



# 高强度间歇训练的科学与实践： 应用考量与关键指标

Paul Laursen(加)<sup>1,2</sup>, 黎涌明<sup>3,4</sup>, 李海鹏<sup>4</sup>, Martin Buchheit(法)<sup>1</sup>

**摘要：**高强度间歇训练(HIIT)是以 $\geq$ 无氧阈或最大乳酸稳态的负荷强度进行多次持续时间为几秒到几分钟的练习,并且每2次练习之间安排不足以使练习者完全恢复的静息或低强度练习的训练方法。进入21世纪以来,HIIT受到了训练科学与实践领域的密切关注,越来越多的教练员在训练实践中开始采用HIIT来提升运动员的竞技表现。然而,HIIT不只是“高强度”和“间歇”这么简单,其效果和价值的发挥需要考虑诸多因素。本文基于《高强度间歇训练的科学与应用:训练安排的解决方案》一书内容,分别从形式和目标类型、应用的整体框架、应用情境、同期化训练、关键指标5个方面对HIIT进行了论述,旨在为教练员和科研人员在训练实践当中应用HIIT并发挥HIIT的价值提供参考。

**关键词：**应用情境;同期化训练;有氧功率;无氧速度储备

中图分类号:G808 文献标志码:A 文章编号:1006-1207(2021)06-0009-06

DOI: 10.12064/ssr.20210602

## Science and Practice of High Intensity Interval Training: Application Consideration and Key Indicators

Paul Laursen<sup>1,2</sup>, LI Yongming<sup>3,4</sup>, LI Haipeng<sup>4</sup>, Martin Buchheit<sup>1</sup>

(1. HIITScience, Revelstoke Canada; 2. Sports Performance Research Institute New Zealand, Auckland University of Technology, New Zealand; 3. School of Physical Education and Sport Training, Shanghai University of Sport, Shanghai 200438, China; 4. China Institute of Sport Science, Beijing 100084, China)

**Abstract:** High intensity interval training (HIIT) is a training method, which consists of multiple efforts with intensity of  $\geq$  anaerobic threshold or maximal lactate steady state and with durations from seconds to minutes, and is interspersed with rest or low-intensity exercise between each two efforts. Since the beginning of the twenty-first century, HIIT has been attracting close attention in the field of sport science and practice. A increasing number of coaches are applying HIIT in training with the aim of enhancing the sport performance. However, HIIT is more complicated than HIGHT INTENSITY and INTERVAL. A variety of factors should be considered before the effect and value of HIIT show. Based on the book of *Science and Application of High Intensity Interval Training: Solutions to the Programming Puzzle*, this paper introduces HIIT from the five aspects: target type, frame, context, concurrent training, key indicators, so as to offer references for coaches and researchers to apply HIIT in training practice and bring into full play the value of HIIT.

**Keywords:** context; concurrent training; aerobic power; anaerobic speed reserve

收稿日期: 2021-09-15

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

第一作者简介: Paul Laursen,男,博士,教授,博士生导师。主要研究方向:耐力训练监控与评价,高强度间歇训练。  
E-mail: paul@hiitscience.com。

作者单位: 1. HIITScience, 雷弗尔斯托克, 加拿大; 2. 奥克兰理工大学新西兰竞技体育研究中心(SPRINZ), 新西兰;  
3. 上海体育学院 体育教育训练学院, 上海 200438; 4. 国家体育总局体育科学研究所, 北京 100084。



高强度间歇训练 (High Intensity Interval Training, HIIT) 是指以  $\geq$  无氧阈或最大乳酸稳态的负荷强度进行多次持续时间为几秒到几分钟的练习, 并且每 2 次练习之间安排不足以使练习者完全恢复的静息或低强度练习的训练方法<sup>[1]</sup>。尽管 HIIT 作为一种训练方法在 20 世纪 50 年代之前就已出现, 但有关 HIIT 的科学研究直到 21 世纪才急剧增加, 与之相伴的是 HIIT 在众多运动项目中的实践应用。《高强度间歇训练的科学与应用: 训练安排的解决方案》一书英文版由本文的 2 名作者 (Paul Laursen 和 Martin Buchheit) 编写, 中文版由本文的另 2 名作者 (李海鹏和黎涌明) 翻译和译校。近年来国内对 HIIT 的关注逐渐增加, 但这些关注主要集中在不同人群中的应用效果<sup>[1-3]</sup>等, 而对其在竞技体育中的实践应用关注不足, 更没有考虑到 HIIT 在应用中的考量。这些考量是 HIIT 在竞技体育中得以应用, 并真正发挥价值的重要前提。为此, 本文分别从 HIIT 的形式和目标类型、应用的整体框架、应用情境、同期化训练、关键指标 5 个方面来展开论述。

## 1 HIIT 的形式和目标类型

### 1.1 HIIT 的形式

HIIT 涉及 12 个变量, 包括运动方式、运动强度、运动时长、恢复强度、恢复时长、组时长、组数、组间时长、组间恢复强度、课总量、外部环境条件 (即温度和氧浓度)、营养学因素 (即糖可用性和水合状态)。其中, 运动强度、运动时长、恢复强度和恢复时长是决定 HIIT 形式的 4 个主要变量。HIIT 有 5 种形式 (图 1), 分别为长间歇、短间歇、重复短冲刺 (重复冲刺)、重复长冲刺 (冲刺间歇) 和基于比赛的训练 (小场地比赛)。

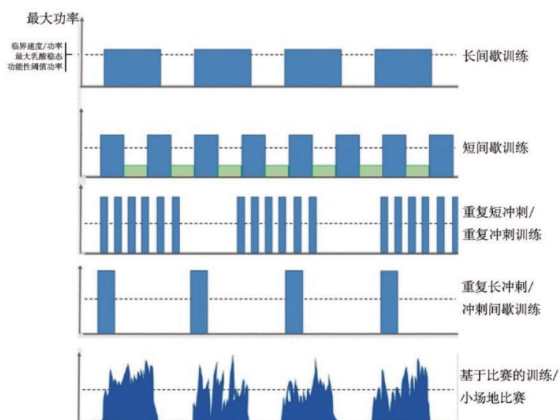


图 1 HIIT 的 5 种形式 (武器)<sup>[4]</sup>

Figure 1 5 Types of HIIT (weapons)<sup>[4]</sup>

注: 蓝色为强度性运动, 绿色为积极性恢复。

### 1.1.1 长间歇训练

长间歇训练通常采用的强度为 95%~105% 最大摄氧量速度 / 功率 ( $V/P_{VO_{2max}}$ ) 或 80%~90% 的 15~30 间歇体能测试的结束速度 ( $V_{IFT}$ )。这种训练的单次运动持续时间需要大于 1 min, 以诱导急性的代谢和神经肌肉反应, 每 2 次运动间安排短时 (1~3 min) 的休息或长时 (2~4 min) 积极性恢复 (强度为  $\leq 45\% V_{IFT}$  或  $\leq 60\%$  递增负荷测试结束速度 ( $V/P_{IncTest}$ )。这种训练可以用以达到第 3 类和第 4 类生理学刺激目标 (表 1)。

表 1 HIIT 的 6 种生理学刺激目标

Table 1 Six HIIT physiological stimulation targets

类型	刺激目标		
	有氧	无氧糖酵解	神经肌肉
1	大	小	小
2	大	小	大
3	大	大	小
4	大	大	大
5	小	大	大
6	小	小	大

注: \* 表示此类型往往属于速度或力量训练, 不属于 HIIT; 绿色表示有氧, 红色表示无氧糖酵解, 黑色表示神经肌肉。

### 1.1.2 短间歇训练

根据训练追求的乳酸水平, 短间歇训练的单次运动强度在 90%~105%  $V_{IFT}$  之间 (或 100%~120%  $V/P_{IncTest}$  之间), 持续时间  $< 60$  s, 每 2 次运动间安排的间歇时间与运动时间类似, 间歇强度为  $\leq 45\% V_{IFT}$  或  $\leq 60\% V/P_{IncTest}$ 。更长时间的间歇对应的乳酸水平更低。这种训练可以用于达到第 1 类至第 4 类生理学刺激目标 (表 1)。

### 1.1.3 重复短冲刺训练 (重复冲刺训练)

重复冲刺训练 (Repeated-Sprint Training, RST) 能用于发展更“高端”的能力, 其对应的神经肌肉压力较大。这种形式的 HIIT 涉及多次持续时间为 3~10 s 的全力运动, 每 2 次运动间的恢复强度为休息至

45% V<sub>IFT</sub> 或 60% V/P<sub>incTest</sub>, 恢复时长为 15~60 s。这种训练可用于达到下文提到的第 4 类和第 5 类生理学刺激目标(表 1)。

### 1.1.4 重复长冲刺训练(冲刺间歇训练)

与 RST 类似, 冲刺间歇训练涉及多次全力冲刺, 但其对应的单次运动持续时间为 20~45 s。这种运动格外费力, 每 2 次运动间的间歇形式为休息, 间歇持续时间长(通常为 1~4 min)。冲刺间歇训练只能达到第 5 类生理学刺激目标(表 1)。

### 1.1.5 基于比赛的训练(小场地比赛)

这种形式的训练本质上属于以比赛形式进行的长间歇训练, 对应为各种专项强度进行 2~4 min 的跑动。每 2 次运动间的间歇形式为休息, 间歇时长通常为 90 s~4 min。这种形式的训练效果多样, 可用于达到第 2 类、第 3 类和第 4 类生理学刺激目标(表 1)。

## 1.2 HIIT 的目标类型

有氧、无氧糖酵解和神经肌肉是制定 HIIT 计划时必须考虑的 3 个生理学系统。一旦明确了想要刺激的生理学目标, 就可以确定所需采用的 HIIT 类型。这些不同类型的 HIIT 对有氧、无氧糖酵解和神经肌肉有着不同的刺激程度, 它们也是 HIIT 训练课的重要构成成分。表 1 为 6 种生理学刺激目标的汇总, 其中第 1 类至第 4 类生理学刺激目标对有氧代谢有较大的刺激。

## 2 HIIT应用的整体框架

HIIT 的应用分为 3 步。首先, 考虑运动项目的应用情境, 包括项目需求、运动员特征、预期的长期适应、同期化训练、周期安排等, 这些因素综合在一起共同决定了生理学刺激目标; 其次, 明确生理学刺激目标, 并据此选取相应的 HIIT 类型; 最后, 选取相应的 HIIT 形式(武器)并通过相关变量来进行微调, 以达到想要刺激的生理学目标(图 2)。

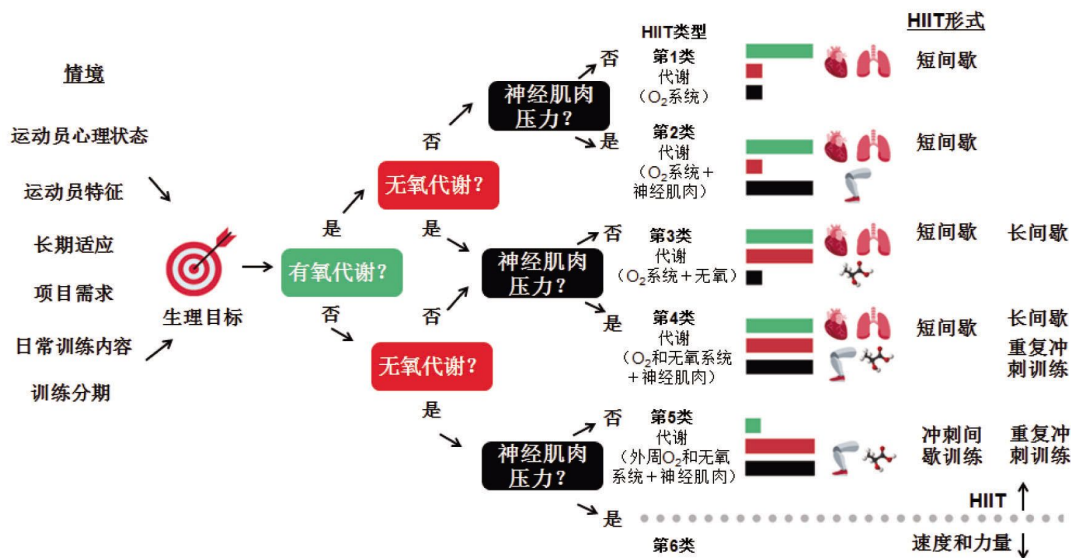


图 2 HIIT 应用路线图

Figure2 HIIT application road map

深入理解图 2 所示的决策模型能够帮助解决几乎所有生理学相关的训练问题。需要注意的是, 如果安排合理, 相同的形式(武器)可以用于 HIIT 的不同类型(即刺激不同的生理学目标), 且每一种形式都能刺激多个生理学目标。例如, 第 1 类至 4 类 HIIT 都涉及有氧代谢, 短间歇的 HIIT 形式可以用于刺激这 4 类 HIIT 目标(表 1)。在实践应用过程中, 教练员和科研人员需要综合多方面因素对 HIIT 进行适时调整。以神经肌肉系统为例, 假如其在多课次/比赛中承受了很大的负荷, 那么对大部分运动员来说, 这种大负荷的神经肌肉刺激极有可能会

导致训练问题。这样的课次之间通常需要安排相对长时间的休息(如几天), 以确保神经肌肉系统能够很好的适应。需要考虑运动员在比赛或大负荷课次中产生的肌肉酸痛需要多长时间消退, 这也是对每日的神经肌肉负荷进行调整的原因<sup>[5]</sup>。

## 3 HIIT 的应用情境

精英运动员的训练远比想象中的复杂。在提供 HIIT 建议前必须明确应用情境是一切。在训练实践当中, 科研人员和教练员经常一起探讨训练计划, 但教练员是训练计划的最终决定者。这个事实



常使得训练计划的制定变得复杂而不是简单。与此同时,运动员经常有着自己的习惯和信念。这些习惯和信念需要被尊重,因为训练计划的执行需要运动员的信任和配合。当然,有时候运动员的这种习惯与信念可能与 HIIT 安排存在冲突<sup>[6]</sup>。此外,大部分训练计划会因为运动员的反应(如每 2 d 仍感觉酸痛)、计划外的事情(如睡眠不足)、非训练因素(如家庭和媒体)等进行临时调整。因此,期望几天前制定好的 HIIT 计划最终都得以实施是不太现实的。

为了应对这种复杂性,并制定出 HIIT 的合理计划,必须理解这个应用情境并注重实用。尽管没有最佳的训练计划,但特定条件下常常存在更好的训练计划。例如,长间歇训练并不是在任何情况下都比短

间歇训练好,或运动员应该更多地进行热习服而不是高原训练。最佳的训练方案无疑是根据应用情境调整后的训练方案。需要考虑到的主要应用情境有所处的赛季阶段、微周期内不同训练课次的兼容性(如力量课次与耐力课次的同期化)、运动员的个体特征(如耐力型还是爆发力型)、运动员的心理/情感状态等。

#### 4 HIIT 的同期化

在考虑了 HIIT 的特殊应用情境后,下一个需要考虑的问题就是训练的同期化安排(图 3),这是许多高强度运动项目目前面临的一个重要问题。因此,在为运动员制定 HIIT 计划之前,需要先了解不同训练方法综合实施的兼容性。

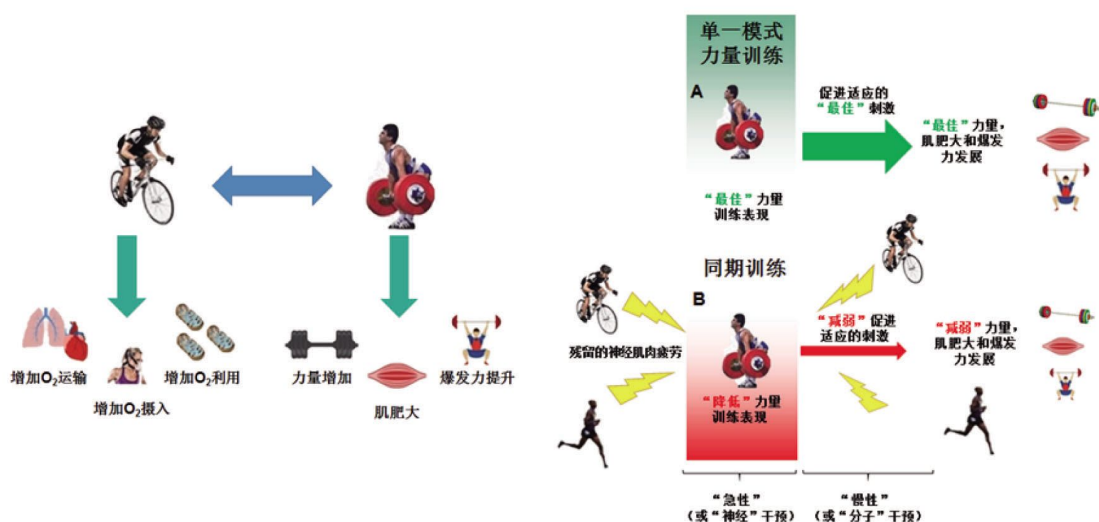


图 3 力量和耐力训练的不兼容性

Figure 3 Incompatibility of strength and endurance training

同期化训练涉及一个周期化的训练阶段内力量/爆发力和耐力训练课间的兼容性,兼容性问题训练计划制定复杂的主要原因之一。许多高强度运动项目既需要力量/爆发力也需要耐力,最大力量和爆发力的提升更多来自力量和爆发力训练,耐力主要与心肺和代谢能力有关。这 2 种训练课次安排在一起时就会出现干扰效应。

为了进一步阐述这个观点,可以做如下设想:如果运动员在力量训练前几小时或几天进行了耐力训练,并造成了下肢的疲劳,那么大力量训练对运动员来说将很有挑战;如果类似的情况在一段时间内经常出现,那么训练带来的力量、爆发力和/或肌肉质量增加将会衰退<sup>[5]</sup>。这正是整体逻辑所强调的,即对

应用情境的考量先于训练内容的安排,这也是为什么在制定发展有氧功率的训练方案前必须先有一幅训练的全景图。

#### 5 HIIT 的关键指标

根据定义,HIIT 对应的运动强度高于最大乳酸稳态或临界速度/功率。相比于最大乳酸稳态或临界速度/功率以下的强度区间,HIIT 对应的强度区间范围更大,为  $< 90\% V/PVO_{2max}$  到  $> 180\% V/PVO_{2max}$ <sup>[7]</sup>。相比最大乳酸稳态或临界速度/功率,  $V/PVO_{2max}$  更适合用于描述所有 HIIT 的强度,其反映的是(最大)有氧功率。不同运动员的  $V/PVO_{2max}$  可能相同,也可能不同。即使有着相同的  $V/PVO_{2max}$ ,运动员可以达到的最高速度/功率(例如功率自行车 5 s 全力冲刺



对应的功率)也可能不同。而最高速度/功率与 $V/PVO_{2max}$ 的差值被称为无氧速度储备。因此, $V/PVO_{2max}$ 和无氧速度储备是HIIT的2个关键指标。

### 5.1 有氧功率

有氧功率是细胞线粒体经有氧代谢产生能量的能力。线粒体是细胞的能量工厂,其在氧气的参与下分解能源物质(主要是糖和脂肪),并产生能量(三磷酸腺苷,ATP)。血液在肺部与氧气结合,再由心脏泵往身体各做功肌肉、心脏和神经细胞。尽管身体的所有细胞都需要血液提供营养,但运动过程中这些部位或组织是血液流向的主要场所。在实验室测试中,有氧功率可用最大摄氧量( $VO_{2max}$ )来评价。与有氧功率相关但经常混淆的术语是有氧能力(aerobic capacity),其更多是指维持特定 $VO_{2max}$ 百分比强度的能力。有氧能力对应的评价指标为最大乳酸稳态或临界功率/速度<sup>[8]</sup>。

有氧功率由中枢和外周2部分能力组成。中枢能力主要涉及心输出量,或心肺系统向参与运动的肌肉运输氧气的的能力,是许多耐力项目 $VO_{2max}$ 的主要制约因素。外周部分主要涉及肌肉释放和利用氧气的的能力。有氧功率能够为运动员提供绿色的能量来源。在耐力项目中,有氧功率与持续>1~2 min的高强度重复、长时间保持一个恒定强度、最大程度降低疲劳程度、高强度运动间的急性恢复、高强度运动下的认知表现(如战术意识)、训练或比赛后的恢复等能力密切相关。

提高有氧功率的方法很多,包括次最大强度的耐力训练、热习服、高原训练、HIIT等。应用这些方法时都需要考虑应用情境,HIIT同样如此。对于越野滑雪、长距离跑步或铁人三项等许多耐力项目而言,HIIT可能并不常作为发展有氧功率的主要方法。然而,对于其他许多运动项目而言,HIIT可能是发展有氧功率的最有力、可控和实用的方法。具体来说,这是因为HIIT对每搏输出量、心输出量和快肌纤维的募集(和随后的适应)有积极影响<sup>[5]</sup>。

有氧功率的测试方法有多种,其中,实验室递增负荷测试在精准性上有优势,而基于最大速度/功率测量的场地测试在高水平应用情境中可能更为实用、客观和有效。 $V/PVO_{2max}$ 的优点在于其将 $VO_{2max}$ 和跑步/自行车的能量消耗整合成一个单一指标。理论上, $V/PVO_{2max}$ 是诱发 $VO_{2max}$ 的最低速度/功率,是制定训练计划的一个理想的强度参照<sup>[4,9]</sup>。如果考虑到训练的特异性原则,循序渐进地以这个强度进行一定量的训练对于发展有氧功率也有效果。

除直接测试外,还有许多可用于预测 $V/PVO_{2max}$ 的间接场地测试,这些测试更为实用。鉴于 $V/PVO_{2max}$ 强度跑的平均力竭时间为4~8 min,可以将5 min跑步可作为 $V/PVO_{2max}$ 的间接测试。这种方法得到的 $V/PVO_{2max}$ 与跑台线性递增负荷测试( $r=0.97$ )中的测试结束时的速度( $V_{IncTest}$ )高度相关。然而,5 min跑步测试得到的 $V/PVO_{2max}$ 可能受配速策略的影响。因此,该方法可能最适合能够以 $V/PVO_{2max}$ 完成约5 min运动的跑步运动员。5 min跑步测试更多用于研究,在实践中(如澳式橄榄球)可能是2 km的计时跑(完成时间约6~7 min),更易于操作<sup>[5]</sup>。在自行车项目中,常用的方法有4 min全力骑。用功率计测量骑行过程中的最大平均功率,该方法测得的最大平均功率与 $PVO_{2max}$ 接近。赛艇项目常采用赛艇测功仪计2 km计时划(约6~7 min)。这项测试具有比赛特异性,因为大部分赛艇比赛采用的是这个距离<sup>[10]</sup>。

测量有氧功率的一个更为实用的方法是“隐形”监控或训练数据转换。在对运动员日常训练进行监控的同时即可对其有氧功率进行间接测量。目前的全球定位系统(Global Positioning System, GPS)尽管存在局限,但其也越来越可靠,是远程监控最为实用的方法。与自行车功率计一样, GPS系统能与在线软件平台结合,确保训练过程中 $V_{IncTest}$ 的无缝整合和计算。无需接入复杂的设备,运用校对过的功率计就可实现对自行车4 min的线粒体膜电位(Mitochondrial Membrane Potential, MMP)的测量,这可能是场地测试中测量 $PVO_{2max}$ 和 $P_{IncTest}$ 最为实用的方法<sup>[11]</sup>。

### 5.2 无氧速度储备

无氧速度储备是指个体 $V/PVO_{2max}$ 在最大冲刺速度或无氧峰值功率间的运动能力。教练员通常没有充分考虑无氧速度储备,但是在制定训练计划时我们必须考虑。在训练实践中,2名 $PVO_{2max}$ 相似的运动员可能在最大冲刺速度上差异明显<sup>[12]</sup>。如果他们在HIIT课次中以相似的 $VVO_{2max}$ 百分比进行运动,就像实践当中常发生的一样,那么这样的运动对应的无氧速度储备百分比是不同的,其对应的生理学刺激也不一样。并且,这2名运动员对运动的耐受性也存在差异,其中无氧速度储备高的运动员将更晚出现疲劳<sup>[12]</sup>。因此,除 $VVO_{2max}$ 外,在制定超最大强度的HIIT中的个体训练强度时还需要考虑最大冲刺速度和无氧速度储备<sup>[12-13]</sup>。安排HIIT时缺少对这些变量的考量可能会导致不同个体完成任务时有氧和无氧供能参与程度不一样,这样不利于训练负荷的标准化,并可能会降低特定生理学适应的精准性<sup>[14]</sup>。



## 6 小结

HIIT 对每搏输出量、心输出量和快肌纤维的募集具有积极的效果,这使得 HIIT 成为几乎所有运动项目的训练方法之一,甚至成为一些运动项目的主要训练方法之一。然而,HIIT 效果和价值的发挥需要考虑类型、生理学目标、应用情境、同期化等几个因素,需要将 HIIT 置于一个整体框架予以应用,遵循由运动项目特征、运动员特征和训练整体安排到生理学目标设定(即对有氧、无氧糖酵解和神经肌肉的不同刺激目标),再到 HIIT 形式(即 5 种 HIIT 形式)的遴选,并通过运用 HIIT 的 12 个操作变量来精调 HIIT 形式,最终形成适用特定运动项目、运动员、训练阶段和训练目标的 HIIT。相比于其他训练,HIIT 需要更多关注对强度的把控,有氧功率和无氧速度储备是把控 HIIT 强度的 2 个关键指标。

### 参考文献:

- [1] 黎涌明. 高强度间歇训练对不同训练人群的应用效果[J]. 体育科学, 2015, 35(8): 59-75+96.
- [2] 房国梁, 张漓, 李茜, 等. 高强度间歇训练对老年人认知功能的影响[C]// 中国体育科学学会. 第十一届全国体育科学大会论文摘要汇编. 北京: 中国体育科学学会, 2019: 3.
- [3] 乔通, 黎涌明. 对高强度功能训练商业案例的科学审视: Crossfit 体系介绍与研究综述[J]. 中国体育科技, 2019, 55(5): 72-80.
- [4] LAURSEN P B, RHODES E C, LANGILL R H, et al. Relationship of exercise test variables to cycling performance in an Ironman triathlon[J]. *European Journal of Applied Physiology*, 2002, 87(4-5): 433-440.
- [5] LAURSEN P B, BUCHHEIT M. Science and application of high-intensity interval training: Solutions to the programming puzzle[M]. Champaign: Human Kinetics, 2018.
- [6] BUCHHEIT M. Houston, we still have a problem[J]. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2017, 12(8): 1111-1114.
- [7] BUCHHEIT M, LAURSEN P B. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle[J]. *Sports Medicine*, 2013, 43(5): 313-338.
- [8] JOYNER M J, COYLE E F. Endurance exercise performance: The physiology of champions[J]. *The Journal of Physiology*, 2008, 586(1): 35-44.
- [9] MIDGLEY A W, MCNAUGHTON L R, WILKINSON M. Is there an optimal training intensity for enhancing the maximal oxygen uptake of distance runners?[J]. *Sports Medicine*, 2006, 36(2): 117-132.
- [10] CATALDO, CERASOLA D, RUSSO G, et al. Mean power during 20 sec all-out test to predict 2000 m rowing ergometer performance in national level young rowers[J]. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 2015, 55(9): 872-877.
- [11] QUOD M J, MARTIN D T, MARTIN J C, et al. The power profile predicts road cycling MMP[J]. *International Journal of Sports Medicine*, 2010, 31(6): 397-401.
- [12] BUCHHEIT M. The 30-15 intermittent fitness test: 10 year review[J]. *Myorobie Journal*, 2010, 1(9): 278.
- [13] BLONDEL N, BERTHOIN S, BILLAT V, et al. Relationship between Run times to exhaustion at 90, 100, 120, and 140% of vVO<sub>2</sub>max and velocity expressed relatively to critical velocity and maximal velocity[J]. *International Journal of Sports Medicine*, 2001, 22(1): 27-33.
- [14] BUCHHEIT M. The 30-15 intermittent fitness test: Accuracy for individualizing interval training of young intermittent sport players[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2008, 22(2): 365-374.

(责任编辑: 刘畅)