然需要相对大量的数值来表示单个训练会话。因此,此类数据最好以图形方式呈现（例如,作为条形图）,并且它们本身不易进行进一步分析。此外,虽然使用这种方法很容易检测到功率分布的巨大差异,但更难以识别更细微的差异。
- 2)更重要的是,这种分析没有（事实上很容易不能)考虑到每次“涉足”给定功率范围或水平的实际持续时间。即,无论运动员是否产生例如300W连续30分钟或以该功率输出执行6.5分钟间隔,频率分布直方图看起来基本相同。然而,显然,对两个这样不同的训练课程的生理反应和适应会有显着差异。理论上,这个问题可以通过准备一个三维直方图来解决,其中每个数据仓不仅由功率输出定义,而且还由该功率所花费的时间定义（图 4）。然而,这需要建立相当随意的截止标准来定义给定工作何时开始和结束。也许更重要的是,以这种方式表示数据对于日常使用来说过于复杂。

上述用于分析或汇总电表数据文件的方法的局限性导致开发了一种替代方法,如下所述。

强度因子 (IF) 和训练压力评分 (TSS): Eric Banister 博士之前曾提议根据基于 HR 的“训练冲动”或 TRIMPS 评分来量化训练负荷 (4):

$$\text{TRIMPS} = \text{运动持续时间} \times \text{平均 HR} \times a \text{ HR 相关强度加权因子}$$

由于 HR 与摄氧量或代谢率有关（图 1）,上式中前两个因素的乘积与消耗的能量成正比,或者（因为

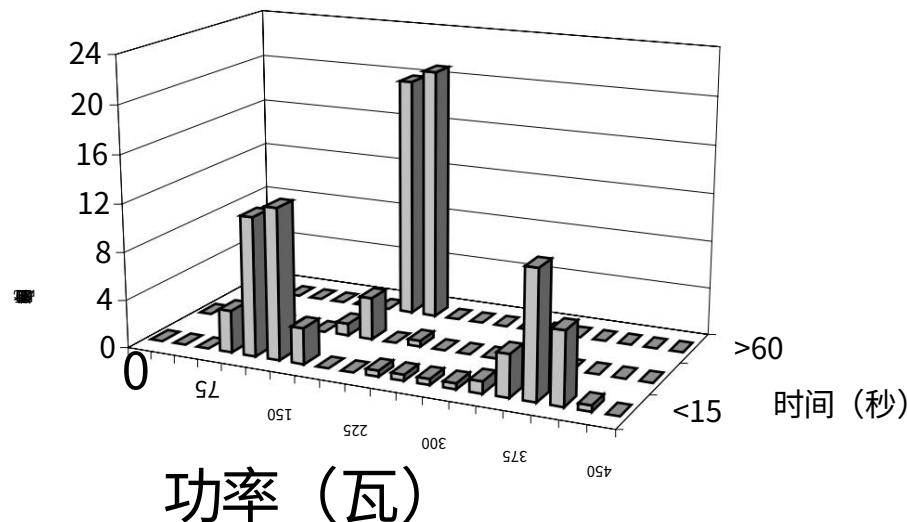


图 4. “微间隔”锻炼期间功率输出的三维频率分布直方图（15 秒“开” /15 秒“关”，持续 2 小时）。

效率是相对恒定的），执行的工作量。第三项则考虑了运动的强度，因为许多生理反应（例如，糖原利用、乳酸积累）随着强度的增加而非线性增加。

以此类推，功率计可用于得出“训练压力分数”或 TSS：

$$TSS = \text{运动持续时间} \times \text{平均功率} \times a \text{ 功率相关强度加权因子}$$

与 TRIMPS 类似，上述等式中前两个因子的乘积等于所执行的总功，而“强度因子”（IF）用于解释执行给定工作量所施加的生理压力这一事实（例如，1000 kJ 部分取决于执行该功的速率（即，取决于功率输出本身）。

为了推导出计算 IF 的适当算法，分析了从大量训练有素的骑自行车者在低于和高于其 LT 的强度下锻炼时收集的血乳酸数据。

做出这个选择是因为许多生理反应（例如，肌糖原和血糖利用、儿茶酚胺水平、通气）倾向于在运动期间同时发生血乳酸的变化——在这种情况下，血乳酸水平可以被视为生理压力。为了减少个体之间的差异，通过将功率输出和相应的血乳酸水平表示为在 LT 测量的百分比来标准化数据。然后使用标准化数据得出最佳拟合曲线。也许并不奇怪，指数函数提供了最佳拟合，但事实证明，以下形式的幂函数几乎一样好：血乳酸（LT 时乳酸的百分比）= 幂（LT 时的幂百分比） 3.90 ； $R^2 = 0.806$, $n = 76$ 根据这些数据，在算法中使用了一个四阶函数来确定 IF（为简单起见，指数从 3.90 舍入到 4.00）。

计算 IF 的算法中包含的其他生理信息是,对运动强度变化的生理反应不是瞬时的,而是遵循一个特征时间过程。因此,例如,强度快速 (例如,每 15 秒) 在高水平和低水平 (例如,400 和 0 W) 之间交替的运动会导致生理、代谢和知觉反应几乎与稳态反应相同。以平均强度 (即 200 W) 进行的状态锻炼。造成这种情况的具体原因超出了本次讨论的范围,但重要的事实是 1)许多生理反应的半衰期 (50% 反应时间) 与锻炼肌肉中的代谢事件直接或间接相关,以及 2)这样半衰期通常在 30 秒左右。因此,为了说明这一事实,在应用上述4阶加权之前,使用 30 秒 (~1 个半衰期)滚动平均值对功率数据进行平滑处理。

最后,为了使个人之间的比较更方便 (例如,对于必须与多名运动员打交道的教练) ,1) IF 表示为标准化功率 (通过上述平滑/加权获得) 与个人阈值功率的比率,和 2) TSS 被归一化为在阈值功率 (= 100 TSS 点) 下骑车一小时期间可以执行的工作量。因此,根据功率计数据计算 IF 和 TSS 所需的步骤是:

- 1) 从 30 秒开始,计算 30 秒的功率滚动平均值
- 2) 将步骤 1 中获得的值提高到4 次
- 3) 取步骤 2 中获得的所有值的平均值
- 4) 取所获得数字的4次方在步骤 3
- 5) 将步骤 4 中获得的归一化功率除以个人在 LT 的功率 -

- 产生的十进制值是 IF
- 6) 将归一化功率乘以努力的持续时间 (以 s 为单位) 以获得归一化的执行的功 (在 J 中) 7)
 - 将归一化功乘以 IF (步骤 5) 以得出 “原始”TSS 8) 将 “原始”TSS 除以在一小时内可以执行的功
 - 阈值功率 (即阈值功率 x 3600 s) 乘以 100 得到最终的 TSS

(这些计算显然过于繁琐,无法对每个功率计文件或其中的一部分进行常规处理,即使在 Excel 中使用宏时也是如此——但是,可以使用软件来自动执行该过程。)

应用:上述方法最明显的应用是根据给定训练块期间累积的 TSS 点数来量化整体训练负荷。例如,通过跟踪每周或每月的总 TSS,有可能确定个人的“突破点”,即最大的训练数量和质量仍然会导致改进,而不是过度训练。同样,单次比赛或训练课程导致的非常高的 TSS 可能表明需要在随后的几天进行额外的恢复。下表给出了典型 TSS 分数的一些粗略指导,以及它们对运动员后续表现能力的预期影响:

<150	低 (第二天比较容易恢复)
150-300	中 (第二天可能会出现一些残余疲劳,但到第二天就会消失)

300-450	高（即使在 2 天后仍可能存在一些残余疲劳） 史诗（可能持续数天
>450	的残余疲劳）

请注意,虽然 TSS 分数被标准化为个人的阈值功率,因此可以在运动员之间进行比较,但骑手对给定“剂量”训练的反应仍然可能存在差异。这种差异可能是由于天生的能力,也可能是特定训练的结果（即你训练的越多,你可以训练的越多）。然而,这不是一个主要问题,因为在给定个人内进行比较是主要兴趣。

虽然开发 TSS 的目标是提供一种基于功率计数据量化整体训练负载（持续时间 x 强度）的方法,但 IF 分数和用于推导它的算法还有其他重要用途。例如,IF 可用于比较明显不同的训练课程或比赛的强度,无论是在个人内部（最有效/相关）还是跨个人（例如,评估同一比赛中的战术或起草技能）（见下文）：

不同事件或培训课程的典型 IF 值：

<0.75	1 级恢复骑行 2 级耐力
0.75-0.85	训练课程 3 级节奏骑行,各种有氧和无
0.85-0.95	氧间歇训练（工作和休息时间相结合）,更长 (>2.5 小时) 公路比赛 4 级间隔 (仅工作时间),更短 (<2.5 小时) 公路比赛、标准、巡回赛、40k TT (根据定
0.95-1.05	义)较短 (例如 15 公里) TT、赛道点比赛 5 级间隔 (仅限工作期)、序幕 TT、赛 道追踪、赛道失控
1.05-1.15	
>1.15	

[很明显,上表中给出的 IF 值实际上是等效保持的阈值功率的分数或百分比。因此,IF 类似于用于定义表 1 中描述的训练水平的百分比——但是,绝对值不同,因为 IF 分数校正了功率变化对生理反应的影响,而训练水平仅具有被抵消到较低的功率水平来解释这一事实。例如,1 级训练骑行的 IF 值 <0.75 (即,归一化功率小于阈值功率的 75%) ,但平均功率 (未校正可变性) 将小于阈值功率的 55%。]

用于推导 IF 的算法还首次使得可以从高度可变的功率数据（例如在标准中获得的数据）准确估计个人的阈值功率。

也就是说,如果可持续功率（恒定或非恒定）基本上被运动员的 LT “封顶”,并且如果 30 s 平滑/4 阶加权算法适当调整了可变功率数据,则在步骤 4 之后获得的归一化功率在 IF/TSS 的计算中（见上文）提供了对相同生理压力下可能产生的等效稳定功率的估计。换句话说,该算法只是提供了一种用生理相关的“语言”来表达高度可变的功率数据的方法。因此,如果一个人在大约 1 小时的集体起跑比赛（或在非常丘陵的地形中的 TT）中像在平坦的 TT 中一样努力推动自己,那么归一化功率提供了一个估计值（通常为 w/in 5-

10 W）的阈值功率。这种观察减少了,在某些情况下甚至可能完全消除了骑手执行 TT 以确定其阈值功率的需要——相反,可以使用大规模起跑比赛的结果来实现这一目的。这种方法可能对从未有机会使用此类工具的初级电表用户有用

TT。即使对于阈值功率已确定的骑手,IF 分数也可用于检测体能的显着变化——例如,如果骑手在约 1 小时比赛中的 IF 分数大于 1.05,则应重新评估其阈值功率 (理想情况下使用最初建立它的相同方法) 来确定它是否真的发生了变化。

最后,IF 算法/分数的另一个应用是作为一种教学工具,因为它有助于证明为什么即使功率变化很大,它

仍然是个人的“代谢4th

适应度”(即 LT),这对确定性能很重要。也就是说,通过说明(通过顺序关系——甚至大于功率和风阻之间的三阶关系!)每次持续超过 LT 在生理上是多么“昂贵”,IF 算法可以 1)帮助经验不足的骑手理解为什么重要的是要学习如何在大规模起跑比赛中调整他们的努力,这样他们就不会不必要地疲劳,2)即使是有经验的骑手也能理解,即使在看似大不相同的赛事中,旨在提高门槛功率的适当训练也可以提高表现来自 TT (例如,标准)。

4. 力量训练的局限性

虽然基于力量的训练有许多优点,但它也有缺点。一是非常以目标为导向的运动员可能会过于关注力量数据,期望或试图提高每一次训练,而当他们未能做到时会感到失望或气馁。然而,这不仅仅是基于力量的训练所特有的问题,最好事先处理,即确保运动员有切合实际的期望并得到适当的反馈。

以功率为基础的训练有一个更重要的限制是,在户外骑行期间,每时每刻的功率在本质上往往是极其可变的。这主要是由于户外遇到的不断变化的阻力,因为大多数骑手能够在训练器或滚轮上保持相对恒定的功率。在任何情况下,这种可变性都可能导致难以调节功率,至少在短时间内保持在规定范围内(通常在基于 HR 的训练期间进行)。因此,一些教练主张在中低强度训练(例如,1-3 级)中主要依靠 HR,仅使用功率数据来指导更高强度的训练(当功率变化可能较小时,由于更结构化的培训性质)。其他人在规定基于力量而不是 HR 的训练时选择使用更窄的范围,以试图迫使运动员的表现更接近教练的设想或期望。然而,在作者看来,在训练期间过度限制功率变化会适得其反,无论是使用功率计还是心率监测器。一个简单的事实是,户外骑行期间的力量变化很大,尤其是在比赛期间,试图“微观管理”运动员尽量减少这种变化的努力只会降低训练的针对性。(然而,这并不是说在训练中必须花费大量时间来模拟比赛期间发生的功率变化——只是为了获得最佳效果,训练过程中至少有一些自发的功率输出变化是可取的,甚至是必要的。)因此,表 1 中提供的训练水平是基于间歇努力或训练期间的平均功率,这是个人应被指示主要关注调节的平均值,依赖于他们当前的功率输出,他们感知的努力,以及表 1 中给出的口头描述来帮助他们这样做。

—

随着功率计的不断反馈有助于磨练他们的努力感,运动员通常

快速培养在进行间歇训练时“调高”近似期望功率输出的能力,和/或学会在较长时间(例如,2级)训练期间适当地调整自己的步调。通过观察重复间隔努力中的力量变化提供的反馈,或通过长期锻炼的整体IF提供的反馈,也有助于教运动员如何正确调节锻炼强度。

5. 功率计的其他用途

虽然功率计的主要用途是作为培训工具,但此类设备也有其他应用。例如,功率计可以与简单的磁力训练器结合使用,以进行简单但信息丰富的体能测试,例如从次最大HR测量中估计VO_{2max},或通过定期确定“临界功率”来跟踪无氧能力的变化。功率计的反馈也有助于TT期间的起搏目的——即使对于经验丰富的运动员也是如此,因为起步过快的倾向很难克服,尤其是在比赛中。这种方法在低风条件下的平坦TT中效果最佳,此时等功率效果最佳,但也可用于在丘陵或多风TT中获得优势,其中最佳性能(最低累积时间)是通过增加功率输出来实现的上坡路段或逆风路段,以及在路线的下坡路段或顺风路段恢复。虽然单个运动员在这种情况下应该改变多少努力只能通过经验来了解,但能够观察一个人的实际功率输出可以帮助加快这个“学习曲线”。

使用功率计通过比赛获得的数据也可用于评估表现,从而评估训练的效果并确定可能需要对运动员的计划做出哪些改变。显然,对于TT来说这是最正确的,因为不同的环境条件,即使时间或平均速度没有差异,功率输出的变化也可能很明显。然而,大规模起跑比赛的功率数据也可用于根据保持的标准化功率(即IF值)评估适合度。此外,这些数据可以提供对运动员相对优势和劣势的洞察,甚至有助于选择适当的战术。例如,假设一名运动员在公路比赛中第四次在赛道上一个1英里长的陡峭山坡上与领先组失去联系。比较从那次上升到运动员在前三次上坡时产生的力量曲线以及他们在类似持续时间的单次全力以赴的训练中能够产生的力量曲线,可以表明他们是否由于累积疲劳而下降,或者如果比赛的节奏在这一点上只是简单地增加到了他们根本无法匹敌的水平。如果是前者,那么可能需要更长和/或更频繁的2级和3级训练课程和/或增加总训练量。另一方面,如果后者是正确的,那么也许更多地强调5级和6级间隔将有助于个人在未来的类似比赛中表现更好。在任何一种情况下,对功率数据的赛后分析也可以帮助运动员认识到制定某些策略的必要性,例如在大攀爬之前齐心协力节约能量,或者在靠近坡道前部的地方开始这种攀爬。组,这可能有助于他们的整体表现。

最后,功率计的另一个潜在用途是估计个人的气动阻力特性,即他们的阻力系数(Cd)和正面面积(A)的乘积。如果速度和功率数据是在相对控制良好的环境中(例如,平坦的道路或低风条件下的赛车场)收集的,并确定了空气密度,则可以重新排列描述户外骑行的功率要求的方程(5)到

以大约 2% 的精度 (重现性)求解 CdA (表 5)。不幸的是,即使这种少量的可变性也足以阻止这种方法特别有用——根据经验,通常可以“通过眼睛”将运动员定位在他们的 TT 自行车足够好,从而进一步改进 CdA 的潜力是相似的与测量误差的大小有关。这意味着必须进行大量试验 (最好是在同一天,空气密度或风速或风向不变), 以检测由改变手臂位置或气压杆高度引起的显着变化。检测由于设备差异导致的 CdA 变化即使不是不可能, 也更加困难。通过在室内赛车场上进行此类测试, 可以获得更精确 (因此更有用) 的 CdA 估计值, 但很少有人能定期进入这样的场地。此外, 在这种静止空气条件下获得的任何 CdA 估计值都不能反映风从一侧或另一侧吹来时发生的情况, 即当存在明显的偏航角时。因此, 由于其更高的准确性和精度 (以及便利/时间要求——尽管不一定成本), 风洞测试显然仍然是确定 CdA 的首选方法。

6. 总结

价格实惠、可靠的自行车功率计的出现有助于改变自行车运动员的比赛训练。尽管这些变化在本质上确实比革命性更具进化性——毕竟, 很多关于训练的知识 (经验派生的或其他的) 已经存在, 运动员仍必须完成必要的“功课”——但此类工具的日益广泛使用仍有可能有助于提高许多人的表现。因此, 如果教练和运动员没有利用这种仪器提供的机会, 他们就有可能被抛在后面。

7. 参考文献

1. 科伊尔 EF。综合决定耐力表现的生理因素
能力。锻炼。体育科学。启 23:25-63, 1995。
2. Coyle EF、Coggan AR、Hopper MK、Walters TJ。训练有素的耐力的决定因素
骑自行车的人。 J. 应用。生理学。 64:2622-2630, 1988。
3. Vanderwalle H, Vautier JF, Kachouri M, Lechevalier JM, Monod H. 工作疲劳时间关系和关键权力概念:
批判性评论。 J. 运动医学。物理。健身 37:89-102, 1997。
4. Banister EW、Calvert TW、Savage MV、Bach TM。运动训练的系统模型
表现。澳大利亚。 J. 运动医学。 7:57-61, 1975。
5. Martin JC、Milliken DL、Cobb JE、McFadden KL、Coggan AR。数学验证
公路自行车动力模型。 J 应用生物力学 1998 年; 14:276-291。

表 1. 基于功率的训练水平

级别名称/目的		平均功率 (阈值功率的百分比)	平均 HR (阈值 HR 的百分比)	感觉到的劳累	描述
1	积极的恢复	<55%	<68%	<2	“轻松旋转”或“轻踩踏板”，即非常低水平的运动，其本身太低而无法引起显着的生理适应。腿部用力/疲劳感最小。不需要集中注意力来保持节奏，并且可以进行持续的对话。通常用于剧烈训练日（或比赛）后、间歇训练之间或社交活动后的主动恢复。
2	耐力	56-75%	69-83%	2-3	<p>“全天”配速，或经典的长距离慢距离 (LSD) 训练。腿部用力/疲劳感通常较低，但可能会周期性地上升到较高水平（例如，攀爬时）。通常仅在范围的最高端和/或在较长的训练期间需要集中精力来保持努力。呼吸比 1 级更规律，但仍然可以进行持续对话。</p> <p>可以进行 2 级的频繁（每日）中等持续时间（例如 2 小时）的训练（前提是膳食碳水化合物摄入量充足），但从非常长时间的锻炼中完全恢复可能需要 24 小时以上。</p>
3	时间	76-90%	84-94%	3-4	<p>法特莱克锻炼的典型强度、“精神振奋”的团体骑行或快速移动的步伐。比 2 级更频繁/更强烈地感觉到腿部用力/疲劳。需要单独保持注意力，尤其是在范围的上限时，以防止努力回落到 2 级。</p> <p>呼吸比第 2 级更深、更有节奏，因此任何谈话都必须有些停顿，但没有第 4 级那么困难。从第 3 级训练课程中恢复比第 2 级训练后更困难，但仍然可以连续进行几天的第 3 级训练如果持续时间不长且膳食碳水化合物摄入量充足。</p>

表 1. 基于功率的训练水平 (续) :

级别名称/目的		平均功率 (阈值功率的百分比)	平均 HR (阈值 HR 的百分比)	感觉到的劳累	描述
4	LT	91-105%	95-105% (在努力的初始阶段可能无法实现)	4-5	略低于到略高于 TT 努力,考虑到持续时间、当前健康状况、环境条件等。 基本上持续的中度甚至更大的腿部用力/疲劳感。由于呼吸的深度/频率,连续对话充其量是困难的。 足够大的努力使得在这个水平上的持续锻炼在精神上非常费力——因此通常在训练中作为持续时间为 10-30 分钟的多个“重复”、“模块”或“块”进行。可以进行连续几天的 4 级训练,但此类训练通常仅在之前的训练充分休息/恢复以便能够保持强度时进行。
5	最大摄氧量	106-120%	>106% (可能由于心率反应缓慢和/或最大心率施加的上限而无法实现)	6-7	旨在增加 VO ₂ max 的较长 (3-8 分钟)间隔的典型强度。腿部力量/疲劳的强烈到严重的感觉,因此完成超过 30-40 分钟的总训练时间充其量是困难的。由于经常“参差不齐”的呼吸,无法进行对话。通常只有在从先前的培训中充分恢复时才应该尝试 - 即使可能,连续几天的 5 级工作也不一定是可取的。
6	厌氧能力	>121%	不适用	>7	短 (30 秒到 3 分钟)、高强度的间隔旨在提高无氧能力。由于努力的非稳定性性质,心率通常不能用作强度的指导。腿部用力/疲劳的严重感觉,无法交谈。通常不会尝试连续几天的 6 级扩展培训。
7	神经肌肉力量	不适用	不适用	* (最大)	非常短、非常高强度的努力 (例如,跳跃、起跑、短距离冲刺)通常会给肌肉骨骼而不是代谢系统带来更大的压力。功率作为指导有用,但仅参考之前的类似努力,而不是 TT 步伐。

表 2. 1-7 级训练产生的预期生理/表现适应。

	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>6</u>	<u>7</u>
血浆量增加	!	!!	!!!!!!	!!!!!!	!!!!!!	!!!!!!	!!!!!!
肌肉线粒体酶增加	!!	!!!!!!	!!!!!!	!!!!!!	!!!!!!	!!!!!!	!!!!!!
乳酸阈值增加	!!	!!!!!!	!!!!!!	!!!!!!	!!!!!!	!!!!!!	!!!!!!
增加肌糖原储存	!!!!!!	!!!!!!	!!!!!!	!!!!!!	!!!!!!	!!!!!!	!!!!!!
慢肌纤维肥大	!	!!	!!	!!	!!	!!	!!
肌肉毛细血管化 增加	!	!!	!!	!!	!!	!!	!!
快缩肌纤维的相互转换 (IIb型 -> IIa型)	!!	!!!!!!	!!!!!!	!!!!!!	!!!!!!	!!!!!!	!!!!!!
每搏输出量/最大 心输出量增加	!	!!	!!!!!!	!!!!!!	!!!!!!	!!!!!!	!!!!!!
最大摄氧量增加	!	!!	!!!!!!	!!!!!!	!!!!!!	!!!!!!	!!!!!!
增加肌肉高能磷酸盐 (ATP/PCr) 商店					!	!!	!!
增加无氧能力 (“乳 酸耐受性”)				!	!!!	!!	!!
快肌纤维肥大				!	!!	!!	!!
增加神经 肌肉力量				!	!!!	!!	!!

表 3. 以 300 W 的平均功率和 162 次/分钟的平均 HR 进行计时赛的运动员的训练水平指南。

<u>等级</u>	<u>名称/用途</u>	<u>平均功率 (瓦)</u>	<u>平均心率 (次/ 分钟)</u>	<u>感觉到的劳 累</u>
1	主动恢复	≤165	≤110	<2
2	耐力	166-225 瓦。	111-134	2-3
3	时间	226-270 瓦。	135-152	3-4
4	LT	271-315 瓦。	153*-170	4-5
5	最大摄氧量	316-360 瓦。	>171 †	6-7
6	厌氧能力	≥361 瓦	不适用	>7
7	神经肌肉力量	不适用	不适用	(最大)

*在最初的努力阶段可能无法实现。 †由于心率反应缓慢和/或最大心率施加的上限,可能无法实现。

表 4. 训练水平在表 3 中描述的运动员的示例训练：

<u>级别</u>	<u>培训目的</u>	<u>规定的锻炼</u>	<u>注释/详细信息</u>
1	主动恢复	最多骑行 1 小时 @ 1 级	在所有山坡上保持功率 <250 W (低于 3 级中部) - 避免陡峭的爬坡、跳出转弯,或因道路/风况或任何训练同伴 (尤其是在骑行开始时) 而被迫骑得比预期更难。如果感觉比预期好/恢复得更好,功率 “上限” 可能在平坦地形上提高到 2 级 (平均最高 225 W), 在短山上提高到 3 级 (270 W), 但仅限于锻炼的最后 15 分钟并且仅当整个会话的平均功率仍保持在 <165 W 时。
2	基础耐力训练	在 2 级骑行 3 小时	除非感到特别疲倦或特别精力充沛,否则功率几乎会自动降至 2 级,但仍会定期查看功率计以确保平均值在范围内。偶尔以 3 级 (功率高达 270 W) 连续骑行是可以接受的,但如果是这样,则必须与可比较的低强度训练时间相平衡。避免长时间使用 4 级及以上功率 (即功率 >270 W), 除非地形有必要 (例如,长时间陡峭爬升)。
3	训练时间 (比赛模拟)	在 1-2 级骑行 15-30 分钟热身,然后在 3 级骑行 1.5 小时,然后再在 1-2 级骑行 15-30 分钟 2.	最好独自一人或与能力相当的训练伙伴一起滚到丘陵地带。尝试通过攻击爬坡、急转弯等方式最大限度地提高节奏期间的功率变化,同时始终保持足够的强度以将平均功率保持在 3 级范围内。专注于不让平均功率在下半场下降节奏期,随着疲劳的发展。

表 4. (续)。

		像参加比赛一样彻底热身,例如,在 1-2 级骑行 15-30 分钟,包括在 3- 级时进行一些短时间 (1-3 分钟) 的努力	小心地“进入”第一个间隔,确保在最初的几分钟内强度不超过目标功率。此后,尝试最大化平均功率,同时仍将感知努力保持在低于实际比赛强度的水平。在第 2 次间隔期间,尝试重复这种努力 - 在第 2 次间隔期间无法保持平均功率
4	LT 的发展	4. 然后,执行 2 x 20 分钟 @ 级别 4,两次努力之间间隔 5 分钟 @ 级别 1。在 1-2 级骑行额外 15 分钟以进行热身。	间隔在第 1 次努力的 10 W 以内表明 A) 节奏不佳 (第 1 次间隔太激烈), 和/或 B) 从之前的训练中恢复不足。如果根据先前的经验,感知到的努力相对于平均力量过高,则放弃锻炼。
5	最大摄氧量训练	如上所述彻底热身,然后完成 6 x 5 分钟 @ 5 级,两次努力之间有 2.5-5 分钟 @ 1 级。在 1-2 级骑行额外 15 分钟以进行热身。	使用功率数据来避免以不可持续的强度开始,无论是在每个间隔开始时还是在前几个间隔期间,并作为“胡萝卜”在以后的努力中保持强度。如果无法达到目标力量,则在完成所有努力之前停止 - 如果连续几次锻炼都发生这种情况,请降低下一次此类训练的目标力量。
6	厌氧能力	如上所述彻底热身,然后在 6 级时进行 10 x 1 分钟,两次努力之间有 3 分钟 @ 1 级。在 1-2 级骑行额外 15 分钟以进行热身。	常规训练期间的努力应该非常高,但不是“全力以赴”——见上文。在峰值阶段,增加绝对功率、间隔持续时间 (例如,至 2 分钟) 和努力之间的恢复量,并将重复次数减少到 3 或 4 次。当间隔期间的平均功率下降 >10% 时终止锻炼。
7	神经肌肉力量	经过非常彻底的热身后,进行 6-10 次全力 10 秒冲刺,两次努力之间完全恢复。	在轻微的上坡和/或低速上进行冲刺,以最大限度地增加快速收缩的纤维。当冲刺期间达到的最大功率下降 >10% 时终止锻炼

表 5. 根据功率计数据估算阻力系数 (C_d) 和正面面积 (A) 的乘积。^{*}

试用 号	速度 (米/ 秒)	功率 (W)	温度 (°C)	气压空气密度 (kg/m ³)	董事会 (平方米)
12	12.22	317.0	17.2	29.98	1.200
	12.17	318.6	17.7	29.98	1.198
	12.26	316.4	18.1	29.98	1.197
34	12.26	318.1	18.2	29.98	1.196
5	12.18	301.6	18.4	29.98	1.196
					平均标准 开发。 0.247 简历 (%) 0.006 2.3%

*使用 SRM 履带曲柄测量一名追逐骑自行车的人在室外 333.3 m 混凝土赛车场上以航空位置重复飞行 2 公里的速度和功率。空气密度是根据使用便携式温度计在轨道旁测量的温度和气压计算得出的。 C_dA 是使用先前验证的户外骑行动力需求模型 (5) 从这些数据中估算的,假设滚动阻力系数为 0.0035,有效增量车轮正面面积为 0.0027 m² (考虑旋转车轮阻力)。数据已针对动能的变化进行了校正,但未针对风的影响进行校正,在所有试验中平均 <1 m/s。骑自行车的人穿着紧身衣和不透气的计时赛头盔,并使用了空气动力学设计的自行车,配备了深轮辋前轮和圆盘后轮。