



高强度间歇训练在职业足球中的应用

——基于高速跑动和力学性负荷视角的训练安排

Martin Buchheit(法)¹, 黎涌明^{2,3}, 李海鹏³, Paul Laursen(加)^{1,4}

摘要: 高强度间歇训练(HIIT)通常用以改善特定的身体能力,但 HIIT 过程中产生的神经肌肉负荷不应被忽视。尽管不同形式 HIIT 产生的代谢刺激类似,但其产生的神经肌肉负荷差异巨大。因此,为了在训练周内避免过度负荷和/或保持适宜的训练刺激,精准安排不同的 HIIT 对于团队项目来说至关重要。本文基于高速跑动和力学性负荷的调控介绍了 HIIT 在足球项目中的应用。

关键词: 高强度训练;间歇;计划制定;团队项目

中图分类号:G808 文献标志码:A 文章编号:1006-1207(2021)06-0002-07

DOI:10.12064/ssr.20210601

Application of High Intensity Interval Training in Professional Soccer: Programming High-Speed Running and Mechanical Work

Martin Buchheit¹, LI Yongming^{2,3}, LI Haipeng³, Paul Laursen^{1,4}

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

Abstract: While HIIT is generally programmed intentionally to improve these specific physical characteristics, the important neuromuscular load that may be associated with performing some HIIT sequences should not be overlooked. The accurate programming of such diverse HIIT sequences is therefore a key consideration in team sports to avoid overload and/or to maintain an appropriate stimulus across the weekly training cycle. In this paper, we provide practical examples of how HIIT supplementation and integration can be used effectively within the weekly training cycle in the sport of soccer.

Keywords: high-intensity training; interval; programming; team event

高强度间歇训练(High Intensity Interval Training, HIIT)是以高于最大乳酸稳态、无氧阈或临界功率/速度的强度进行多次练习,次间安排轻松的练习或完全休息的训练方法。HIIT被认为是发展整体体能最有力 and 最具时间效益的训练方法之一^[1]。来自多个体育项目的研究表明,短期 HIIT 对于提高最大摄氧量、最大有氧耐力、最大重复冲刺能力、高强度长时间保持能力等多项体能指标有实质性效果^[1-6]。

HIIT 通常用以改善特定的身体能力,但 HIIT 过程中产生的神经肌肉负荷不应被忽视。尽管不同形式 HIIT 产生的代谢刺激类似,但其产生的神经肌肉负荷差异巨大。因此,为了在训练周内避免过度负荷和/或保持适宜的训练刺激,精准安排不同的 HIIT

对于团队项目来说是至关重要的^[7]。事实上,运动员产生的神经肌肉负荷积累经常来自 HIIT 之外的训练内容,如力量/速度训练和技术/战术训练。因此,需要将 HIIT 视为整体训练的有机组成部分,作为其他训练的一个补充^[8]或增加^[9]。重要的是,在长达数月的训练中,不同形式的 HIIT 所产生的代谢适应是类似的。然而,由于其他训练内容和比赛同样可能产生神经肌肉负荷,短期内(如微周期)HIIT 所产生的急性神经肌肉负荷可能扮演着至关重要的角色。

本文首先根据代谢(有氧和/或无氧乳酸)和神经肌肉负荷对 HIIT 进行了生物学目标的分类,并基于高速跑动和力学性负荷(mechanical work,指加速、减速和变向)的调控介绍了 HIIT 在足球项目中的应用。

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:Martin Buchheit,男,博士。主要研究方向:运动训练。E-mail:martin@hiitscience.com。

作者单位:1. HIIT Science,雷弗尔斯托克 加拿大;2. 上海体育学院 体育教育训练学院,上海 200438;

3. 国家体育总局体育科学研究所,北京 100084;4. 奥克兰理工大学新西兰竞技体育研究中心(SPRINZ),新西兰。



1 在足球训练中增补 HIIT

1.1 增补 HIIT 避免高速跑动负荷的突增

尽管急性 / 慢性负荷比 (Acute/Chronic Workload Ratio, ACWR) 的可行性^[10]、计算^[11]和预测损伤发生率的整体价值^[12]尚存争议,但不可否认的是,运动员需要一个稳定的训练刺激来保持健康和体能水平。训练负荷,尤其是高速跑动(HSR)对应的负荷突增是需要避免的,因为研究已发现其与腓绳肌的损伤存在关联^[13]。此外,近期一项系统综述和来自五大联赛(德甲、英超、西甲、法甲、意甲)球队科研人员的德尔菲调查发现,对高速跑动负荷的管理是预防下

肢损伤最有价值的策略^[14]。在足球训练中增补基于高速跑动的 HIIT 不仅会产生代谢方面的刺激,同样会产生神经肌肉的负荷。

如图 1 所示,球员在前 5 场比赛中重复完成 600~800 m 的高速跑动,教练决定在第 6 场比赛让其休息(9月26日)。9月29日球员作为替补上场 30 min。10月2日球员未被列入球队名单。10月5日球员作为替补上场。10月8日球员仍然是板凳球员。10月12日球员终于再次首发并踢满全场。如果只考虑这名球员训练和比赛中的高速跑动负荷,那么10月12日这场比赛就造成了一个负荷的突增(即 ACWR>2)。

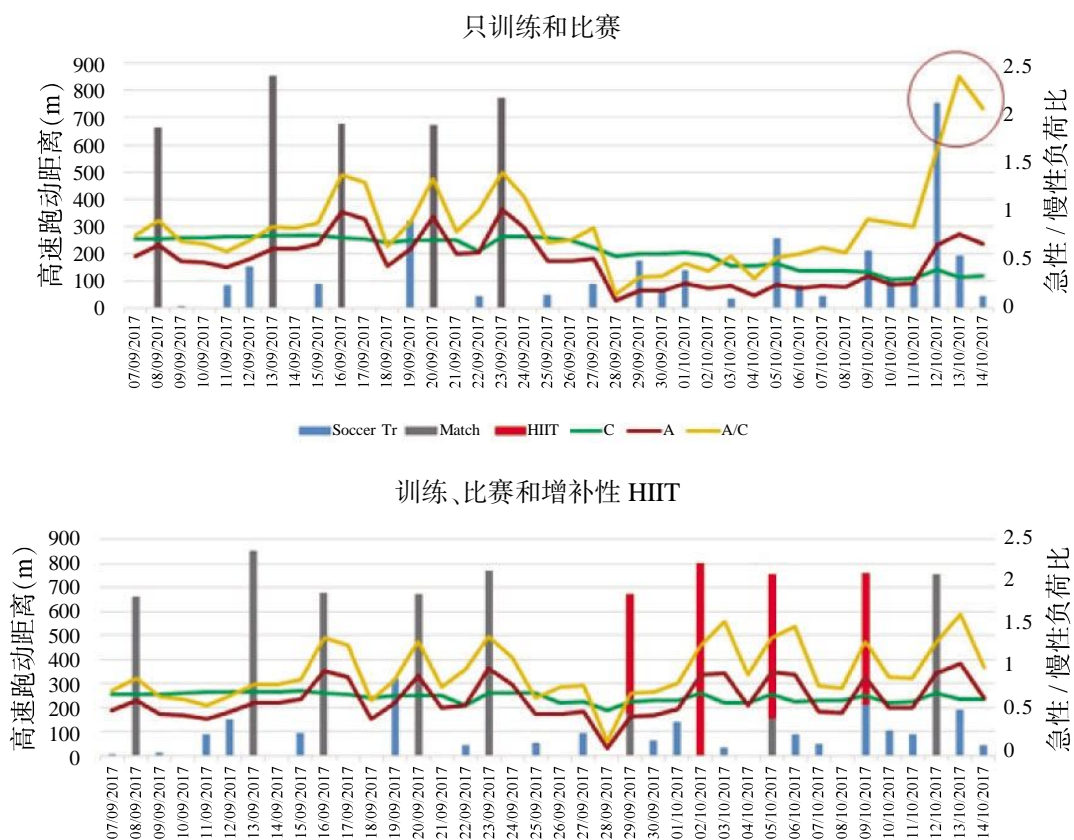


图 1 一名中场球员连续 5 周训练和比赛中的高速跑动距离

Figure 1 A midfielder's high speed running distance in training and competition for 5 consecutive weeks

注:球员年龄 22 岁,效力于某国甲级联赛俱乐部;高速跑动对应的速度 > 19.8 km/h;上图训练未增补 HIIT,下图训练增补了 HIIT;急性(A)和慢性(C)负荷分别对应连续 5 d 和连续 20 d 平均值;ACWR 为急性 / 慢性负荷比;红色圆圈表示高速跑动 ACWR 的突增(>2);GPS(训练)和半自动(比赛)运动数据通过相关公式进行计算整合^[15];图中的比赛日期在真实情况基础上进行了适当调整,以保证数据的匿名性;蓝色为足球训练,灰色为比赛,红色为 HIIT,绿色为慢性负荷,褐色为急性负荷,黄色为 ACWR。

图 1 提供了一个可行的策略。通过增补 HIIT, 这名球员在上场时间不够的情况下保持了足够量的高速跑动负荷。9月26日没有安排 HIIT,以确保这

名球员能够更好恢复。在随后上场时间不够的时期内,这名球员进行了增补性 HIIT。有关这些增补性 HIIT 的细节参见表 1 和表 2。



表 1 基于球员位置的 2 种第 2 类 HIIT

Table1 Position-based type 2 HIIT 2

位置	模式	重复次数	跑动距离/m	单次高速跑动距离/m	高速跑动总量/m	高速跑动强度/($m \cdot min^{-1}$)
中场 比赛量~800 m; ~800 m 峰值:1 min 强度:45 m/min	A	4	65	50	200	100
	B	2	60	0	0	0
	C	6	55	35	210	70
	HIIT 板块	6 min	710		410	68
	完整的增补课	6 min+4 min (2×B&6×C)(r=2 min)	1 160		650	52(>12 min)
边后卫 比赛量:~1 300 m 峰值:1 min 强度:60 m/min	A	8	65	50	400	100
	B	0	60	0	0	0
	C	4	55	35	140	70
	HIIT 板块	6 min	740		540	88
	完整的增补课	6 min+4 min (6×A&4×C)+2 min (4×A)(r=2 min)	1 500		1 110	69(>16 min)

注:所有跑动的强度都为 110% V_{IFT} (V_{IFT} 为 30~15 间歇体能测试的结束速度^[16]), r 为组间恢复。

表 2 上场时间不足期间的 HIIT 安排

Table2 HIIT programming during insufficient playing period

日期 (日/月/年)	高速跑动训练/m	比赛参与 状态	比赛中的 高速跑动/m	HIIT 中的 高速跑动/m	HIIT 的类型和形式
26/09/2018	0	板凳	0	0	
27/09/2018	91				
28/09/2018	0				
29/09/2018	0	替补(30 min)	175	500	主场比赛后直接在场上进行无球的跑动: 第 1 类:8×(20 s 跑 45°变向绕杆, 强度为 $V_{IFT}/10$ s 休息)=无高速跑动 第 4 类:10×(15 s, 强度为 95% $V_{IFT}/15$ s 慢跑恢复)=500 m 高速跑动
30/09/2018	65				
01/10/2018	138				
02/10/2018	1	未入选球队 名单	0	800	训练场上的独立课次: 第 2 类:基于位置的有球 HIIT(5 s 跑/10 s 休息);依安排而不同,如 2×10 次=300 m 高速跑动 第 4 类:有球的跑动,10×(15 s, 强度为 95% $V_{IFT}/15$ s 慢跑)=500 m 高速跑动
03/10/2018	34				
04/10/2018	0				
05/10/2018	0	替补(30 min)	153	650	主场比赛后直接在场上进行无球的跑动: 第 2 类:见表 1 中场球员,650 m 高速跑动
06/10/2018	86				
07/10/2018	46				
08/10/2018	0	板凳	0		客场比赛,且下场比赛在 4 d 后,该天无 HIIT
09/10/2018	209			550	技术训练课后替补在训练场上训练 第 2 类:基于比赛位置的有球的 HIIT (10 s, 强度为 110% $V_{IFT}/20$ s 休息);依安排而不同,如 2×12 次=550 m 高速跑动
10/10/2018	106				
11/10/2018	90				
12/10/2018	0	首发(全场)	756		
13/10/2018	192				
14/10/2018	44				

增加4次短的HIIT可以保持一个稳定的高速跑动负荷。这样可避免球员多场比赛上场时间不足后于10月12日踢完全场时负荷的突增。这种简单但可能有效的增补策略可以安排在比赛后即刻(如果时间和场地允许),也可以安排在比赛后的第一天(替补球员的训练)。

1.2 高速跑动负荷的量与强度

高速跑动量需要根据球员的比赛需求和个体水平进行确定(图2)。此外,高速跑动量还需要根据球员当天的其他活动内容来调整,如球员是否作为替补已进行了一些高速跑动,或球员作为板凳完全没有进行高速跑动(表2)。

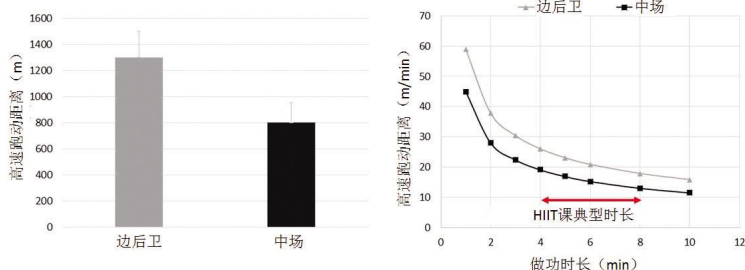


图2 2种位置球员在比赛中的高速跑动量(左图)和不同做功持续时间的调整跑动峰值强度(右图)
Figure2 High speed running momentum of players in the two positions in matches and their adjustment to running peak intensity of different work durations

注:做功持续时间越短,高速跑动峰值强度越高;除了更大的高速跑动量,同一做功持续时间下边后卫的高速跑动峰值强度更高^[17]。

在实践当中,特定HIIT的高速跑动量是易于控制的,与选择的HIIT类型和形式有关。HIIT类型是指HIIT对应的生理学目标,包括有氧、无氧(乳酸)和神经肌肉三方面的反应,HIIT形式是指实际完成的距离、持续时间和重复次数^[18]。第2类HIIT(高有氧和神经肌肉要求,低无氧参与)或第4类HIIT(高有氧、无氧和神经肌肉要求)需要包含

高速跑动,其可以是无球(图3和表1,尤其是赛后即刻在比赛场进行)或有球(图4,如替补单独进行训练的)的跑动。这2类HIIT通常作为技术/战术练习的一种补充。如有必要,这2类HIIT甚至可作为第1类(高有氧要求,但低无氧和神经肌肉要求)HIIT的补充,增加代谢刺激但不增加神经肌肉的刺激。

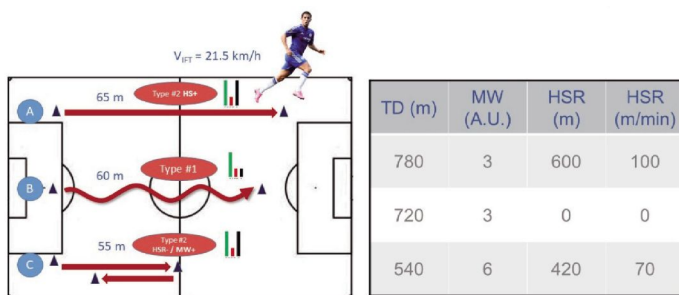


图3 3种短间歇HIIT示例

Figure3 Examples of three short interval HIIT

注:形式为10s跑动和20s休息;可以通过安排有无不同角度的变向来调节神经肌肉负荷(即高速跑动和力学性负荷),不同安排决定不同的HIIT类型(第1类或第2类);经由GPS监测的相关运动学数据每6min分析一次,就像相同的跑动模式被重复12次(如表1中的类型模式A×12)。TD为总距离,HSR为高速跑动(>19.8 km/h),MW为力学性负荷(>2 m/s²的加速、减速和变向)。有氧、无氧和神经肌肉系统的参与程度分别用绿色、红色和黑色表示^[18]。

截至目前,文献中未给予关注的一个重要问题是,大部分HIIT中的高速跑动强度要远高于峰值比赛需求对应的高速跑动强度。前者是基于每6min数据的平均值,对应为33~100 m/min(图3和图4),后者是基于每4min和6min数据的平均值,分别对应20~25 m/min和15~20 m/min(图2)。换言之,当用

HIIT来增补高速跑动量时(图1),15min的HIIT就能跑完90min比赛所对应的高速跑动量。这意味着HIIT很容易造成比赛式的高速跑动强度偏高。这种影响对体能发展、比赛准备和损伤管理来说到底有多大?尽管仍缺乏证据,但可以想象,过高的高速跑动强度(100 m/min vs. 15 m/min)可能并不需要,或

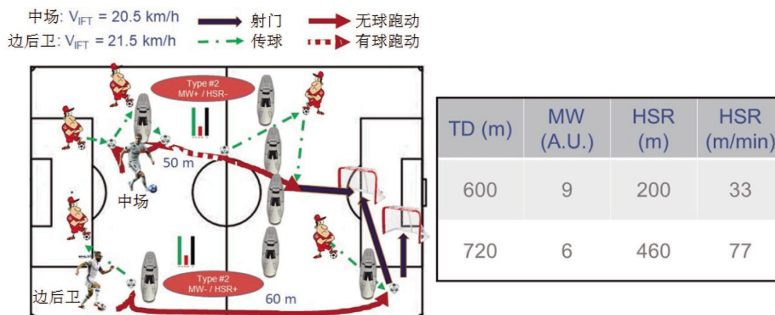


图4 基于2种位置的短间歇 HIIT 示例

Figure4 Examples of two-position-based short interval HIIT

注:短间歇 HIIT 形式为 10 s 运动 /20 s 休息,强度基于 V_{FT} ,对应为 HIIT 第 2 类。由于对手(假人)的存在,边后卫不能继续前进,他将球传给担任中后卫角色的教练/队友,然后沿着边线跑动,以接到禁区附近的另一名教练/队友的传球,并将球射进 2 个小球门中的 1 个(用以模拟传中)。中场靠近中后卫接球,再将球传给边线上担任边后卫的另一名教练/队友,并在对手(假人)的另一侧从这名教练/队友那接球,之后带球跑动,并将球传给第 2 名教练/队友,最后向着禁区跑动,并在接球后将球射进小门。基于这两个位置的练习在高速跑动和力学性负荷方面的差异较大,这与他们的比赛负荷目标相吻合^[19],即边后卫更高的高速跑动需求,中场更高的力学性负荷需求。TD 为总距离,HSR 为 > 19.8 km/h 的高速跑动,MW 为加速、着重和变向 > 2 m/s² 的力学性负荷, V_{FT} 为 30~15 间歇体能测试的结束速度。有氧、无氧和神经肌肉系统的参与程度分别用绿色、红色和黑色表示^[18]。

应该避免。将此类 HIIT 拆分(如拆分成 1~2 min 的 HIIT,休息一段时间后再进行下一个短时的 HIIT)可能会使高速跑动的强度接近真实比赛强度。然而,这样可能造成对心肺刺激的不足,不足以产生预期的适应^[18]。因此,教练员和科研人员需要考虑个体化高速跑动强度(每组时长 $> 4\sim 6$ min 的 HIIT)和比赛式高速跑动强度(每组时长 $< 3\sim 4$ min 的 HIIT)何者优先。在同一个 HIIT 板块内混合安排不同模式的跑动是一种可行的替换方式,如将有大量高速跑动(图 3 和表 1 中的模式 A)和只有少量或没有高速跑动(图 1 和表 1 中的模式 B)的练习进行交替。例如,在 6 min 内进行直线跑和不同变向角度的 Z 字跑的交替,高速跑动的量和强度会从只有直线跑时的约 600 m 和 100 m/min 降至 300 m 和 50 m/min。与此类似,如果将基于位置的跑动与制约速度上升过高的各种练习(有球或无球,包括各种变向、带球和传球)进行交替,那么高速跑动的强度会大幅度下降,甚至与比赛强度类似。除了更接近比赛高速跑动的强度外,这种安排能够使球员在高速跑动量不出现大幅度累积(避免了负荷的突增)的前提下运动的时间更长。例如,如果中场进行只包含直线跑的 2 组 6 min 的 HIIT(恢复时间为 2 min),尽管这还只是一个中等量的 HIIT,但是他在不到 14 min 的时间内完成的高速跑动量高于比赛高速跑动量 1.2 倍。

对于替补或板凳球员来说,比赛后即刻或赛后第一天增补 HIIT 是保持训练周内高速跑动负荷稳定的一个实用和有效的策略。高速跑动的量和强度

应该根据比赛特征(图 2)来进行个体化(比赛位置和风格)调整。在实际操作过程中,高速跑动量可以根据跑动的绝对次数和运动的类型(有无变向,图 3 和表 1)进行调整。尽管目前尚无有关保持体能、准备比赛和管理损伤的最适宜的高速跑动强度的证据,但避免太高的比赛强度是符合常识的,这可以通过在每个 HIIT 板块内调整跑动的模式来实现(表 1)。然而,需要注意的是,90 min 比赛内累积的高速跑动量所产生的生理学负荷与 < 15 min HIIT 累积的高速跑动量是不同的,二者对损伤发生率的影响尚不清楚。因此,当探究负荷与损伤发生率关系时,研究人员不能只简单关注高速跑动的量,而需要进一步关注高速跑动的强度^[20]。最后,如果本文所提出的增补策略被成功实施,ACWR 比这一指标是否还需要就值得探讨了。尽管如此,急性/慢性负荷比对于确定增补策略(如 400 m vs. 800 m)的最适宜高速跑动量仍然具有指导作用。

2 HIIT 与足球训练和比赛的整合

除了只进行 HIIT(足球项目中一般为 18~22 km/h 的跑动),运动员还需要进行最大冲刺^[21]或以接近最大速度的速度进行跑动^[22],这样才能覆盖高速跑动的所有速度区间。实践中很多人担心最大速度的冲刺会产生急性肌肉负荷,但事实上冲刺本身可能更是这个问题的解决办法,而不是问题本身^[23]。常见的力量训练由于强度不够,很难达到冲刺训练的刺激程度($< 75\%$ 肌电活动^[24])。这表明,冲刺类训练的神经

经肌肉刺激是独特的,任何其他(单一)的肌肉做功形式都不能够替代^[21]。合理安排高速跑动可以保护腘绳肌,但合理安排力学性负荷(加速、减速和变向)对其他肌群(股四头肌、臀大肌和股内收肌)的重要性同样需要重视。当然,这些都是知易行难的,安排这些运动负荷需要着重考虑足球项目的常见训练内容、比赛需求和时机。下文将提供一些指南,以便于教练员和科研人员能够根据技术/战术训练内容和比赛日程来合理安排高速跑动和力学性负荷。

2.1 同一天/课内的整合

选择 HIIT 类型(即生理学目标)和形式(或方法)首先需要考虑的是同一天或同一堂训练课内技术/战术训练安排的神经肌肉需求。如果战术课已经包含大量的高速跑动,避免身体后链(尤其是腘绳肌)过度负荷的最佳选择是第 1 类 HIIT 跑(整体神经肌肉负荷低)或力学性负荷要求高的小场地比赛(此种情况下,这是刺激臀大肌、股内收肌和股四头肌的额外负荷)。相反,如果目标是刺激后链(如为比赛极端情况做准备^[25]),可以安排以高速跑动为目标

的第 2 类 HIIT^[17]。最后,如果技术/战术课已经产生了高的力学性负荷,安排包括高速跑动的增补型 HIIT 是避免过度负荷的一个好的选择,因为这种训练刺激的肌群与此前的技术/战术训练不同。

2.2 多次比赛间的整合

鉴于多次足球比赛之间训练的动态性,安排足球赛前的 HIIT 增补需要对整个训练有一个更为全面的理解,也需要考虑上一场比赛的运动负荷。图 2 展示了不同高速跑动和力学性负荷的训练方案,这些方案都需要根据上一场比赛的做功(整体做功、单位上场时间做功、球员个体特征和比赛位置)和下一场比赛的相隔天数来确定。从逻辑上来说,球员上一场比赛的上场时间越长,下一场比赛的相隔天数越少,那么其高速跑动和力学性负荷的增补需求就越小,反之亦然。对于踢满全场的首发球员,如果 2 次比赛的间隔 < 5 d,那么其没有必要安排 HIIT 增补。相反,那些离下场比赛还有 ≥ 5 d 的替补球员应该安排 HIIT 增补(第 4 类,以高速跑动和力学性负荷为目标的 HIIT 跑和小场地比赛)和高速冲刺(图 5)。

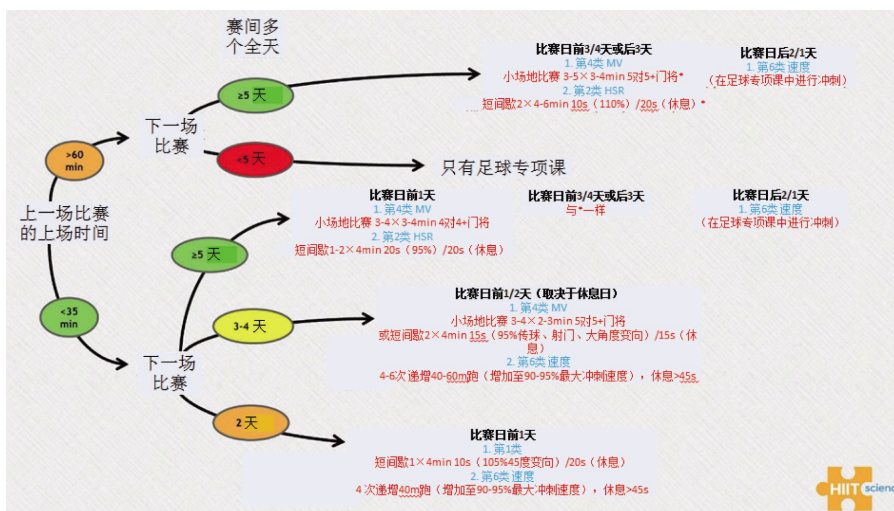


图 5 包含高速跑动和 / 或力学性负荷的 HIIT 负荷安排决策过程

Figure 5 HIIT load programming process involving high-speed running and / or mechanical work

3 总结

对于高水平足球运动员,无论其进行何种形式/类型的 HIIT,不同训练内容产生的代谢适应是类似的^[26]。然而,包括比赛、技术训练、力量训练和 HIIT 在内的不同内容对神经肌肉的适应/干扰影响巨大,且这些影响与运动员的损伤风险有关。因此,管理好高速跑动和力学性负荷,以及与此相关的神经肌肉反应,是保持整个赛季内球员健康和体能水平

的关键因素。安排以发展高速跑动和力学性负荷为目标的专门性训练要求全面理解比赛和技术/战术训练的负荷,要求根据 2 场比赛间的天数进行调整。尽管运用科技(即追踪系统)对比赛和训练课中的高速跑动和力学性负荷进行监控是十分重要的,但对不同类型和形式的 HIIT 所对应的高速跑动和力学性负荷的理解和应用更为重要,因为这是合理安排训练和解决训练问题的前提。



参考文献:

- [1] BUCHHEIT M, LAURSEN P B. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle[J]. *Sports Medicine*, 2013, 43(10):927-954.
- [2] BUCHHEIT M, LAURSEN P B, KUHNLE J, et al. Game-based training in young elite handball players[J]. *International Journal of Sports Medicine*, 2009, 30(4):251-258.
- [3] BUCHHEIT M L F, RENAUD C, KUHNLE J, et al. Effect of complex vs. specific aerobic training in young handball players[J]. *Coaching & Sport Science Journal*, 2008, 3(2):22.
- [4] DELLAL A, VARLIETTE C, OWEN A, et al. Small-sided games versus interval training in amateur soccer players: Effects on the aerobic capacity and the ability to perform intermittent exercises with changes of direction[J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2012, 26(10): 2712-2720.
- [5] IAIA F M, RAMPININI E, BANGSBO J. High-intensity training in football[J]. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2009, 4(3):291-306.
- [6] IMPELLIZZERI F M, MARCORA S M, CASTAGNA C, et al. Physiological and performance effects of generic versus specific aerobic training in soccer players[J]. *International Journal of Sports Medicine*, 2006, 27(6):483-492.
- [7] DELGADO-BORDONAU J L M. The tactical periodization model[M]. In: Sum M E, editor. *Fitness in soccer: The Science and practical application*, 2014.
- [8] BUCHHEIT M. Programming high-speed running and mechanical work in relation to technical contents and match schedule in professional soccer[J]. *Sport Performance & Science Reports*, 2019, 64(1): 1-3.
- [9] BUCHHEIT M. Managing high-speed running load in professional soccer players: The benefit of high-intensity interval training supplementation[J]. *Sport Performance & Science Reports*, 2019, 53(1):1-5.
- [10] BUCHHEIT M. Applying the acute: Chronic workload ratio in elite football: Worth the effort?[J]. *British Journal of Sports Medicine*, 2017, 51(18):1325-1327.
- [11] LOLLI L, BATTERHAM A M, HAWKINS R, et al. The acute-to-chronic workload ratio: an inaccurate scaling index for an unnecessary normalisation process? [J]. *British Journal of Sports Medicine*, 2019, 53(24):1510-1512.
- [12] FANCHINI M, RAMPININI E, RIGGIO M, et al. Despite association, the acute: Chronic work load ratio does not predict non-contact injury in elite footballers[J]. *Science and Medicine in Football*, 2018, 2(2):108-114.
- [13] DUHIG S, SHIELD A J, OPAR D, et al. Effect of high-speed running on hamstring strain injury risk[J]. *British Journal of Sports Medicine*, 2016, 50(24): 1536-1540.
- [14] FANCHINI M, STEENDAHL I B, IMPELLIZZERI F M, et al. Exercise-based strategies to prevent muscle injury in elite footballers: A systematic review and best evidence synthesis[J]. *Sports Medicine*, 2020, 50(9):1653-1666.
- [15] BUCHHEIT M, ALLEN A, POON T K, et al. Integrating different tracking systems in football: Multiple camera semi-automatic system, local position measurement and GPS technologies[J]. *Journal of Sports Sciences*, 2014, 32(20): 1844-1857.
- [16] BUCHHEIT M. Individualizing high-intensity interval training in intermittent sport athletes with the 30-15 intermittent fitness test[J]. *NSCA Hot Topic Series*, 2011, November.
- [17] BUCHHEIT M. Restoring players' specific fitness and performance capacity in relation to match physical and technical demands[J]. *Muscle injury guide: Prevention of and return to Play from muscle injuries*, 2019, 2: 29-37.
- [18] LAURSEN P B, BUCHHEIT M. Science and application of high-intensity interval training: Solutions to the programming puzzle[M]. Champaign :Human Kinetics, 2018.
- [19] LACOME M, SIMPSON B M, CHOLLEY Y, et al. Small-sided games in elite soccer: Does one size fits all? [J]. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2017, 13(5):1-24.
- [20] GABBETT T J. The training-injury prevention paradox: Should athletes be training smarter and harder?[J]. *British Journal of Sports Medicine*, 2016, 50(5):273-280.
- [21] EDOUARD P M J, GUEX K, LAHTI J, et al. Sprinting: A potential vaccine for hamstring injury?[J]. *Sport Performance and Science Reports*, 2019, 48(1): 1-2.
- [22] MALONE S, ROE M, DOEAN D A, et al. High chronic training loads and exposure to bouts of maximal velocity running reduce injury risk in elite Gaelic football[J]. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 2017, 20(3):250-254.
- [23] VAN DEN TILLAAR R, SOLHEIM J A B, BENCKE J. Comparison of hamstring muscle activation during high-speed running and various hamstring strengthening exercises[J]. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 2017, 12(5):718-727.
- [24] CUNNINGHAM D J, SHEARER D A, CARTER N, et al. Assessing worst case scenarios in movement demands derived from global positioning systems during international rugby union matches: Rolling averages versus fixed length epochs[J]. *PLoS One*, 2018, 13(4):e0195197.
- [25] BUCHHEIT M, SIMPSON B M. Player-tracking technology: Half-full or half-empty glass?[J]. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2017, 12(S2): S235-S241.

(责任编辑:刘畅)